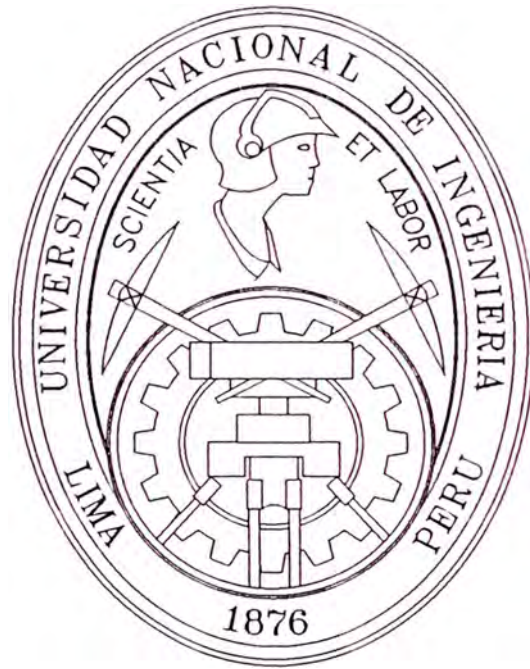


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE PURIFICACION
DE AGUA PARA UNA CLINICA DE
HEMODIALISIS EN LIMA”**

**TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO MECANICO**

MARTIN ALFREDO MUÑOZ JAUREGUI

PROMOCION 2000 - I

LIMA - PERU

2002

AGRADECIMIENTOS.

A Dios.

A mi madre Consuelo y a mi padre Moisés.

A mis hermanos: Manuel, Moisés, Consuelo y Ana.

A mis familiares y amigos.

A mi "Alma Mater", la UNI.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

A mi asesor Ing. Duilio Aguilar V.

Al Gerente del Centro de Hemodiálisis, Lic. Carlos Adachi K

A los Ing. Juan Zapata y Manuel Regalado.

INDICE

	Pag
PROLOGO	1
CAPITULO I	4
1.0 INTRODUCCIÓN	4
1.1 Objetivo	6
1.2 Glosario de Términos.....	6
CAPITULO II	10
2.0 FUNDAMENTO TEORICO DE LOS PROCESOS DE PURIFICACION DE AGUA	10
2.1 Contaminantes Comunes Presentes en el Agua	10
2.2 Identificación de los Contaminantes	12
2.2.1 Identificación Cualitativa General	12
2.2.2 Identificación Cuantitativa General	15
2.3 Clasificación de los Contaminantes	20
2.3.1 Iones Comunes	20
2.3.2 Gases Disueltos	31
2.3.3 Metales Pesados	32
2.3.4 Compuestos Orgánicos Disueltos	33
2.3.5 Componentes Radiactivos	34
2.4 Procesos de Purificación del Agua	35
2.4.1 Filtración	35
2.4.2 Destilación	45
2.4.3 Electrodialisis	46

2.4	Procesos de Purificación del Agua	35
2.4.1	Filtración	35
2.4.2	Destilación	45
2.4.3	Electrodiálisis	46
2.4.4	Electrodeionización	47
2.4.5	Radiación Ultravioleta	49
2.4.6	Ozonización	51
2.4.7	Intercambio Iónico	52
2.4.8	Separación por Membranas Mediante Presión	59
2.4.9	Tratamiento Químico	71
CAPITULO III		73
3.0	CONSIDERACIONES TECNICAS DEL SISTEMA DE PURIFICACION DE AGUA	73
3.1	Antecedentes	73
3.2	Requerimientos de Calidad del Agua Purificada para Usos de Hemodiálisis	76
3.3	Características de Calidad del Agua Materia Prima Disponible en Lima	78
3.4	Requerimientos de Agua Purificada en una Clínica de Hemodiálisis	79
3.4.1.	Aplicaciones del Agua Purificada	79
3.4.2.	Volúmenes Diarios de Agua Purificada Requeridos	80
3.4.3.	Volumen Diario Total de Agua Purificada Requerido	86
3.4.4.	Flujos y Presiones Requeridas	86
3.4.5.	Flujo de Diseño Requerido de Agua Purificada	89

CAPITULO IV	91
4.0 EVALUACION DE LA TECNOLOGIA DE PURIFICACION DE AGUA	91
4.1 Osmosis Inversa	91
4.2 Filtración por Membranas Microporosas	95
4.3 Filtros Granulares	96
4.4 Filtros de Carbón Activado	97
4.5 Destilación	98
4.6 Radiación Ultravioleta	100
4.7 Electrodialisis	101
4.8 Electrodeionización	103
4.9 Ozonización	104
4.10 Ablandamiento	105
4.11 Desionización	106
4.12 Tratamiento Químico	108
4.13 Matriz Comparativa de las Tecnologías de Purificación	110
4.14 Conclusión	112
CAPITULO V	114
5.0 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PURIFICACION DE AGUA	114
5.1 Análisis de la Reducción de los Contaminantes Críticos del Agua	114
5.2 Alternativas de Sistemas de Purificación de Agua	115
5.2.1 Primera Alternativa: Osmosis Inversa	116
5.2.2 Segunda Alternativa: Osmosis Inversa de Doble Paso	119

5.2.3 Tercera Alternativa: Osmosis Inversa con Desionización	120
5.2.4 Conclusión	123
5.3 Selección del Sistema de Purificación de Agua	124
5.4 Selección del Sistema de Pretratamiento	137
5.4.1 Filtro Multimedia	137
5.4.2 Ablandadores	139
5.4.3 Carbón Activado	144
5.4.4 Lámparas Ultravioleta	145
5.5 Diseño de Cisterna de Almacenamiento de Agua Dura	145
5.6 Cálculo y Selección de Tuberías y Bombas de la Planta de Purificación de Agua	150
5.6.1 Tubería y Bomba desde la Cisterna de Agua Dura hasta el Equipo de Osmosis Inversa de 1° Paso	150
5.6.2 Bomba del Equipo de Osmosis Inversa de 1° Paso	164
5.6.3 Tubería y Bomba desde la Salida del Equipo de Osmosis Inversa de 1° Paso hasta Entrada del Equipo de Osmosis Inversa de 2° Paso	167
5.6.4 Bomba del Equipo de Osmosis Inversa de 2° Paso	180
5.6.5 Tubería entre el Equipo de Osmosis Inversa de 2° Paso y la Cisterna de Almacenamiento de Agua Purificada	181
5.6.6 Tubería de Reciclaje desde Rechazo del Equipo de Osmosis Inversa de 2° Paso hasta Alimentación del Equipo de Osmosis Inversa de 1° Paso	182
CAPITULO VI	184

6.0	DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA PURIFICADA	184
6.1	Consideraciones Técnicas	184
6.2	Cálculo del Caudal del Lazo de Distribución	187
6.3	Cálculo de la Cisterna de Almacenamiento y Recirculación de Agua Purificada	189
6.4	Postratamiento	192
6.4.1	Microfiltros	192
6.4.2	Luz Ultravioleta	195
6.5	Cálculo de la Tubería y Bomba del Lazo de Distribución	195
6.6	Funcionamiento del Sistema de Distribución de Agua Purificada	204
6.7	Descripción del Funcionamiento de la Planta de Purificación y Sistema de Distribución de Agua Purificada	207
CAPITULO VII		211
7.0	PRUEBAS Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS INSTALACIONES	211
7.1	Pruebas	211
7.1.1	Prueba Microbiológica	211
7.1.2	Prueba Fisico-Química	213
7.2	Control de Calidad	215
CAPITULO VIII		216
8.0	GESTION DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE PURIFICACION Y DEL AGUA PURIFICADA	216

8.1	Supervisión	218
8.2	Mantenimiento	221
CAPITULO IX		228
9.0	EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO	228
9.1	Costos de Inversión de la Planta de Purificación	228
9.2	Costos de Operación de la Planta de Purificación	231
9.3	Costos por Gestión de Control de Calidad de la Planta de Purificación	244
9.4	Cálculo del Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno dentro de un Proyecto Integral de Clínica de Hemodiálisis	250
CONCLUSIONES		257
BIBLIOGRAFIA		260
ANEXOS		
PLANOS		

PRÓLOGO

El presente trabajo ofrece un ejemplo de diseño de una planta de purificación de agua para una clínica de hemodiálisis tanto para el sector privado como para el sector público (Ministerio de Salud, ESSALUD, etc.).

En el Capítulo I, se comenzará con una breve introducción al tema de la hemodiálisis, la importancia de la purificación del agua como insumo para dicho tratamiento, las magnitudes y calidad requeridas de agua purificada, los entes internacionales que la regulan, los objetivos del proyecto y conceptos fundamentales.

En el Capítulo II, se expondrán los fundamentos teóricos de los diversos procesos que se emplean para la purificación del agua.

En el Capítulo III, se tiene como objetivo exponer los estándares internacionales de calidad para el agua purificada usada en hemodiálisis, así como un análisis de la calidad del agua cruda disponible en Lima Metropolitana (SEDAPAL). Además establecer consideraciones técnicas fundamentales para el diseño de una planta de purificación de agua para una clínica de hemodiálisis y analizar los requerimientos de agua purificada (volúmenes diarios, flujo, presiones).

En el Capítulo IV, se procederá a evaluar técnica y económicamente las ventajas y desventajas de las tecnologías usadas para la purificación de agua, de modo que sean adecuadas para conseguir los estándares de calidad requeridos con el menor costo posible. En este capítulo se identificará las tecnologías que por sus características técnico - económicas puedan constituirse en alternativas para el sistema de purificación de agua.

En el Capítulo V, se analizarán dos o tres alternativas para constituir el elemento central del sistema, seleccionándose la alternativa más conveniente desde el punto de vista técnico-económico garantizando los niveles de calidad requeridos con el menor costo posible en inversión, operación y mantenimiento. En este capítulo se desarrollará el diseño de la planta de purificación de agua lo que implicará también, el pre - tratamiento de la alternativa seleccionada, bombas, cisternas, etc.

En el Capítulo VI, se diseñará un sistema de distribución que garantice confiablemente la entrega de agua purificada a los puntos de uso con la calidad, flujos y presiones dentro del rango requerido.

En el Capítulo VII, se expondrán los criterios básicos sobre pruebas y control de calidad de las instalaciones previas a la puesta en operación del sistema.

En el Capítulo VIII, se sustentará un programa de control de calidad que garantice la correcta operación del sistema y calidad del producto, minimizando costos por mantenimiento y paros repentinos del sistema.

En el Capítulo IX, se realizará un análisis de los costos de inversión, operación y de gestión de control de calidad de la planta de purificación de agua y se realizará la evaluación económica de la planta de purificación dentro de un proyecto integral de una clínica de hemodiálisis.

CAPITULO I

1.0 INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años, ha existido una mayor preocupación acerca de la necesidad para la purificación y mejoramiento de la calidad del agua por todas las clases de usuarios: municipal, industrial, institucional, médico, comercial y residencial. El aumento de requerimientos para la calidad del agua ha provocado que la industria del tratamiento del agua, refine las técnicas existentes combinando métodos y explorando nuevas tecnologías de purificación de agua.

En su estado puro, el agua es uno de los solventes conocidos más agresivos. Llamada "el solvente universal", el agua, en cierto grado, disolverá virtualmente cada cosa a la cual ésta sea expuesta. El agua pura tiene un alto estado energético y como cualquier otro elemento en la naturaleza parece alcanzar un equilibrio energético con su entorno. El agua disolverá la cantidad de materiales disponibles hasta que la solución alcance el grado de saturación, el punto en el cual no puede ser disuelto una mayor cantidad de sólidos.

La calidad del tratamiento que reciben los pacientes de los centros de hemodiálisis se viene incrementando en el transcurso de los últimos años. Existe cada vez mayor preocupación por la salud y la calidad de vida del paciente. La biocompatibilidad ha empezado a emerger como un problema no sólo teórico sino también práctico. Una parte fundamental del mismo lo constituye el aseguramiento de la calidad del líquido de diálisis, el cuál se constituye en una parte vital del tratamiento de hemodiálisis, por el hecho de que la sangre del paciente deberá ser expuesta al contacto con una cantidad de entre 270 y 600 litros de agua por semana, lo que obliga a que dicha agua, empleada en su tratamiento, deba cumplir con estrictos niveles de pureza, muy superiores a los del agua potable, especificados en normas internacionales (AAMI, farmacopea Europea, etc.) para agua usada en tratamientos de diálisis.

Hoy en día, la necesidad de tratar el agua de la red pública para ser usada en hemodiálisis es un concepto ampliamente aceptado. No obstante, no todos los tratamientos serán iguales. En función del agua que vamos a tratar, y que en todos los casos deberá conseguir un agua químicamente pura, los métodos usados variarán según necesidades.

El uso de agua purificada cumple dos objetivos básicos. El primero y principal conseguir un dializado homogéneo y exento de sustancias perjudiciales para el paciente y, en segundo lugar, proteger a los equipos de hemodiálisis de sustancias que pudieran dañarlos.

Actualmente la mayoría de las sustancias que pudieran encontrarse en agua de la red y ocasionar alteraciones a los pacientes o daños a los equipos, son perfectamente conocidas, y el conocimiento de su presencia determinará el método de depuración a emplear.

1.1 OBJETIVO

El presente trabajo surge ante la creciente necesidad de los profesionales en ingeniería, ligados al sector salud, de contar con un modelo que sirva de referencia para el diseño de sistemas de purificación de agua para usos de hemodiálisis, adecuándose a las condiciones particulares de nuestro medio, socioeconómicas y ambientales, pero también cumpliendo rigurosamente con las exigencias técnicas y los altos estándares internacionales correspondientes a los procesos en el área de la salud humana, específicamente en el área del agua usada en hemodiálisis.

1.2 GLOSARIO DE TERMINOS

AAMI: Association for the Advancement of Medical Instrumentation. Regula los estándares de calidad del agua purificada para usos de hemodiálisis (USA).

Alcalinidad: Capacidad para neutralizar ácidos, generalmente debido a la presencia de iones carbonato y bicarbonato.

Cloraminas: Un compuesto de cloro y amonio que retiene las propiedades bactericidas por mayor tiempo que el cloro libre.

Cloro: Químico usado por sus cualidades desinfectantes en la purificación del agua.

Coloides: Partículas de tamaño muy fino, entre 0.1 y 0.001 micras, suspendidas en líquido, pueden ser removidas únicamente por ósmosis inversa, destilación o ultrafiltración.

Concentrado: Es la porción del flujo de alimentación de la ósmosis inversa que no es permeado, pero que contiene todo el material rechazado por las membranas.

Conductividad: Es la capacidad de una sustancia para transmitir electricidad. Se mide en microSiemens/cm.

Dureza: Concentración de sales de Calcio y Magnesio en el agua.

Endotoxinas: pirógenos resistentes al calor, producto del metabolismo o de la muerte de las bacterias.

Farmacopea Europea: Asociación Europea que regula los estándares de calidad del agua usada en hemodiálisis.

Hemodiálisis: Proceso de purificar la sangre de un paciente con disfunción renal mediante el uso de membranas de diálisis.

Ión: Un átomo o molécula que ha perdido o ganado uno o más electrones, adquiriendo por consiguiente una carga eléctrica neta.

Membranas: Películas de polímeros que contiene una bien diseñada distribución de poros. Son usadas como mecanismos de separación en ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y filtros de cartucho.

Micra: Unidad de medida equivalente a 10^{-6} m.

Ósmosis: Flujo espontáneo del agua de una solución menos concentrada hacia una solución más concentrada a través de una membrana semipermeable hasta que se alcance el equilibrio energético.

Ósmosis inversa: Es un proceso inventado por el hombre que invierte el proceso de la ósmosis natural. El objetivo es obtener agua purificada partiendo de un flujo de agua que está más concentrado en impurezas. Esto se logra mediante la aplicación de presión al flujo de agua más concentrada.

Permeado: La porción del flujo de alimentación que pasa a través de la membrana, dejando atrás un flujo más concentrado.

Pirógenos: Sustancias capaces de producir fiebre en mamíferos.

Presión osmótica: Es la medida de la diferencia de energía potencial entre soluciones en ambos lados de una membrana semipermeable.

Regeneración: Extracción, desde las resinas de intercambio iónico, de los iones removidos del agua procesada.

TDS: Total de sólidos disueltos. Total de material que puede ser removido mediante la evaporación de una solución, previamente filtrada.

TSS: Total de sólidos suspendidos. Total de material que puede ser removido de una solución por filtración.

TS: Total de sólidos. La suma de total de sólidos disueltos y total de sólidos suspendidos.

FIGURA N° 1.1
TRATAMIENTO DE HEMODIÁLISIS CON AGUA PURIFICADA

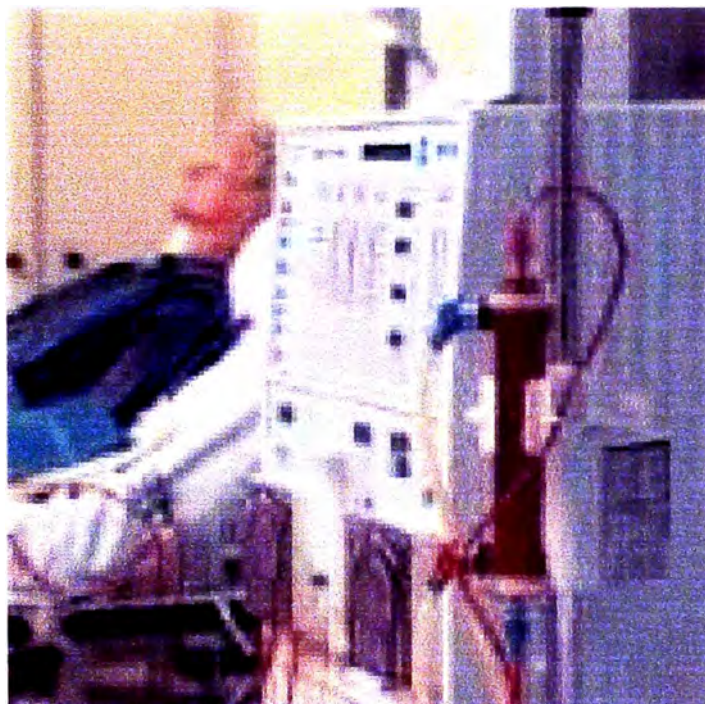


FIGURA N° 1.2
PLANTA DE PURIFICACIÓN DE AGUA



CAPITULO II

2.0 FUNDAMENTO TEÓRICO DE LOS PROCESOS DE PURIFICACIÓN DEL AGUA.

2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

El agua potable contiene una variedad de contaminantes, los cuáles se encuentran dentro de los límites permisibles para el consumo humano. Estos contaminantes provienen de fuentes diversas: la fuente del agua, el sistema de distribución, las políticas sanitarias de SEDAPAL, etc. La composición del agua varía de una localidad a otra, condicionando el diseño de una planta de tratamiento de agua al tipo y cantidad de contaminantes presentes en el agua de suministro.

Los contaminantes del agua pueden ser partículas suspendidas, solutos, microorganismos y sustancias añadidas por SEDAPAL. A su vez éstos pueden comprender distintos subtipos.

Cada uno de estos contaminantes puede ser eliminado mediante el empleo de uno o varios equipos que forman parte del sistema de tratamiento de agua, de

modo que el agua tratada cumpla con las especificaciones requeridas para su uso en el tratamiento de hemodiálisis.

El propio sistema de tratamiento de agua puede ser foco de contaminación, de manera que las resinas de los ablandadores, desionizadores o del carbón activado pueden ser fuente de contaminación bacteriana, asimismo el empleo incorrecto de sistemas de tuberías de cobre o plomo o también la existencia de residuos de sustancias desincrustantes o desinfectantes, usadas en la esterilización del sistema de tratamiento, son capaces de provocar graves intoxicaciones.

Las fuentes de agua de las ciudades pueden contener una variedad de contaminantes que son tóxicos para los pacientes de hemodiálisis. Estos contaminantes pueden surgir de la fuente de agua usada por una ciudad, o ellos pueden ser agregados durante su tratamiento para hacerla potable.

Acontecimientos adversos provenientes de los contaminantes en la fuente de agua son relativamente raros en países desarrollados, posiblemente porque la mayoría del agua para aplicaciones de diálisis en dichos países proviene de fuentes de agua potable que son estrictamente reguladas. Sin embargo, los pacientes de diálisis en localidades con tratamientos de agua potable menos sofisticados, continúan en riesgo de una significativa mortalidad por contaminantes en la fuente de agua. Paradójicamente los contaminantes que han probado mayor toxicidad para los pacientes de diálisis son sustancias

adicionadas al agua para la protección de la salud pública. Estos incluyen Aluminio, Cloraminas y Flúor.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES.

El impacto de las impurezas generadas durante el ciclo hidrológico y la contaminación bacteriana dependen de los requerimientos particulares de los usuarios del agua. Para evaluar las necesidades del tratamiento y la tecnología apropiada, los contaminantes específicos deben ser identificados y medidos.

2.2.1 Identificación Cualitativa General:

La identificación cualitativa es generalmente usada para describir las características visibles o estéticas del agua. Entre otras éstas incluyen:

- Turbidez
- Sabor
- Color
- Olor

La Turbidez:

Consiste en material suspendido en el agua provocando una apariencia nublada, la cual es causada por la dispersión y absorción de luz por dichas partículas. Esta materia suspendida puede ser de origen orgánico o inorgánico. Generalmente el pequeño tamaño de las partículas previene

el rápido asentamiento del material y el agua debe tratarse para reducir su turbidez.

La correlación de la turbidez con la cantidad de partículas presentes no es fácil de determinar puesto que las propiedades de dispersión de la luz varían entre los diferentes materiales y no son necesariamente proporcionales a su concentración.

La turbidez puede ser medida por diferentes sistemas ópticos, tales mediciones simplemente muestran la relativa resistencia a la transmisión de luz, no un nivel absoluto de contaminación. Un nephelometer es más usado en bajos niveles de turbidez del agua, con resultados expresados en Nephelometric Turbidity Units (NTU).

La materia suspendida puede también ser expresada en partes por millón (ppm) o por peso, miligramos por litro (mg/L). Esto se logra por medio de un análisis gravimétrico, típicamente filtrando la muestra a través de un disco membrana de 0.45 micras, luego secando y pesando el residuo.

El Índice de Densidad de Ensuciamiento (Silt Density Index, SDI), provee un relativo valor de materia suspendida. Los valores medidos muestran la proporción a la cual un filtro de 0.45 micras será taponado con partículas de materia en una fuente de agua. El test de SDI es generalmente usado para correlacionar los niveles de sólidos suspendidos

en el agua de alimentación que tienden a ensuciar los sistemas de ósmosis inversa.

El Sabor:

Por medio del sentido del sabor se puede detectar con moderada precisión concentraciones de unas pocas decenas a varios cientos de ppm. El sabor por lo general no puede identificar contaminantes en particular pero, un mal sabor puede ser indicación de una contaminación dañina en el agua potable, pero evidentemente no puede detectar todos los contaminantes nocivos.

El Color:

El color es ocasionado principalmente por materia orgánica. Aunque algunos iones metálicos pueden también teñir el agua. El color indica cierto nivel de impurezas y puede ser una preocupación estética. "El color verdadero" se refiere al color de una muestra con su turbidez removida. La turbidez contribuye al "color aparente". El color puede ser medido por una comparación visual de muestras con ampollas calibradas o concentraciones conocidas de soluciones coloreadas. El color también puede ser medido usando un Espectrofotómetro.

El Olor:

El sentido del olfato humano es un dispositivo detector de olor muy sensible. Esta puede detectar olores en bajas concentraciones bajo partes

por billón (ppb). El olor puede proveer una temprana indicación de contaminación la cual puede ser peligrosa o por lo menos reducir la estética del agua.

2.2.2 Identificación Cuantitativa General:

La mayoría de los análisis cuantitativos que definen la calidad del agua son los siguientes:

El relativo nivel ácido o básico de una solución es medido por el pH. El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno en el agua, específicamente el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno.

La medición de pH recae en una escala de 0 a 14. Una solución con un pH de 7.0, es neutral y lleva igual número de iones hidroxilo (OH^-) e hidrógeno (H^+). Un pH de menos de 7.0 es ácido; un pH de más de 7.0 es básico.

Dado que el pH está expresado en forma logarítmica, un pH de 6.0 es 10 veces más ácido que un pH de 7.0. El pH tiene efectos en muchas fases del tratamiento de agua tal como la coagulación, clorinación y ablandamiento de agua. Esto también afecta el potencial de precipitación de las fuentes de agua. El nivel de pH puede ser determinado por varios

medios tal como indicadores de color, papel de pH o medidores de pH. Un medidor de pH es el medio más común y preciso usado para medir pH.

Total de Sólidos Disueltos (TDS):

El material residual que queda de una fuente previamente filtrada, después de evaporar completamente la solución.

Total de Sólidos Suspendidos (TSS):

Es el total de los sólidos orgánicos y partículas suspendidas que son mantenidas en suspensión en una solución.

Total de Sólidos (TS):

El total de sólidos (TS) es la suma del Total de Sólidos Disueltos (TDS) y el Total de Sólidos Suspendidos (TSS). En los análisis de agua éstas cantidades son determinadas gravimétricamente mediante el secado de una muestra y pesando el residuo. En campo, TDS es comúnmente medido por un conductivímetro que es correlativo a una solución salina específica; sin embargo, esta medición es sólo una aproximación mayormente basada en un factor de multiplicación de 0.66 de la conductividad eléctrica.

TABLA N° 2.1
TOTAL DE SOLIDOS

TDS		TSS	
Orgánico	Inorgánico	Orgánico	Inorgánico
Acido húmico	Sílice reactiva (disuelta)	Algas	Cieno
Tanino		Hongos	Oxido
Pirógenos	Sales iónicas	Bacterias	Arcillas

Conductividad / Resistividad:

Los iones conducen la electricidad, debido a que el agua pura contiene algunos pocos iones, tiene una alta resistencia a la corriente eléctrica. La medición de conductividad eléctrica del agua, o resistividad, puede proveer una valoración de la concentración iónica total. La conductividad está descrita en microSiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y es medida por un conductivímetro. La resistividad está descrita en megohm-cm, es la inversa de la conductividad y es medida por un resistivímetro.

Contaminación Microbiológica:

La contaminación microbiológica ha sido clasificada como viable y no viable. Los organismos viables son aquellos que tienen la habilidad para

reproducirse y proliferarse. Los organismos no viables no pueden reproducirse o multiplicarse.

Contaminación Bacteriana:

La contaminación bacteriana está cuantificada como Unidades Formadoras de Colonias (CFU), una medida del total de la población bacteriana viable.

Las CFU son típicamente determinadas mediante la incubación de una muestra en un medio nutritivo y contando el número de colonias bacterianas que crecen. Cada colonia se asume ha crecido de una célula bacteriana simple. Esto es llamado "Standard Plate Count". Otros métodos menos comunes son la enumeración de la contaminación bacteriana que incluye "El Número más Probable", el cual es una probabilidad estadística de la población bacteriana en una pequeña muestra y el "Conteo Directo", el cual es un conteo real de células observadas a través de un microscopio.

Contaminación Pirogénica:

Los pirógenos son sustancias que pueden inducir fiebre en animales de sangre caliente. La sustancia pirogénica más común es la endotoxina bacteriana. Estas endotoxinas son compuestos de polisacáridos de las paredes celulares de las bacterias Gram-negativas. Ellos pueden ser pirógenos sin ser parte de una célula viable intacta o simples fragmentos

de células rotas. Ellos son más estables que las células bacterianas y no son destruidos por todas las condiciones (tales como autoclave) que matan a las bacterias.

Su peso molecular (PM) se acepta como de 10 000 aproximadamente. Un peso molecular (PM) es aproximadamente igual a un Dalton, aunque en ambientes acuosos ellos tienden a aglomerarse en tamaños mayores. Los pirógenos están cuantificados como Unidades de Endotoxinas por mililitro (EU/ml).

El método tradicional para detección de pirógenos usaba conejos vivos como test de organismo. Ahora el método más común es el test del Limulus Amoebocyte Lysate (LAL). Las endotoxinas reaccionan con un extracto purificado de la sangre del cangrejo herradura *Limulus polyphemus* y esta reacción puede ser usada para determinar la concentración de endotoxinas.

Hay algunas versiones del test LAL oscilando del semi cuantitativo "gel – clot method" al completamente automatizado "kinetic turbidmetric method" que es sensible hasta 0.001 EU/ml. Hay un límite de endotoxinas en la industria farmacéutica por el Agua Para Inyecciones USP (WFI) de 0.25 EU/ml. El test LAL es relativamente rápido y barato.

El test LAL es usado si hay una preocupación acerca de endotoxinas en el agua final, tal como sucede en la industria farmacéutica, sin embargo, debido a los veloces resultados y al relativo bajo costo del test LAL, otras industrias, con necesidades críticas de calidad de agua, necesitan comenzar a usarlo, como un rápido indicador de posible contaminación bacteriana.

Total de Carbono Orgánico (TOC):

El TOC mide en forma directa el material orgánico, oxidable y basado en carbón, en el agua. El TOC se usa en sistemas de purificación de agua donde algunas cantidades de contaminación podrían dañar la calidad del producto.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Los contaminantes del agua pueden ser clasificados de acuerdo a sus características comunes.

2.3.1 Iones Comunes

Dureza Total:

La presencia de iones de Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) en una fuente de agua es comúnmente conocida como "dureza". Esta se expresa generalmente como partes por millón (ppm) o granos por galón (gpg).

TABLA N° 2.2
CONTAMINANTES DEL AGUA

CLASIFICACIÓN

1. Iones Comunes:

Dureza (Ca^{+2} , Mg^{+2}), Hierro (Fe^{+2} , Fe^{+3}), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Sulfato (SO_4^{-2}), Cloruro (Cl^-), Fluoruro (F^-), Alcalinidad (CO_3^{-2} , HCO_3^- , OH^-), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), Cloro (Cl_2), cloraminas, Sílice, Aluminio (Al^{+3}), Sodio (Na^+), Potasio (K^+), Fosfato (PO_4^{-3}), etc.

2. Gases Disueltos:

Dióxido de Carbono (CO_2), Oxígeno (O_2), Ácido Sulhídrico (H_2S), Radón, etc.

3. Metales y No Metales Pesados:

Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Arsénico (As) y Selenio (Se).

4. Compuestos Orgánicos Disueltos:

- Originados Naturalmente:

Taninos, Ácido Fúlvico, Ácido Húmico, etc.

- Compuestos Orgánicos Sintéticos (SOC's):

Fertilizantes, químicos usados en la industria, minería, etc.

- Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's):

Tetracloruro de Carbón, Cloroformo, Cloruro de Metileno, etc.

5. Componentes Radiactivos:

Isótopos naturalmente aparecidos, residuos de procesos médicos o industriales, fugas radiactivas, etc.

6. Microorganismos:

Bacterias, virus, hongos y levaduras

El problema principal asociado con dureza en el agua es la formación de precipitaciones. Incluso niveles tan bajos como 5 a 8 ppm son muy elevados para muchos usos. La fuente de dureza son los minerales disueltos en el agua que transportan Calcio y Magnesio. La dureza de Carbonato y No - Carbonato son términos usados para descubrir la fuente de Calcio y Magnesio. La dureza de "Carbonato" usualmente resulta de rocas calizas (Carbonato de Calcio y Magnesio) mientras que la dureza de No Carbonatos generalmente viene de sales de cloruro y sulfatos.

TABLA N° 2.3
CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE DUREZA

	Ppm (mg/L)	Gpg
Agua blanda	0 – 17	< 1
Agua Ligera	17 – 60	1 – 3.5
Agua Moderamente Dura	60 – 120	3.5 – 7.0
Agua Dura	120 – 180	7.0 – 10.5
Agua Muy Dura	> 180	> 10.5

Hierro:

El hierro que forma parte del 5% de la corteza terrestre, es un contaminante común del agua. Este puede ser difícil para remover porque

puede cambiar sus estados de valencia, del estado ferroso soluble en agua (Fe^{+2}) hasta el estado férrico insoluble en agua (Fe^{+3}). Cuando el oxígeno o un agente oxidante es introducido, el ión ferroso deviene en férrico el cual es insoluble y entonces se precipita, llevando hasta una apariencia mohosa en el agua. Este cambio puede ocurrir cuando agua profunda es bombeada en un sistema de distribución donde ésta absorbe oxígeno. El ión férrico puede crear estragos en válvulas, tuberías, equipos de tratamiento y dispositivos que usan el agua.

Algunas bacterias pueden complicar posteriormente los problemas con el hierro. Organismos tales como *Crenothrix*, *Sphaerotilus* y *Gallionella* usan el hierro como una fuente de energía. Estas bacterias reductoras de hierro eventualmente forman un lodo mohoso y gelatinoso que puede taponar una tubería de agua. Cuando se diagnostica un problema de hierro es muy importante determinar si tal bacteria está o no presente.

Cobre:

La presencia de cobre se debe al empleo de sulfato de cobre para eliminar el gas y al paso del agua ya tratada por tuberías de cobre, puesto que el agua en estas condiciones es corrosiva.

Zinc:

Su presencia puede deberse al empleo de tanques galvanizados para almacenar agua.

Manganeso:

Aunque el manganeso se comporta como el hierro, concentraciones más bajas pueden causar problemas en el sistema de agua. Sin embargo, no aparece tan frecuentemente como el hierro. El manganeso forma un precipitado oscuro, casi negro.

Sulfato:

El sulfato (SO_4^{-2}) es muy común. Cuando se presentan en bajos niveles el sulfato crea problemas sólo para procesos críticos de manufactura. En niveles mayores, ellos están asociados con un sabor amargo. Muchas sales metálicas de sulfato divalentes son virtualmente insolubles y precipitan en bajas concentraciones.

Cloruro:

Las sales de cloruro (Cl^-) son contaminantes comunes del agua. El nivel crítico de cloruro depende del uso pensado para el agua. En altos niveles de cloruro causan un sabor salado o salobre y pueden interferir con algunos métodos de tratamiento de agua. Los cloruros también corroen los sistemas de suministro de agua, incluyendo algunos aceros inoxidable.

Flúor:

El flúor es agregado al agua para prevenir caries dentales, este agente puede contribuir a las enfermedades de los huesos en pacientes de hemodiálisis, aunque la evidencia por tal papel es débil. El ión fluoruro es un ión pequeño y difícil de rechazar. La ósmosis rechaza hasta el 99% del ión fluoruro.

Alcalinidad:

Alcalinidad es un término genérico usado para describir carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-). Cuando se presenta con iones de calcio y magnesio o algunos otros metales pesados, la alcalinidad contribuye a la precipitación. La presencia de alcalinidad puede también incrementar el pH.

Nitrato - Nitrito:

Aunque las sales de nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-) pueden aparecer naturalmente, su presencia en una fuente de agua usualmente indica la acción del hombre. Las fuentes más comunes de contaminación por nitratos y nitritos son los desperdicios animales, el alcantarillado, químicos industriales y fertilizantes. Incluso bajos niveles de nitratos son tóxicos para los seres humanos.

Cloro:

El cloro, debido a sus cualidades bactericidas, es importante en el tratamiento de la mayoría de los suministros de agua de las ciudades. Este es usualmente supervisado como cloro libre (Cl_2) en concentraciones de 0.1 a 2.0 ppm. En solución el cloro gaseoso se disuelve y reacciona con el agua para formar el anión hipoclorito (ClO^-) y ácido hipocloroso (HClO). La relativa concentración de cada ión depende del pH. A un pH neutro como 7.0, esencialmente todo el cloro existe como anión hipoclorito que es la forma oxidante más fuerte. Debajo de un pH 7, el ácido hipocloroso es dominante, y tiene mejores propiedades desinfectantes que el anión opuesto.

Aunque la acción microbiana del cloro es generalmente requerida, el cloro y los compuestos que forma pueden causar un desagradable sabor y olor. El cloro también forma pequeñas cantidades de compuestos trihalogenados de metano (THM's), los cuales son una reconocida preocupación de riesgo para la salud como materiales carcinógenos. Los materiales orgánicos con los cuales el cloro reacciona son conocidos como precursores de THM.

Cloraminas:

Las cloraminas son comúnmente usadas como un agente bactericida en el tratamiento de agua potable. En algunos casos el cloro está también presente como cloraminas (monocloraminas, NH_2Cl) como resultado de

cloro libre reaccionando con compuestos de amoníaco. El amoníaco es agregado al suministro de agua para estabilizar el cloro libre. Las cloraminas no son tan efectivas como inpedimentos microbianos, como el cloro, pero proveen mayor duración de residuos. La exposición a las cloraminas es asociada con hemólisis y anemia hemolítica en pacientes de hemodiálisis.

Dióxido de Cloro:

Este material es a menudo producido in situ, principalmente por la mayoría de las ciudades a través de la reacción entre cloro o hipoclorito de sodio y sodio clorito. Una fuente de dióxido de cloro más costosa está disponible como una solución estabilizada de clorito de sodio. El dióxido de cloro ha sido usado para el control de sabor y olor y como un eficiente biocida. El dióxido de cloro puede mantener un residuo por períodos extensos de tiempo en un sistema de distribución y no forma trihalometanos (THM's) o cloraminas si la forma estable de clorito de sodio es usada. La posible toxicidad de los iones clorato y clorito puede ser una preocupación para aplicaciones de agua potable.

Sílice:

Cada suministro de agua contiene al menos algo de sílice (SiO_2). La sílice aparece naturalmente en niveles que oscilan de unas pocas ppm a más de 200 ppm Este es uno de los elementos más comunes en el mundo. Entre los problemas creados por la sílice están las precipitaciones en

calderas, destilerías y sistemas de enfriamiento de agua o depósitos en las aletas de las turbinas. La precipitación de silicio es difícil de remover.

La química del sílice es compleja. Una característica inusual del sílice es su solubilidad. A diferencia de muchas precipitaciones de sales, el sílice es más soluble a mayores rangos de pH. El sílice puede estar presente en aguas naturales en una combinación de dos formas: reactivo (iónico) y no reactivo (coloidal).

- **Sílice Iónico (Reactivo):**

El sílice iónico o reactivo existe en un complejo de SiO_2 . Ese no es un ión fuertemente cargado y por tanto no es fácil de remover por intercambio iónico. Sin embargo cuando se concentra sobre niveles de 100 ppm, el sílice iónico puede polimerizar para formar un coloide.

- **Sílice Coloidal (No Reactivo):**

A concentraciones sobre los 100 ppm, el silicio puede formar coloides de 20 000 y más de peso molecular (PM), permaneciendo demasiado pequeño para ser efectivamente removidas por un filtro de partículas. La sílice coloidal es fácilmente removida por ultrafiltración, o puede ser reducida por tratamiento químico.

La sílice coloidal puede disminuir la eficiencia de los sistemas de filtración (tal como la ósmosis inversa).

Aluminio:

El aluminio (Al^{+3}) puede estar presente como resultado de la adición de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) conocido como Alumbre, un floculante comúnmente usado. El aluminio puede causar precipitaciones en sistemas de enfriamiento y calderas, es un problema para el tratamiento de diálisis. En pacientes de hemodiálisis, la exposición al aluminio puede resultar en severos síndromes neurológicos. Además la exposición crónica al aluminio es asociada con severas enfermedades al hueso. El aluminio es el menos soluble en el pH neutro común a la mayoría de fuentes de agua naturales.

La incidencia de mortalidad proveniente de contaminación de aluminio del agua ha disminuido marcadamente con el amplio uso de la ósmosis inversa para la purificación del agua.

La toxicidad con aluminio también puede acontecer si el concentrado ácido que es usado para la diálisis con bicarbonato, es bombeado mediante un sistema de distribución central que es incompatible con fluidos de bajo pH, por ejemplo el uso de una bomba que contiene aluminio en su fabricación.

Sodio:

El ión sodio (Na^+) es introducido naturalmente por medio de la adición de sales como cloruro de sodio (NaCl), carbonato de sodio (Na_2CO_3), nitrato de sodio (NaNO_3) y sulfato de sodio (Na_2SO_4). Este es también agregado durante el ablandamiento del agua o la descarga proveniente de los procesos industriales de la salmuera.

Por sí mismo el ión sodio es raramente un problema, pero cuando sus sales son la fuente de cloruros (Cl^-) o hidróxidos (OH^-), esto puede causar corrosión, y en altas concentraciones (tales como la del agua de mar) corroerá incluso aceros inoxidable.

Potasio:

El potasio es un elemento esencial más a menudo encontrado con cloruro (KCl) y tiene efectos similares pero es menos común que el cloruro de sodio. Este es usado en algunos procesos industriales. La presencia de cloruro de potasio es comúnmente un problema sólo cuando es requerida agua ultrapura.

Fosfato:

La mayoría de fosfatos (PO_4^{3-}), comúnmente ingresa a los suministros superficiales de agua a través del escurrimiento de fertilizantes y detergentes en los cuales los fosfatos son ingredientes comunes. Los

fosfatos también ingresan al ciclo hidrológico a través de la descomposición de los desechos orgánicos.

Los fosfatos son usados en muchas fórmulas antiprecipitantes. En los niveles encontrados en la mayoría de los suministros de agua los fosfatos no causan un problema a menos que sea requerida agua ultrapura. Los fosfatos pueden sostener florecimiento de algas en aguas superficiales o tanques de almacenamiento abiertos.

2.3.2 Gases Disueltos

Dióxido de Carbono:

El dióxido de carbono disuelto (CO_2) se asocia con moléculas de agua para formar ácido carbónico (H_2CO_3), reduciendo el pH y contribuyendo a la corrosión en las líneas de agua, especialmente en las líneas de vapor y condensado. El ácido carbónico, a su vez, se disocia a bicarbonato (HCO_3^-) o carbonato (CO_3^{2-}), dependiendo del pH. La mayoría del CO_2 encontrado en el agua no viene de la atmósfera pero proviene del carbonato que el agua ha disuelto de las formaciones rocosas.

Oxígeno:

El oxígeno disuelto (O_2) puede corroer las líneas de agua, calderas e intercambiadores de calor, pero sólo es soluble en alrededor de 14 ppm a presión atmosférica.

Acido Sulfhídrico:

El ácido sulfhídrico (H₂S) puede contribuir a la corrosión, siendo encontrado principalmente en suministros de agua u otras fuentes anaeróbicas. El H₂S puede ser prontamente oxidado por cloro u ozono para eliminar el sulfuro.

Radón:

El radón es un gas soluble en agua producido por el decaimiento del radio y sus isótopos. Este es el gas más pesado conocido y aparece naturalmente en el agua subterránea por contacto con formaciones graníticas, fosfatos y depósitos de uranio. Una exposición prolongada puede causar problemas de salud incluyendo cáncer.

2.3.3 Metales y No Metales Pesados

Metales y no metales pesados como el plomo, arsénico, cadmio, selenio y cromo, cuando se presentan por encima de ciertos niveles, pueden provocar graves efectos en la salud humana. Además, pequeñas concentraciones pueden interferir con la manufactura y efectividad de productos farmacéuticos, así como en procesos industriales y de laboratorio de una naturaleza sensible.

2.3.4 Compuestos Orgánicos Disueltos

Los compuestos orgánicos disueltos aparecen en el agua como el producto de la descomposición de la materia y como la polución de compuestos sintéticos tales como pesticidas.

Originados Naturalmente:

Los taninos, ácido fúlvico y ácido húmico son comúnmente contaminantes naturales, ellos causan el color en el agua y disminuyen su estética pero, a menos que ellos reacciones con ciertos halógenos, ellos no tienen consecuencias conocidas en la salud en concentraciones normales.

En presencia de compuestos de halógenos libres (principalmente cloro o bromo), ellos forman hidrocarburos clorinados y trihalometanos (THM's), los cuales se sospecha son carcinógenos. El límite máximo permitido de THM's en sistemas potables de las ciudades ha sido impuesto en USA por la EPA.

Compuestos Orgánicos Sintéticos (SOC's):

Una amplia variedad de compuestos sintéticos que son potencial riesgo para la salud está presente en los sistemas de agua debido al uso de químicos en la industria y la agricultura.

Estos compuestos no son prontamente biodegradables y se lixivian de la tierra o son transportados por esparcimiento en las fuentes de agua. Muchos son sospechosos de ser carcinógenos y están regulados por la EPA.

Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC):

Debido a su relativo bajo peso molecular, muchos compuestos orgánicos sintéticos tal como tetracloruro de carbón, cloroformo y cloruro de metileno se volatilizan muy fácilmente. La volatilidad es la tendencia de un compuesto para pasar al estado de vapor. La mayoría son introducidos en el suministro de agua en su fase líquida. Si son ingeridos pueden ser absorbidos en el torrente sanguíneo. Muchos son cancerígenos.

2.3.5 Componentes Radiactivos

El agua en sí misma no es radiactiva pero puede contener radionúcleos. Ellos pueden ser introducidos ya sea como isótopos naturalmente aparecidos (muy raro) o como productos nucleares refinados provenientes de procesos industriales o médicos, fugas radiactivas, etc.

2.3.6 Microorganismos

Constituidos por los virus, bacterias, hongos y levaduras. Los productos del metabolismo o la muerte de las bacterias son las endotoxinas.

2.4 PROCESOS DE PURIFICACIÓN DEL AGUA

La calidad del agua suministrada para diálisis depende fundamentalmente del diseño de la planta de purificación, de su sistema de distribución y del mantenimiento de la calidad de agua.

A continuación se describirán los procesos de purificación de agua más utilizados. En las técnicas existentes observaremos los sistemas de remoción de contaminantes, sus ventajas y aplicaciones.

2.4.1 Filtración

Membranas Microporosas:

Hay tres tipos de filtración microporosa: profunda (depth), de pantalla (screen) y superficial (surface). Los filtros profundos son fibras enmarañadas o materiales comprimidos hasta formar una matriz que retiene las partículas por absorción aleatoria o atrapamiento. Los filtros de pantalla son inherentemente estructuras uniformes las cuales, como un cedazo retiene todas las partículas mayores a los precisamente controlados tamaños de los poros en su superficie. Los filtros de superficie son hechos de múltiples capas de medios, cuando las partículas pasan a través de estos filtros las partículas mayores que los espacios en el interior de la matriz del filtro son retenidas acumulándose principalmente en la superficie del filtro.

FIGURA N° 2.1
DEPTH FILTERS

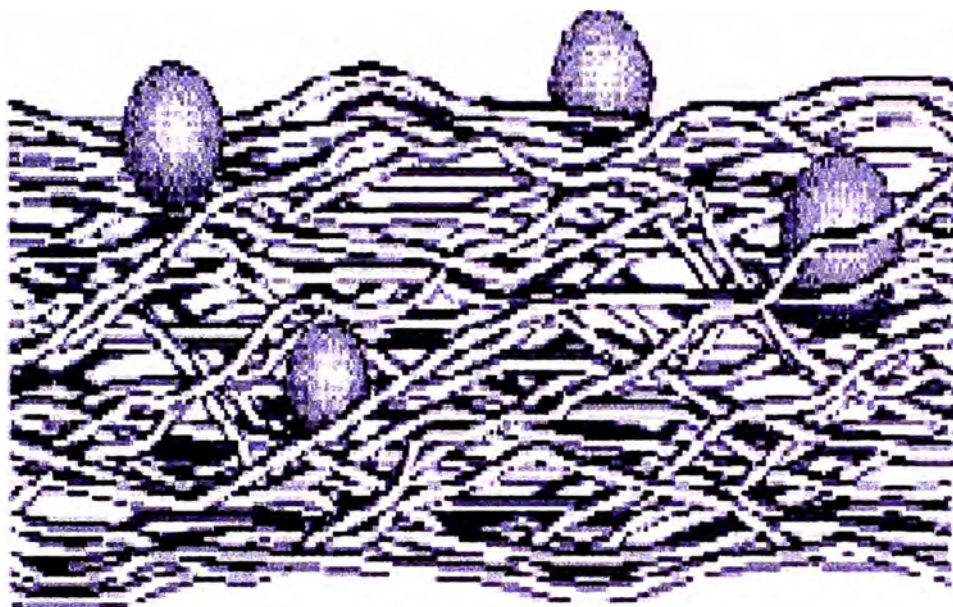
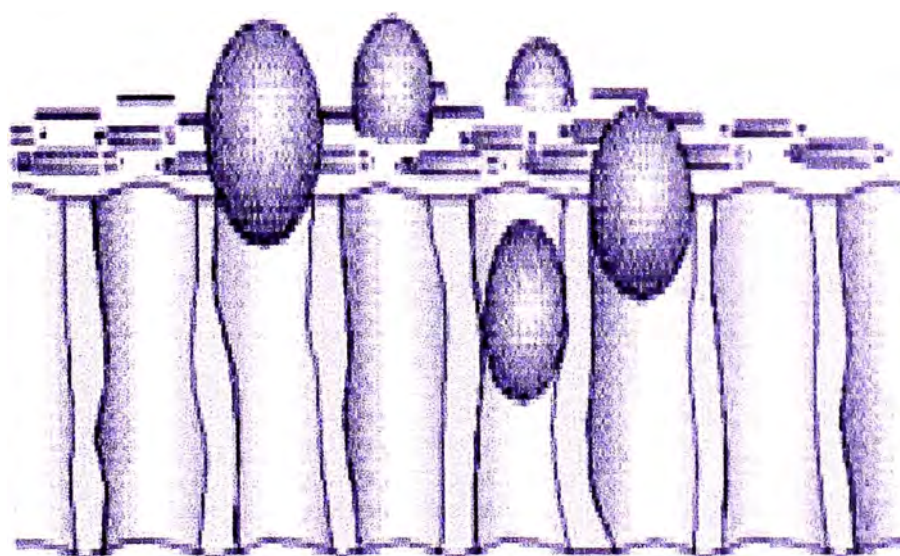


FIGURA N° 2.2
SURFACE FILTERS



La diferencia entre los filtros es importante porque los tres sirven para muy distintas funciones. Los filtros profundos son usados como prefiltros, porque ellos son una forma económica para remover el 98% de sólidos suspendidos y, para proteger a los elementos corriente debajo de ensuciamiento y obstrucciones.

Los filtros de superficie pueden remover 99.99% de sólidos suspendidos y pueden ser usados tanto como prefiltros o filtros clarificadores. Los filtros de pantalla son colocados en el último punto posible para remover los últimos trazos remanentes de resina, carbón, partículas coloidales y microorganismos, por ejemplo los filtros de 0.22μ , que virtualmente, retienen todas las bacterias, son usados para esterilizar soluciones intravenosas, sueros y antibióticos.

La ventaja de estos filtros es que remueve todas las partículas y bacterias que son mayores al tamaño de sus poros y requieren un mantenimiento mínimo. La desventaja es que no removerán los inorgánicos disueltos ni todos los coloides, además no son regenerables y tienen altos costos.

Filtros Granulares:

Los medios filtrantes granulares incluyen filtros multimedia, media-duales de manganeso, filtros de arena verde y media-duales de arena. Dichos filtros son usados para aplicaciones de pretratamiento o

postratamiento que involucran agua ultrapura, incluyendo filtración por membranas y/o intercambio iónico.

Un filtro típico consiste de un tanque, el medio filtrante y válvulas o un controlador para controlar el filtro durante sus ciclos, básicamente servicio, retrolavado y recirculación.

El aspecto más crítico del desempeño de estos filtros es la relación del flujo con el área del lecho filtrante y su profundidad.

El flujo nominal en el ciclo de servicio depende del área del lecho disponible y generalmente no debe exceder 5 gpm/pe^2 , con al menos unas 30 pulg de profundidad del lecho filtrante.

Otro criterio de diseño es el flujo de retrolavado. El retrolavado es función de la temperatura del agua, tipo, tamaño y densidad del medio y el diseño específico del filtro de presión.

Los medios filtrantes con densidades de $90 - 100 \text{ lb/pe}^3$ generalmente usan flujos de retrolavado de $12 \text{ a } 16 \text{ gpm/pe}^2$ de área. Medios filtrantes menos densos pueden usar menores flujos de retrolavado.

- **Filtros Multimedia:**

A diferencia de los filtros convencionales que se tapan fácilmente o tienen una alta caída de presión, casi desde el comienzo del ciclo de filtración, los filtros multicapa llevan de cuatro a cinco capas de mineral filtrante de diferente densidad y granulometría que van deteniendo las partículas de mayor tamaño en las capas superiores y las más pequeñas son detenidas en las siguientes capas. Este proceso permite un filtrado más fino y eficiente, permite flujos mayores que los filtros convencionales y alarga el periodo de operación por más de tres veces, antes de requerir efectuar un retrolavado.

- **Filtros Media - Duales:**

Existen ciertas preocupaciones en algunos sistemas de purificación que deben ser consideradas antes de que se llegue al tratamiento final, las dos preocupaciones más comunes son el hierro en el agua y las partículas que pueden taponar o ensuciar un sistema. La filtración media-dual puede aliviar ambas preocupaciones.

Los dos medios juntos son la arena verde de manganeso y la antracita. La arena verde de manganeso actúa en la forma de un tratamiento que, cuando se pone en contacto con el hierro disuelto en el agua, reduce dicho hierro de su forma soluble a la forma insoluble que se precipitará fuera de la solución. La antracita puede

filtrar entonces tanto el hierro precipitado fuera de la solución tan bien como otras partículas presentes en la fuente de agua.

Esta combinación de antracita y manganeso puede remover la mayoría de partículas mayores de $10\ \mu$ de tamaño. Además los filtros pueden ser retrolavados para remover las partículas atrapadas y el hierro, para prolongar el tiempo de vida del lecho.

○ **Filtros de Arena:**

La arena es un medio de filtración usado para remover turbidez. Los filtros de arena procesan grandes volúmenes económicamente pero tienen dos limitaciones, el medio más fino de arena está localizado en la parte superior del medio de soporte más tosco, lo que provoca que el filtro se tapone rápidamente y requiera frecuentes retrolavados. También la tosquedad del medio de arena permite que sólidos suspendidos más pequeños pasen, siendo requeridos a menudo filtros secundarios más densos.

FIGURA N° 2.3
FILTRO MULTIMEDIA



○ **Carbón Activado:**

Un filtro de carbón activado es también un tipo de filtro granular, el carbón puede existir en diferentes formas en estructuras cristalinas o amorfas. Los diamantes y el grafito son las formas en que mejor se conoce el carbón y sus usos son bien conocidos y documentados. Las formas amorfas incluyen el carbón negro, las fibras de carbón y los carbones porosos, todos ellos se obtienen al calentar o quemar, bajo condiciones controladas, materiales carbonosos tal como el carbón, las cáscaras de coco, la madera, la turba, el lignito y el

petróleo. El material carbónico es generalmente sólido y de origen natural.

Los orgánicos pueden ser catiónicos, aniónicos o no iónicos. Las resinas de intercambio iónico remueven algunos ácidos orgánicos solubles y bases (aniones y cationes) del agua no tratada pero, algunos orgánicos no iónicos dañan las resinas. Este proceso conocido como ensuciamiento de resinas daña las resinas disminuye la vida de las resinas y su capacidad. Para proteger las resinas de intercambio iónico, los filtros de carbón deben ser colocados antes para remover orgánicos no iónicos. El proceso de absorción del carbón es controlado por el diámetro de los poros en el filtro de carbón y por el ratio de difusión de las moléculas orgánicas a través de los poros. El ratio de absorción es una función del peso molecular y del tamaño molecular de los compuestos orgánicos. Algunos granos de carbón remueven en forma efectiva las cloraminas. El carbón activado también remueve el cloro libre y protege otros medios de purificación en el sistema que pueden ser sensibles a un oxidante tal como el cloro.

No todos los lechos de carbón activado son igualmente efectivos en remover cloraminas, para ello el carbón activado debe tener un "iodine number" de al menos 900. Además el agua debe permanecer en contacto con el carbón lo suficiente para permitir

que la absorción de cloraminas ocurra. Para la remoción de cloraminas se necesita un "tiempo de contacto para vaciado de lecho" (EBCT) de al menos 10 minutos. EBCT es definido como:

$$\text{EBCT} = \frac{7.48 \times \text{Volumen de carbón (pie}^3\text{)}}{\text{flujo de agua (gal/min)}}$$

El carbón es usualmente usado en combinación con otros procesos de tratamiento. La ubicación del carbón activado, con relación a otros componentes, es una importante consideración en el diseño del sistema de purificación de agua.

FIGURA N° 2.4
CARBÓN ACTIVADO

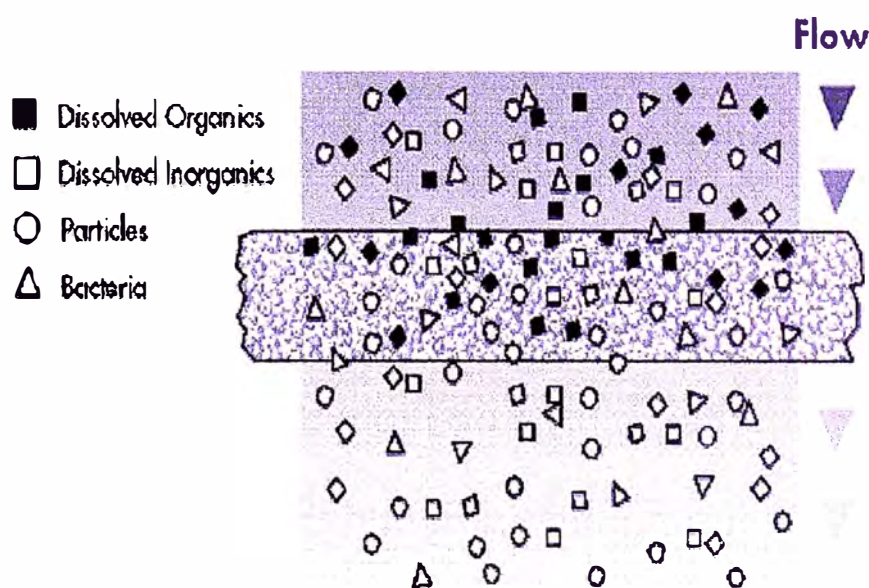


TABLA N° 2.4
FLUJOS Y RANGOS DE APLICACIÓN PARA FILTROS

	Back Wash Flow rate Gpm/ft ² (ml/min/cm ²)	Service Flow rate Gpm/ft ² (ml/min/cm ²)	Recomended Bed depth Inches (cm)	Bed Expansion Freeboard as % Bed Depth	pH Range
Manganese Greensand for Iron Removal	8 – 12 (33 – 49)	5 (20)	30 (76)	35 – 50%	6.7 or higher
Regular Birm For Iron Removal	10 – 12 (41 – 49)	5 (20)	30 – 36 (76 – 91)	35 – 50%	6.7 or higher
Aridzorb For Iron Removal	8 – 10 (33 – 41)	7 (29)	30 (70)	50%	7.0 or higher
Activated carbon For Taste & Odor Removal	8 – 10 (33 – 41)	5 (20)	30 (76)	35 – 50%	Wide range
Filter _ Ag For Sediment (Turbidity) Removal	8 – 10 (33 – 41)	5 (20)	24 – 36 (61 – 91)	50%	Wide range
Filter Sand For Sedimente (turbidity) Removal	12 – 15 (49 – 61)	3 – 5 (12 – 20)	24 – 30 (61 – 76)	35 – 50%	Wide range
Anthrafit For Sediment (turbidity) Removal	8 – 12 (33 – 49)	3 – 5 (12 – 20)	24 – 30 (61 – 76)	35 – 50%	Wide range

2.4.2 Destilación

La destilación es probablemente el método más antiguo de purificación del agua. El agua es primero calentado hasta la ebullición, el vapor de agua se eleva hasta un condensador donde agua refrigerante disminuye su temperatura para que el vapor se condense, sea colectado y almacenado. La mayoría de los contaminantes son dejados atrás en el recipiente de la fase líquida.

La destilación es la tecnología más aceptada para un suministro consistente de agua libre de pirógenos, sin el uso de aditivos químicos. La cuidadosa supervisión de la temperatura es necesaria para asegurar la pureza y evitar la contaminación del agua purificada.

Tecnologías como la ósmosis inversa y la ultrafiltración son comúnmente usados como pretratamiento para los procesos de destilación, con efecto de reducir su mantenimiento, causado por precipitaciones y contaminación orgánica.

Sin embargo algunos orgánicos con puntos de ebullición menores que 100 °C no pueden ser removidos eficazmente y pueden aparecer concentrados en el agua producto. Otra desventaja es el costo, la destilación requiere grandes cantidades de agua y energía.

2.4.3 Electrodialisis

La electrodialisis emplea corriente eléctrica y membranas especialmente preparadas las cuales son semipermeables a los iones basados en su carga, teniendo la capacidad de reducir el contenido iónico del agua. Consiste en dos membranas como láminas planas, una que preferencialmente realiza permeado de cationes y la otra de aniones, son apiladas alternativamente con canales de flujo entre ellas.

Los electrodos del cátodo y el ánodo están colocados a cada lado del apilado alternado de membranas para atraer los iones opuestos a través de las membranas, dejando bajas concentraciones de iones en el agua.

La eficiencia de la electrodialisis depende de los sólidos iónicos y el potencial de ensuciamiento de los sólidos y partículas en el agua de alimentación, la temperatura, el ratio de flujo, el tamaño del sistema y la corriente eléctrica requerida. Los orgánicos y los inorgánicos débilmente cargados no son removidos por electrodialisis. Recientes desarrollos tecnológicos han mejorado la calidad de la electrodialisis mediante la inversión periódica de la polaridad de los electrodos. Esto es llamado Electrodialisis Inversa y ha reducido las precipitaciones y los problemas de ensuciamiento comunes a la Electrodialisis.

2.4.4 Electrodeionización

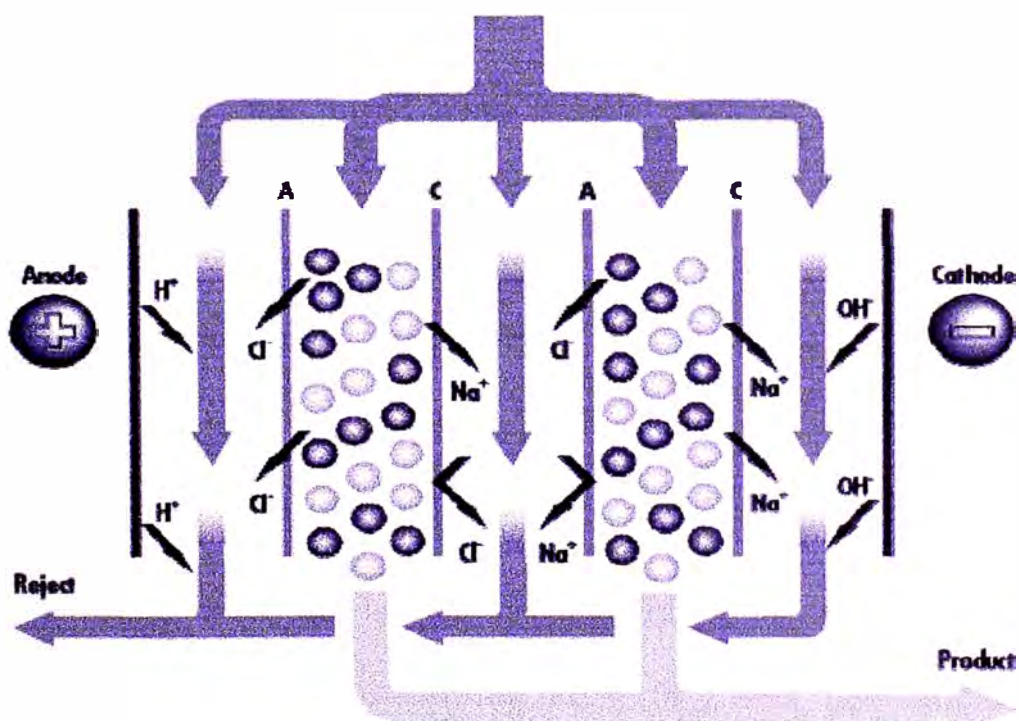
Esta nueva tecnología es una combinación de electrodiálisis e intercambio iónico, resultando en un proceso que efectivamente deioniza agua dado que las resinas de intercambio iónico son continuamente regeneradas por la corriente eléctrica en la unidad. Esta regeneración electroquímica reemplaza la regeneración química de los sistemas tradicionales de intercambio iónico.

Estos equipos consisten en un número de celdas apiladas entre dos electrodos. Cada celda consiste de un marco de polipropileno al cual está unido una membrana permeable a cationes en un lado y una membrana permeable a aniones en el otro. El espacio en el centro de la celda entre las membranas selectivas de iones es llenado con una delgada cama de resinas intercambiadoras de cationes. Las celdas están separadas una de otra por un separador de pantalla. El agua de alimentación que ingresa a la unidad es dividida en tres partes, un pequeño porcentaje fluye sobre los electrodos, 65 a 75% pasa a través de los lechos de resina en las celdas y el remanente pasa a lo largo de los separadores de pantalla entre las celdas.

Las resinas intercambiadoras de iones captan los iones disueltos en el agua de alimentación en lo alto de la celda. La corriente eléctrica aplicada a través del dispositivo atrae dichos iones a través de las membranas selectivas hacia los electrodos. Los cationes son atraídos a

través de las membranas selectivas de cationes hacia el cátodo, y de manera similar los iones son atraídos hacia el ánodo. Estos iones, sin embargo son incapaces de viajar todo el trayecto hacia su respectivo electrodo, dado que ellos se dirigen a la membrana selectiva adyacente la cual es de carga opuesta. Esto previene posteriores migraciones de iones que son obligados a concentrarse en el espacio entre las celdas. Este espacio es conocido como el canal de concentrado y, los iones concentrados en esta área son vaciados fuera del sistema al desagüe.

FIGURA N° 2.5
ELECTRODEIONIZACIÓN



El canal que corre a través de los lechos de resina en el centro de las celdas, es conocido como el canal "diluído". Mientras el agua pasa a través de este canal es progresivamente desionizada, en el punto más bajo de este canal diluído, donde el agua está libre de iones, en el campo eléctrico se produce la división del H_2O , esto origina H^+ y OH^- , los cuales regeneran las resinas intercambiadoras de iones, eliminando la regeneración química.

2.4.5 Radiación Ultravioleta

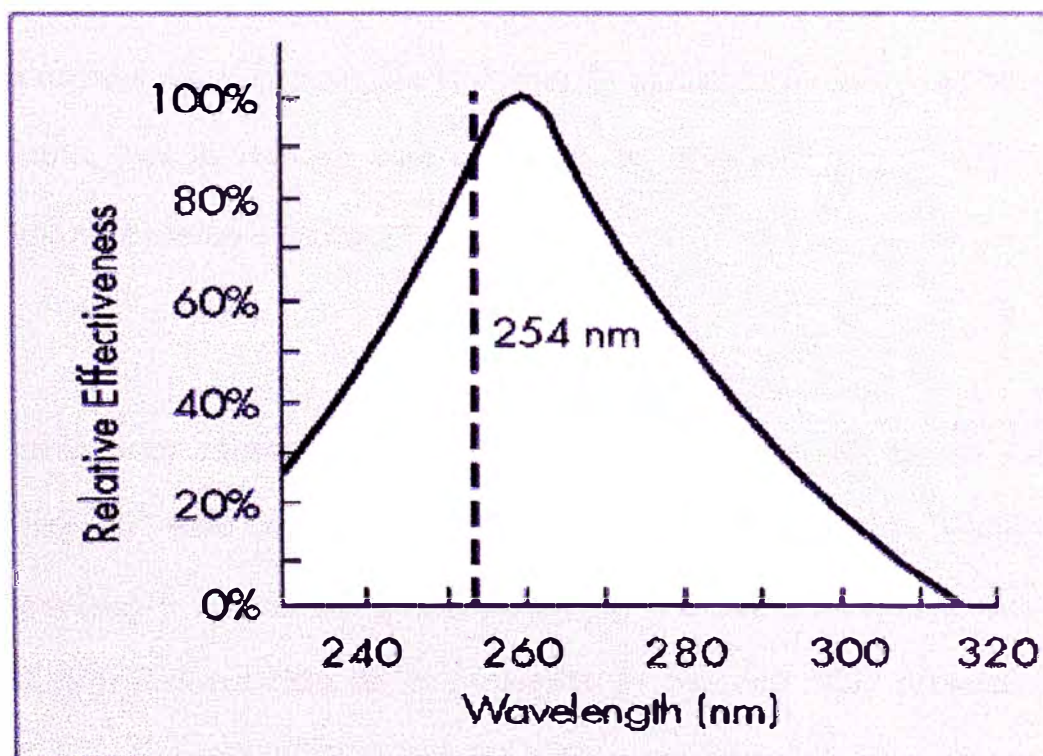
Es un proceso germicida que logra erradicar la contaminación microbiológica. Con una tecnología simple (sin adición de químicos ni cambios en la química general del agua), se hace pasar el influente por un cámara donde se encuentran las lámparas que emiten rayos de luz ultravioleta. Cuando los microorganismos tienen contacto con la radiación UV son automáticamente destruidos, logrando una exterminación del 99.99%.

La mayoría de las bacterias requieren de 6 000 a 13 000 μ watt por segundo por centímetro cuadrado, de 2537 Å para una completa destrucción. En algunas instalaciones los esterilizadores son localizados antes de filtros submicrónicos de manera que estos últimos puedan

últimos puedan colectar los desechos bacterianos provenientes del efluente del esterilizador.

Recientes avances en la tecnología de lámparas UV han resultado en la aparición de lámparas que luz UV de 185 nm y 254 nm. Esta combinación es necesaria para la foto-oxidación de compuestos orgánicos permitiendo reducir los niveles de TOC a 5 ppb.

FIGURA N° 2.6
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA



2.4.6 Ozono

El Ozono se utiliza para la desinfección de agua ya que descompone agresivamente a los organismos vivos sin dejar residuos químicos que puedan afectar la salud o el sabor del agua.

El Ozono se genera a partir del aire u oxígeno aplicando una descarga de alto voltaje para convertir parte del oxígeno (O_2) a Ozono (O_3). El gas "ozonizado" se mezcla con el agua para disolverse. La desinfección más eficiente se logra con 0.4 mg/l sostenido por 4 minutos, es decir un CT (Concentración en mg/l por Tiempo en minutos) de 1.6. La cantidad de ozono requerido para alcanzar estos valores de CT depende de la temperatura del agua, del pH, de la demanda inicial de ozono y el sistema de contacto. Por lo regular, esta cantidad, se sitúa entre 1 y 2 mg/l de dosificación de ozono al agua.

Los generadores consisten en: un tubo dieléctrico por el que se hace pasar oxígeno, éste recibe una descarga eléctrica constante (llamado efecto corona) y que se ha generado en un transformador. Este hecho provoca la transformación de la molécula de oxígeno (O_2) proveniente del aire, en una molécula de ozono (O_3). Este gas (Ozono), es succionado por un sistema Venturi, y es mezclado con el agua que va a ser tratada.

FIGURA N° 2.7

EQUIPO GENERADOR DE OZONO

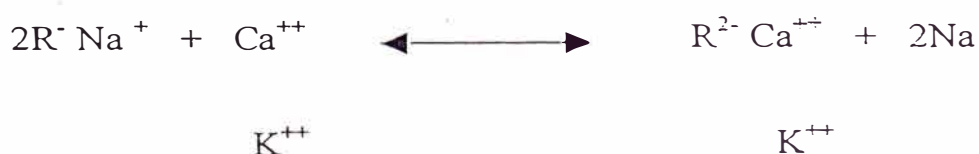
**2.4.7 Intercambio Iónico**

El proceso de intercambio iónico filtra el agua a través de resinas intercambiadoras de iones. Las resinas en el agua son intercambiadas por otros iones fijados en los lechos. En esta categoría se encuentran los procesos de ablandamiento y los procesos de desionización, que emplean resinas cargadas eléctricamente para realizar el intercambio iónico con los contaminantes presentes en el agua.

○ **Ablandamiento:**

Durante el ablandamiento o desendurecimiento, al agua, por un proceso de intercambio iónico, se le substituye o intercambia minerales duros como calcio y magnesio principalmente, por suaves, como sodio, a través de su carga eléctrica. El efluente atraviesa una cama de resina con carga iónica, removiendo los minerales contenidos en el fluido.

El intercambio de cationes, es un método que permite la eliminación de calcio y magnesio presentes en el agua, al intercambiarlos por iones sodio, tal como se muestra en las siguientes reacciones



Los lechos de los ablandadores intercambian dos iones sodio por cada ión de calcio y magnesio removido del agua ablandada. Cuando el intercambiador se agota, se regenera con cloruro sódico (salmuera). Durante la regeneración con una solución de 6 – 10%

de cloruro de sodio, las resinas absorben iones de sodio y desplazan cationes multivalentes.

Durante el proceso de ablandamiento también se eliminan de la solución los iones de hierro y manganeso. Los equipos que realizan el proceso de ablandamiento tienen por lo general cuatro componentes estándares: un tanque de resina, resina, un tanque de salmuera para contener cloruro de sodio y válvulas o controladores.

Los principales factores para diseñar un equipo de ablandamiento de agua son el flujo requerido, las horas de operación y la dureza del agua. Al dividir la dureza del agua entre el factor de conversión 17.1 se obtendrá los granos de resina que se necesitan para suavizar un galón de agua (GPG = Granos Por Galón).

$$\text{Dureza total (ppm)} \div 17.1 = \text{GPG (Granos por galón)}$$

$$\# \text{ Granos de resina} = \frac{D \times F \times T}{17.1}$$

D: Dureza total (ppm)

F: Flujo horario (gph)

T: Horas de operación (h)

$1 \text{ ft}^3 = 30,000$ granos de resina

Los equipos generalmente se diseñan con una regeneración a 15 lbs por ft^3 , lo que hace que el equipo sea el más pequeño disponible. Recuperación de inversión rápida, alto consumo de sal.

$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/l}$

$1 \text{ GPG} = 17.1 \text{ ppm}$

○ **Desionización**

También conocido como desmineralización, es un proceso que remueve los iones del agua bajo el principio de intercambio iónico: "Iones de carga igual se repelen, iones de carga diferente se atraen". El influente atraviesa una cama de resina catiónica que atraerá los iones metálicos de carga positiva intercambiándolos por iones H^+ , después atravesará una cama de resina aniónica para atraer los iones no metálicos de carga negativa cambiándolos por iones OH^- . Los iones que son desplazados se combinan para formar agua (H_2O).

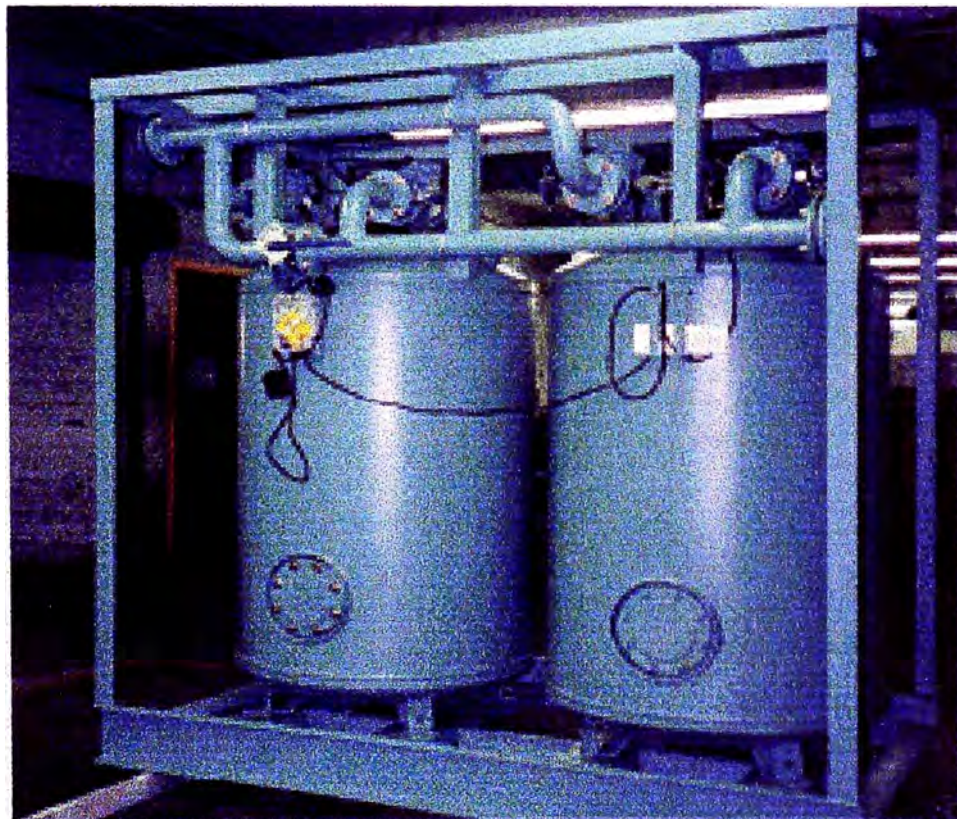
Estas resinas pueden encontrarse en tanques separados y al flujo se le imprime presión para lograr el efecto deseado. Una vez que ambas resinas se saturan se requerirá regenerarlas, es decir recargarlas con sus cargas naturales. Las resinas sintéticas de los desionizadores son similares a aquellas usadas en los ablandadores. Comúnmente son usados en agua que ha sido previamente filtrada.

Las resinas tienen capacidad limitada y deben ser regeneradas antes de que lleguen a estar exhaustas. Esto ocurre cuando se alcanza el equilibrio de iones absorbidos. Las resinas catiónicas se regeneran con un ácido fuerte y las resinas aniónicas con una base fuerte. Esta regeneración puede realizarse en las instalaciones del sistema de purificación mediante el equipamiento adecuado y el correcto uso de los químicos necesarios.

Las dos configuraciones básicas en los equipos de desionización son las de dos lechos, que tienen tanque separados para las resinas catiónicas y aniónicas y la de lecho mixto, donde las dos resinas están mezcladas en un mismo tanque. Esta última configuración de desionizador produce agua de mejor calidad pero con flujos menores.

Estos equipos tienen la capacidad de producir agua ultrapura en términos de iones disueltos, alcanzando purezas superiores a los 18.3 meg-ohm/cm de resistividad.

FIGURA N° 2.8
ABLANDADORES



CONSORCIO MINERO PEÑA COLORADA Manzanillo Col.

FIGURA N° 2.9
DESIONIZADORES



2.4.8 Separación por Membranas mediante Presión

La Microfiltración es un proceso que emplea una membrana semi-permeable de baja presión, para separar sólidos suspendidos del agua, dejando pasar sales y macromoléculas:

La Ultrafiltración utiliza una membrana semi-permeable de baja presión, para separar partículas de alto peso molecular, dejando pasar sales y partículas de bajo peso molecular.

La Nanofiltración emplea un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión, en la que solutos de bajo peso molecular (1000 Daltons) son retenidos, pero las sales pasan, total o parcialmente, a través de la membrana con el filtrado

La Osmosis Inversa es un proceso que utiliza una membrana semi-permeable de alta presión, para separar partículas de bajo peso molecular y sales disueltas en el agua, dejando pasar únicamente agua.

FIGURA N° 2.10

TIPOS DE SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

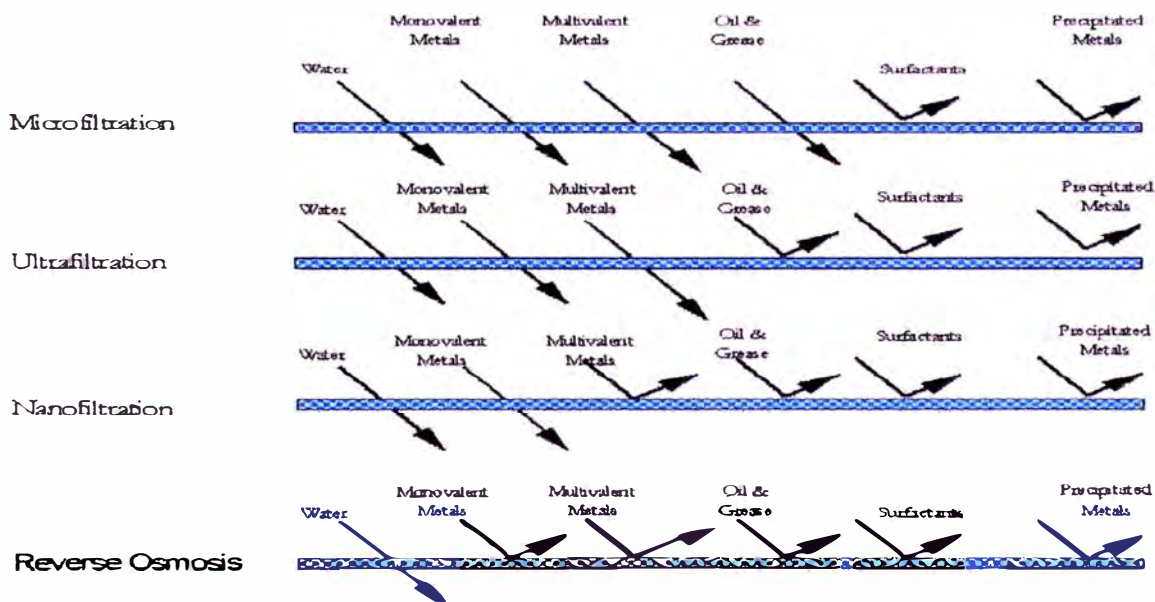
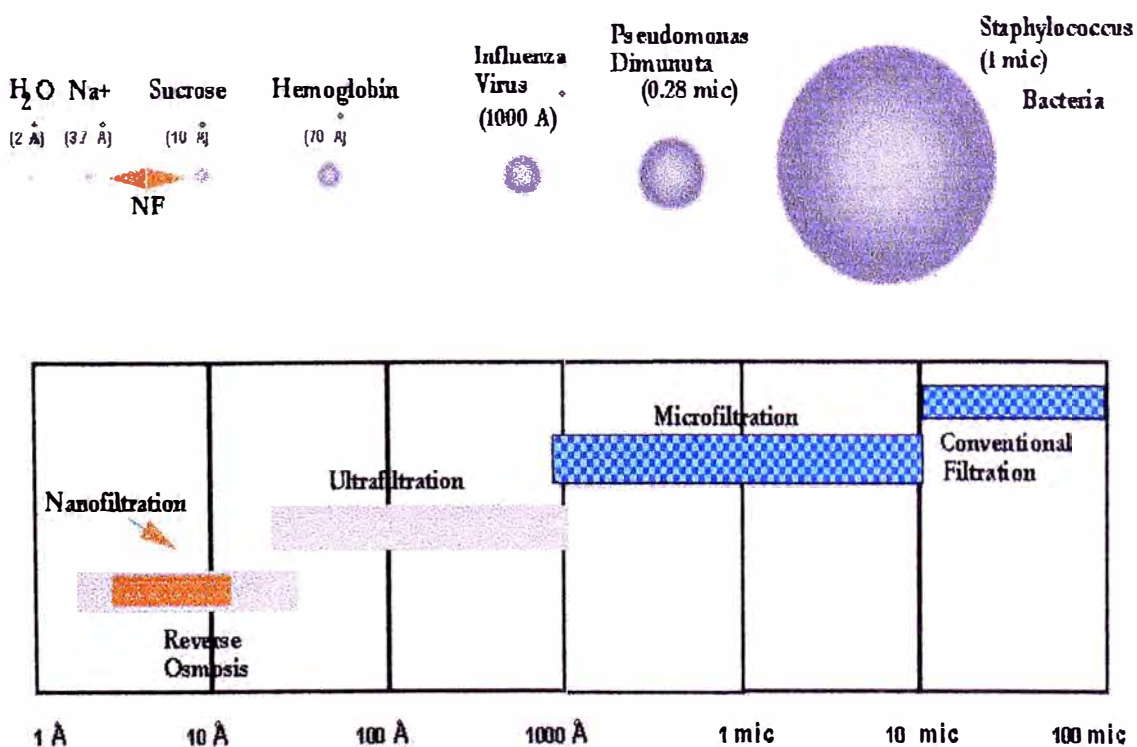


FIGURA N° 2.11

ESPECTRO DE FILTRACIÓN

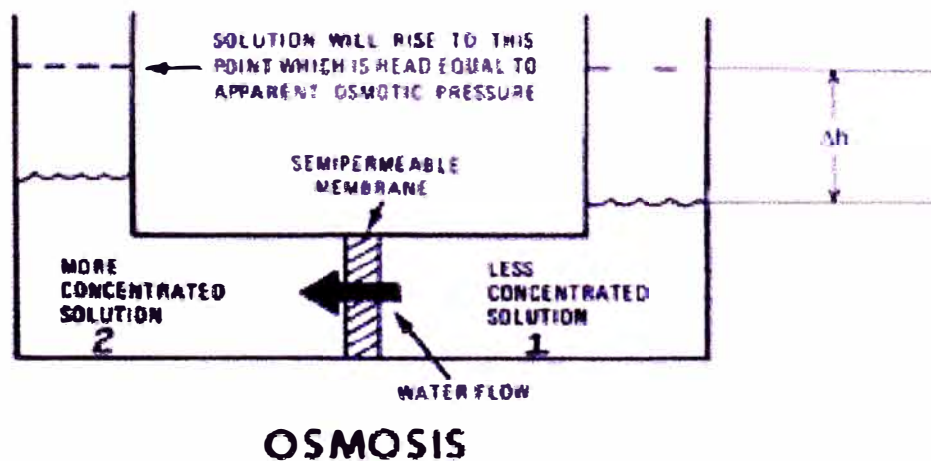


Ósmosis Inversa:

La ósmosis inversa es un proceso inventado por el hombre que invierte el fenómeno de la ósmosis natural, con el objetivo de obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua relativamente impuro.

FIGURA N° 2.12

PRINCIPIO FÍSICO



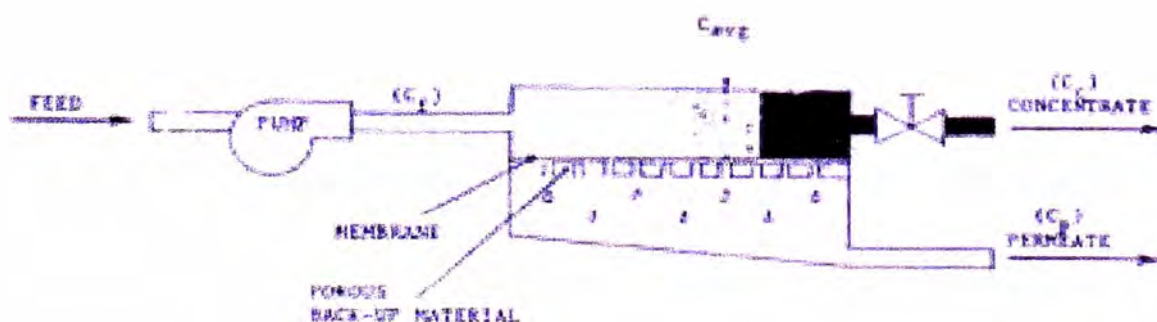
Mediante el proceso de ósmosis inversa el agua de alimentación que contiene sales disueltas y otros contaminantes, al ser sometida a la aplicación de presión queda prácticamente libre de toda impureza cuando ésta pasa a través de una membrana sintética. El agua pasa por difusión a través de la membrana, dejando atrás casi todas sus sales y, otras impurezas tales como materia orgánica, coloides, organismos microbiológicos y sílice. La ósmosis inversa remueve todos los orgánicos y más del 99% de los iónicos.

El agua permeada a través de la membrana es altamente pura y está prácticamente libre de bacterias, virus, pirógenos, patógenos, larvas, esporas, quistes, algas, y muchas otras impurezas que pueden afectar la salud humana.

La ósmosis inversa es un proceso continuo que siempre tiene tres corrientes diferentes de agua, una de entrada y dos de salida. De ellas la corriente de rechazo o concentrado es la más crítica porque arrastra en forma continua todas las sales que rechazó la membrana, las cuales se encuentran en solución a punto de saturarse.

FIGURA N° 2.13

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO



C_f = Concentration of Feed

C_p = Concentration of Permeate

C_c = Concentration of Concentrate

C_{avg} = Average Concentration Over the Membrane

FIGURE 3

1. Area Superficial de las Membranas:

El área superficial de las membranas que se instalan es probablemente el factor de diseño más importante en un equipo de ósmosis inversa, la productividad en galones por día por pie cuadrado de membrana GFD, es un factor de diseño clave. El GFD no debe incrementarse excesivamente porque el sistema va requerir limpiezas más frecuentes lo que podría acortar la vida útil de las membranas por la eventualidad de que las membranas no sean limpiadas con la frecuencia adecuada. Cuando el GFD es mayor de 30 se presenta un incremento exponencial en la tendencia de las membranas a ensuciarse. Por lo general un incremento del GFD aumentando la temperatura pero aún más aumentando la presión, se aumenta el mantenimiento del equipo y se acorta la vida útil de las membranas. Un diseño de 20 – 25 GFD es normal para agua salobre limpia, para una segunda etapa de ósmosis inversa que se alimenta con permeado, diseñar con 25 – 30 GFD puede ser económicamente correcto con membranas de agua salobre.

El porcentaje de recuperación del equipo de ósmosis debe diseñarse teniendo en cuenta el tipo de las membranas y el análisis del agua. No se debe exceder de dicho porcentaje de recuperación de diseño para no dañar las membranas por incrustación.

Una de las características más importantes de las membranas de ósmosis inversa es poseer un alto rechazo de sales. Las membranas comerciales de agua salobre tienen un rechazo de sales de entre 90% y 99%.

2. Configuración de Membranas de OI

a) Tipo Espiral:

Está constituido por membranas extendidas como películas o láminas enrolladas espiralmente en torno a un tubo colector atravesado y cubierto con una envoltura final exterior, e introducido a una carcasa en forma tubular. El agua de alimentación bajo presión, circula a través de las membranas del tubo colector o fuera del elemento. Las sustancias retenidas permanecen en la parte exterior de las membranas y son descargadas como rechazo.

b) Tipo Tubular:

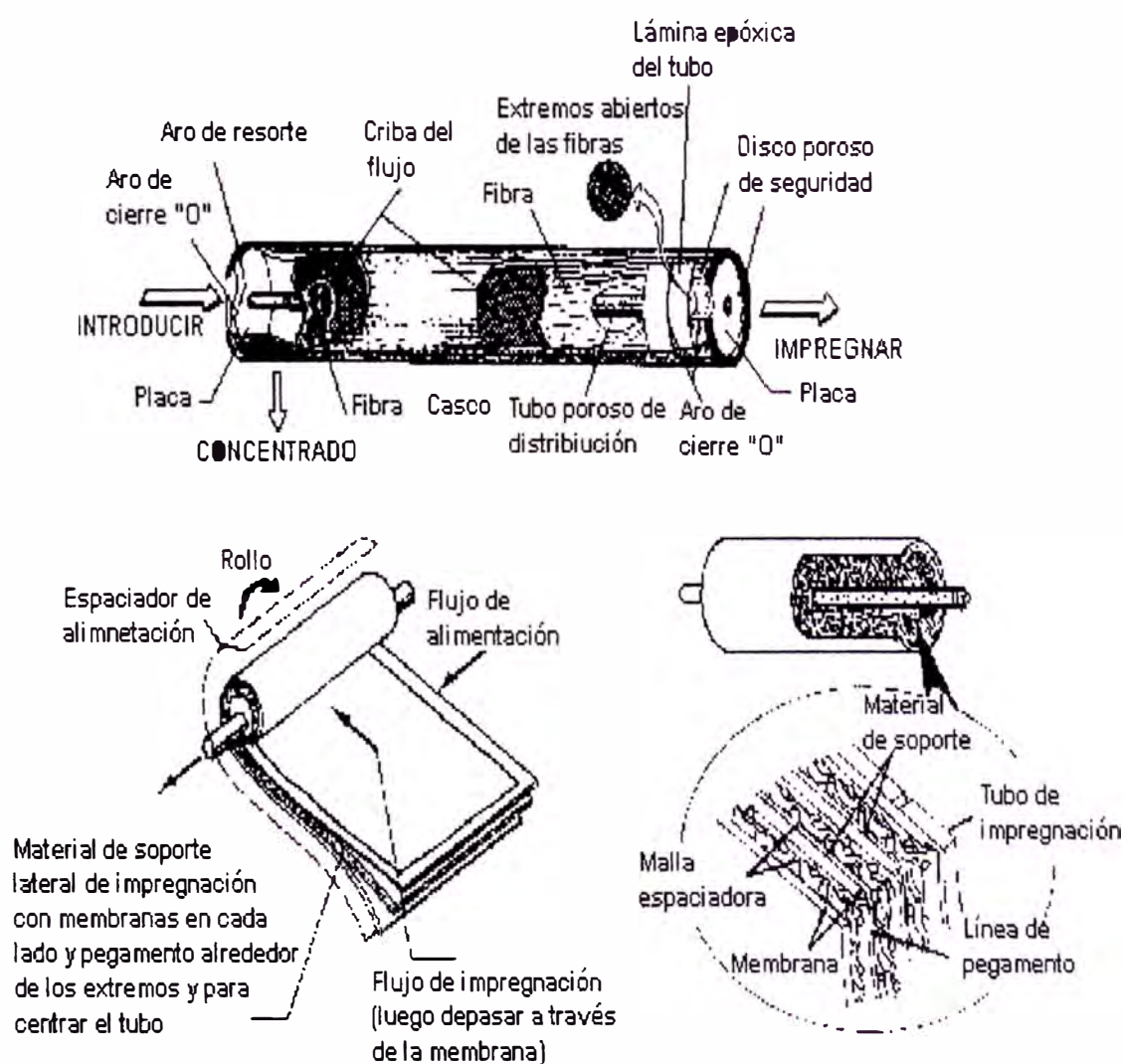
Utiliza una membrana contenida en la superficie interior de un tubo soporte, a fin de resistir la presión aplicada en la ósmosis. Este tipo de sistema soporta presiones mayores a 60 bar. El agua de alimentación fluye a presión por el tubo, de tal forma que el permeado pasa a través de la membrana; mientras que el concentrado permanece dentro, y luego es descargado por el extremo opuesto. Se usa principalmente

para tratamientos de soluciones que soportan altas presiones osmóticas (agua de mar).

c) **Tipo Fibra Hueca:**

Está constituida por fibras huecas muy finas, con un diámetro exterior de 80 micrones y un diámetro interior de 40 micrones. Las fibras están agrupadas dentro de un haz cilíndrico, hasta sumar un área superficial grande en un espacio relativamente pequeño. El agua de alimentación circula a presión alrededor de las fibras, y fluye a través de los poros u orificios de la fibra. Las sustancias de rechazo permanecen retenidas dentro de las fibras huecas, aumentando cada vez su concentración, la que luego es descargada. Puede soportar presiones hasta de 80 bares, sin recurrir a soportes mecánicos. La parte abierta de las fibras está sumergida en un disco poroso que soporta u comunica directamente con el orificio de salida del agua permeada.

FIGURA N° 2.14
MEMBRANA TIPO ESPIRAL DE OSMOSIS INVERSA



3. Tipo de Membranas de OI:

a. Acetato de Celulosa (CA):

Son las primeras membranas en desarrollarse para la RO. Son fabricadas para las RO's tipo espiral. Su límite de pH está sujeto a su deterioro biológico, y varía de 5 a 7 (para evitar su hidrólisis), lo que limita su estabilidad físico-química. Sin embargo, son de bajo costo y algunas veces son más bien reemplazadas que limpiadas.

b. Triacetato de Celulosa (CTA):

Es más resistente al ataque biológico que la CA, pero tiene un rango ajustado de pH. Sólo se usa en la fabricación de RO de tipo espiral, aunque existen sistemas tipo fibra hueca que usan CTA.

c. Poliamida Aromática (PA):

Es una membrana de fibra huecas muy finas con un diámetro externo de 85 micrones y un diámetro interno de 42 micrones. La membrana PA tiene una relativa mejor estabilidad al ataque químico y biológico que la membrana CA, pero es degradada por el Cloro.

d. Composito de Película Delgada (TFC):

La membrana TFC consiste en capas ultrafinas de poliamidas (0.2 μ) en la superficie de una subcapa de polisulfonio microporoso de 40 μ . Esto es colocado en una membrana de poliéster de 125 μ a 150 μ . El cartucho es tipo espiral. Las membranas TFC tienen una excelente estabilidad química y biológica y trabajan a presiones moderadas.

e. Polisulfonio (PS):

La membrana PS es similar a la membrana TFC y tiene una tolerancia mayor a dosis continuas de cloro (hasta 5 ppm). Sin embargo, tiene poca resistencia al calcio y magnesio. Si el agua de alimentación tiene dureza total mayor que 1 ppm, pierde eficiencia. Se usan sólo para agua desionizada.

4. Parámetros de Funcionamiento:

a. Porcentaje de Rechazo (PR):

El porcentaje de sólidos totales disueltos que ha sido rechazado de la alimentación. Se puede medir con instrumentos o estimar de la siguiente forma:

$$PR = \frac{(TDS_{\text{alimentación}} - TDS_{\text{permeado}})}{TDS_{\text{alimentación}}} \times 100\%$$

b. Presión Diferencial (PD):

Es la medida de la pérdida de presión hidráulica de la membrana de la OI, y se puede calcular como la diferencia de presión de alimentación y del concentrado.

c. Porcentaje de Recuperación (%R):

Es el flujo de permeado purificado, expresado como porcentaje del flujo de alimentación que ingresa a las membranas de ósmosis inversa.

$$\%R = (\text{Flujo de permeado} / \text{Flujo de alimentación}) \times 100\%$$

d. Corrección del Flujo de Permeado:

Es la corrección del flujo del permeado respecto a la temperatura, presión y TDS del agua de alimentación.

$$CFP = (PNI_{su} / PNI_{d}) \times TCF \times FP$$

Donde:

PNI_{su}: Presión neta de impulso en la puesta en marcha

PNI_d : Presión de impulso día

TCF : Factor de corrección de la temperatura (ver anexo)

FP : Flujo de permeado

TABLA N° 2.5
CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS

FACTOR	TFC TIPO ESPIRAL	CA TIPO ESPIRAL	PS TIPO ESPIRAL	CTA TIPO ESPIRAL	CTA TIPO FIBRA	PA FIBRA HUECA
pH continuo	2 – 11	4 – 7.5	4 – 11	5.5 – 8.5	4 - 11	4 – 11
Ph Intermitente	1 – 12	2 – 7.5	2 – 12	4 - 9	2.5 - 12	2 – 12
Temperatura (°C)	120	90	95	95	86	120
Resistencia cloro	0.1 ppm	1.0 ppm	5.0 ppm	1.0 ppm	1.0 ppm	0.1 ppm
Resistencia Biológica	Muy bueno	Malo	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Conservación de Limpieza	Bueno	Malo	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Potencial de Ensuciamiento	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Resistencia a la oxidación	Malo	Bueno	Muy bueno	Regular	Regular	Malo

FIGURA N° 2.15
EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA



2.4.9 Tratamiento Químico

Existen muchas opciones para el tratamiento del agua con químicos que cumplen con funciones específicas. En caso de tener materia fina en suspensión se recomienda el uso de floculantes, antes de los filtros de materia coloidal. El alumbre es una sustancia floculante muy conocida, usada antes de procesos de ósmosis inversa, pero existen recomendaciones negativas dado que ante una eventual falla en el pretratamiento las sales de aluminio entrarían en contacto con las

membranas de ósmosis inversa, con la posibilidad de que se precipiten. Se debe tener en cuenta que el aluminio es uno de los contaminantes críticos en los tratamientos de hemodiálisis.

Entre las sustancias anti-incrustantes, el hexametáfosfato de sodio es uno de los más conocidos y económicos. Esta sustancia permite exceder el límite de precipitación de las sales por un factor de 2. se recomienda el empleo de una solución fresca de hexametáfosfato, no mayor de 3 días, además el tanque de hexametáfosfato debe estar limpio, tener cubierta y poseer un agitador que se opere continuamente.

El metabisulfito de sodio es una sustancia que asegura la retirada total del cloro, sin embargo con un pH muy bajo se forman ácidos oxidantes que pueden dañar las membranas de ósmosis inversa.

El ácido sulfúrico es una sustancia comúnmente empleada para reducir el pH del agua, siendo adicionada al flujo mediante una bomba químicamente resistente.

La soda cáustica es empleada para elevar el pH del agua, también se adiciona al flujo mediante una bomba químicamente resistente.

CAPITULO III

3.0 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA

3.1 ANTECEDENTES

El diseño de un sistema de purificación de agua para usos de hemodiálisis se debe desarrollar especificaciones técnicas propias debido a que no existen dos equipamientos de diálisis con características exactamente iguales.

El objetivo es conseguir agua lo más pura posible, con un rendimiento suficiente y al menor coste. Cuanto mayor sea la calidad del agua pretratada mayor será la del agua tratada y mejor la conservación del sistema de tratamiento.

El caudal de agua tratada necesario y el volumen de los depósitos de agua pretratada y tratada son determinados por el número de máquinas de

hemodiálisis y el número de turnos por día. El depósito de agua purificada debería garantizar por lo menos el funcionamiento de las máquinas de tratamiento de diálisis, durante todo un turno.

Dependiendo de los usos requeridos por cada instalación de diálisis, la demanda de agua puede variar en forma sensible. Se tiene como ejemplo, al reuso o reproceso de dializadores, proceso que puede incrementar el consumo de agua intermitente de 30% a 50% más de lo que se emplea en la preparación del líquido dializado en las máquinas de hemodiálisis durante el tratamiento de los pacientes. Además existen otras áreas como cebado de filtros, talleres, laboratorio y producción de soluciones desinfectantes, que consumen una cantidad notable de agua. El sistema por tanto, se debe dimensionar para cubrir con la demanda máxima.

El sistema de purificación de agua debe ser sobredimensionado por 20% a 25%, dado que el consumo se incrementa con el tiempo cuando el número de pacientes aumenta, al mismo tiempo que la capacidad y la eficiencia de la producción tienden a decaer conforme los equipos se aproximan al término de su vida útil.

Se debe tener en cuenta que en las instalaciones de diálisis existen diferentes aplicaciones que pueden requerir distintas calidades de agua. En el Perú, actualmente no se practica el procedimiento de fabricación de concentrado de bicarbonato, dentro de las instalaciones de las clínicas de diálisis debido a los

muy estrictos estándares exigidos para su preparación, más elevados que para el líquido de diálisis, siendo por lo general comprados a distribuidores especializados. Cuando múltiples usos están involucrados el sistema de purificación debe producir agua de acuerdo a los más rigurosos requerimientos de calidad.

El sistema de agua es siempre diseñado para cubrir el peor caso de la calidad de agua de alimentación a las instalaciones.

La calidad de agua de producto requerida es comparada con la del agua de alimentación a las instalaciones. Luego debe procederse a confeccionar una lista de procesos de purificación, los cuales tienen la capacidad de obtener las reducciones en los niveles de contaminantes. De esta lista, debe ser desarrollado un sistema de configuración preferido.

Las especificaciones técnicas serán desarrolladas para un modelo de clínica con 3 módulos de tratamiento, cada uno con 6 máquinas de hemodiálisis y 1 máquina de soporte..

3.2 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DEL AGUA PURIFICADA PARA USOS DE HEMODIALISIS

TABLA N° 3.1
AAMI WATER STANDARS (1982)

	Máximo Nivel permitido (mg/L)
Aluminio	0.01
Arsénico	0.005
Bario	0.1
Cadmio	0.001
Dureza total	21
Calcio	2
Calcio como CaCO ₃	5
Magnesio	4
Magnesio como CaCO ₃	16
Cloro (libre)	0.5
Cloramina (combinado)	0.1
Cromo	0.014
Cobre	0.1
Flúor	0.2
Plomo	0.005
Mercurio	0.0002
Nitrato (N)	2.0
Potasio	8.0
Selenio	0.09
Plata	0.005
Sodio	70
Sulfato	100
Zinc	0.1
Bacterias	200 C.F.U./ml

TABLA N° 3.2
FARMACOPEA EUROPEA (1997, monografía 1167).

	Máximo nivel permitido (mg/L)
Cloro	0.1
Cloruros	50.0
Fluoruros	0.2
Nitratos	2.0
Sulfatos	50.0
Aluminio	0.01
Calcio	2.0
Magnesio	2.0
Mercurio	0.001
Metales pesados	0.1
Potasio	2.0
Sodio	50.0
Zinc	0.1
Bacterias	100 U.F.C./ml
Endotoxinas	0.25 E.U./ml

Además:

	Nivel permitido
PH	> 6.8
Conductividad	< 40 μ S/cm

Centro de hemodiálisis – Lima.

3.3 CALIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN LIMA METROPOLITANA

TABLA N° 3.3

DETERMINACIONES	VALOR PROMEDIO	
I FÍSICAS		
Ph	7.62	
CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA	530	micromho/cm
SÓLIDOS TOTALES	443	mg/L
SÓLIDOS DISUELTOS	427	mg/L
II QUÍMICOS INORGÁNICOS		
ALCALINIDAD TOTAL	103	mg/L
DUREZA TOTAL	256	mg/L
DUREZA CÁLCICA	226	mg/L
CLORUROS	22.85	mg/L
SULFATOS	166.92	mg/L
NITRATOS	3.776	mg/L
NITRITOS	0.005	mg/L
AMONIACO	0.008	mg/L
D.O.O.	13.496	mg/L
FOSFATOS	0.051	mg/L
SÍLICE	14.657	mg/L
METALES		
HIERRO	0.04	mg/L
MANGANESO	0.009	mg/L
PLOMO	menos de 0.02	mg/L
CADMIO	0.002	mg/L
CROMO	menos de 0.02	mg/L
ZINC	0.126	mg/L
COBRE	0.009	mg/L
ALUMINIO	0.061	mg/L
SODIO	14.869	mg/L
POTASIO	2.816	mg/L
NO METALES		
ARSÉNICO	0.012	mg/L
BORO	0.017	mg/L
CIANUROS	menos de 0.001	mg/L
FLÚOR	0.328	mg/L
III QUÍMICOS INORGÁNICOS		
CARBONO TOTAL	24.95	mg/L
CARBONO ORGÁNICO	1.87	mg/L
CARBONO INORGÁNICO	23.08	mg/L
TRIHALOMETANOS	36.83	µg/L
CLOROFORMO	15.32	µg/L
DICLOROBROMETANO	14.03	µg/L
DIBROMOCLOROMETANO	6.70	µg/L
BROMOFORMO	0.77	µg/L

SEDAPAL. Archivo centro Metropolitano de Hemodiálisis – Lima. 1995.

3.4 REQUERIMIENTOS DE AGUA PURIFICADA EN UNA CLÍNICA DE HEMODIÁLISIS

3.4.1 Aplicaciones del Agua Purificada

Las áreas que requieren el uso de agua purificada, en una clínica de hemodiálisis son las siguientes:

- Area de salas de tratamiento de diálisis
- Area de reprocesamiento de filtros
- Area de cebado de filtros
- Area de taller de mantenimiento
- Otros

Por recomendaciones de los estándares internacionales todas estas áreas deben utilizar agua purificada que cumpla con las normas de calidad vigentes para uso de hemodiálisis (AAMI, Farmacopea Europea, etc.).

3.4.2 Volúmenes Diarios de Agua Purificada Requeridos

Los consumos de agua en un centro de hemodiálisis van a ser dimensionados teniendo como referencia el consumo promedio de un centro de diálisis estándar (Centro Metropolitano de Hemodiálisis).

- Necesidades de agua por máquina: 500 ml/min.
- Número de módulos: 3
- Número de máquinas por módulo: 6
- Número de máquinas de soporte por módulo: 1
- Número de turnos de tratamiento diarios (Lunes a Sábado): 3
- Número de horas tratamiento por turno: 3:30 hrs.
- Número de horas de desinfección y enjuague por turno: 1:30 hrs.

▪ **Volumen Diario de Agua Purificada Usada por las Máquinas en las Salas de Diálisis**

$$V_m = \{(F_{m1})(t_1) + (F_{m2})(t_2)\} \times (n_1 + n_2) \times (m) \times (T)$$

V_m : Volumen diario de agua purificada usada por las máquinas de hemodiálisis.

F_{m1} : Flujo de agua por máquina durante tratamiento de diálisis
(500 ml/min)

F_{m2} : Flujo de agua por máquina durante desinfección y enjuague
(750 ml/min)

t_1 : tiempo de tratamiento estándar por paciente (3:30hrs)

t_2 : tiempo de desinfección y enjuague estándar post-tratamiento
(1:30hrs)

n_1 : número de máquinas por módulo (6 máquinas)

n_2 : número de máquinas de soporte por módulo (1 máquina)

m : número de módulos de tratamiento por turno (3 módulos)

T : número de turnos de tratamiento por día (3 turnos)

Luego:

$$V_m = \{ (500 \text{ ml/min}) \times (3:30 \text{ hr}) + (750 \text{ ml/min})(1:30 \text{ hrs}) \} \times$$

$$(6 \text{ maq/módulo} + 1 \text{ maq/módulo}) \times (3 \text{ módulos/turno}) \times$$

$$(3 \text{ turnos/día})$$

$$V_m = (105 \text{ L} + 67.5 \text{ L}) \times (7 \text{ maq/mod}) \times (3 \text{ mod/tur}) \times (3 \text{ tur/día})$$

$$V_m = 10\,867.5 \text{ L/ día}$$

▪ **Volumen diario de Agua Purificada Usada en Reprocesamiento de Filtros:**

Por recomendaciones técnicas el flujo requerido en reprocesamiento de filtros se dimensiona como el 50% del consumo intermitente de tratamiento de diálisis.

$$V_r = (F_r) \times (t_r + t_{pc}) \times (T)$$

V_r : Volumen diario de agua purificada usada en reprocesamiento de filtros.

F_r : Flujo promedio de agua purificada requerido en el área de reprocesamiento de filtros.

t_r : tiempo promedio de reprocesamiento de los filtros por turno

T_{pc} : tiempo promedio de precebado de filtros por turno

T : número de turnos por día

$$F_r = (0.5)(F_d)$$

F_d : Flujo intermitente de tratamiento de diálisis

$$F_d = (F_m) \times (n_1 + n_2) \times (m)$$

F_m : Flujo de agua por máquina

n_1 : número de máquinas por módulo (6 máquinas)

n_2 : número de máquinas de soporte por módulo (1 máquina)

m: número de módulos de tratamiento por turno (3 módulos)

$$F_d = (0.5 \text{ L/min /maq}) \times (6 \text{ maq/mod} + 1 \text{ maq/mod}) \times (3 \text{ mod})$$

$$F_d = 10.5 \text{ L/min}$$

$$F_r = (0.5) \times (F_d)$$

$$F_r = (0.5) \times (10.5 \text{ L/min})$$

$$F_r = 5.25 \text{ L/min}$$

Luego:

Considerando: $t_r + t_{pc}$: 1.5 hrs

$$V_r = (5.25 \text{ L/min}) \times (1.5 \text{ hrs/turno}) \times (3 \text{ turnos/día})$$

$$V_r = (5.25 \text{ L/min}) \times (60 \text{ min/hr}) \times (1.5 \text{ hr/turno}) \times (3 \text{ turno/día})$$

$$V_r = 1\,417.5 \text{ L/día}$$

- **Volumen Diario de Agua Purificada Usada en Cebado de Filtros:**

$$V_c = (F_m) \times (t_c) \times (n_f) \times (T)$$

V_c : Volumen diario de agua purificada usada en el cebado de filtros

F_m : flujo de agua purificada en una máquina de hemodiálisis

t_c : tiempo promedio de cebado por filtro.

n_f : número de filtros para cebar por turno

T : número de turnos por día

Considerando:

t_c : 20 min

n_f : 21 filtros

$T = 3$ turnos

$V_c = (0.5 \text{ L/min}) \times (20 \text{ min/filtro}) \times (21 \text{ filtro/turno}) \times (3 \text{ turno/día})$

$V_c = 630 \text{ L/día}$

- **Volumen Diario de Agua Purificada Usada en Taller de Mantenimiento:**

$$V_t = (F_{m1}) \times (t_p) \times (n_p) \times (T) + (F_{m2}) \times (t_d) \times (n_p) \times (T)$$

V_t : Volumen diario de agua purificada usada en taller de mantenimiento.

F_{m1} : Flujo de agua por máquina en prueba de operatividad o calibraciones (500 ml/min)

F_{m2} : Flujo de agua por máquina en desinfección o enjuague (750 ml/min)

t_p : tiempo promedio de prueba de operatividad de la máquina y/o calibraciones.

t_d : tiempo promedio de desinfección y enjuague de las máquinas.

n_p : número de máquinas en prueba por turno (se diseña un punto de prueba por módulo)

T: número de turnos por día

$$V_t = (0.5 \text{ L/min}) \times (3:30 \text{ hr/maq}) \times (3 \text{ maq/turno}) \times (3 \text{ turno/día}) + (0.750 \text{ L/min}) \times (1:30 \text{ hr/min}) \times (3 \text{ maq/turno}) \times (3 \text{ turno/día})$$

$$V_t = 1\ 552.5 \text{ L/día}$$

▪ **Volumen Diario de Agua Purificada Usada para Otras Necesidades:**

Estas son opcionales y pueden no ser requeridas por una clínica de hemodiálisis estándar.

V_L : Volumen diario promedio usado en procesos de análisis de laboratorio u otras aplicaciones menores.

Considerando por comparación con otras clínicas de hemodiálisis:

$$V_L = 50 \text{ L/día}$$

3.4.3 Volumen Diario Total de Agua Purificada Requerido

$$V_t = V_m + V_r + V_c + V_t + V_L$$

Luego:

$$V_t = 10867.5 \text{ L/día} + 1552.5 \text{ L/día} + 630 \text{ L/día} + 1350 \text{ L/día} + 50 \text{ L/día}$$

$$V_t = 14\ 450 \text{ L/día}$$

El sistema de purificación de agua será sobredimensionado en un factor de 20% atendiendo futuras ampliaciones de la demanda.

Luego:

$$V_t = 14\ 450 \text{ L/día} \times (1.20)$$

$$V_t = 17\ 340 \text{ L/día}$$

3.4.4 Flujos y Presiones Requeridos:

Los flujos requeridos serán calculados para propósitos de establecer el flujo de diseño de la planta de purificación, de manera que éste, sea el mínimo suficiente para satisfacer las demandas máximas de flujo de las distintas áreas combinadas de la clínica.

- **Salas de tratamiento de diálisis. máquinas de diálisis:**

Flujo mínimo requerido en tratamiento de diálisis =

$$= (500 \text{ ml/min /maq}) \times (21 \text{ maq})$$

$$= 10\,500 \text{ ml/min}$$

$$= 10.5 \text{ L/min}$$

Flujo mínimo requerido en desinfección y enjuague =

$$= (750 \text{ ml/min/maq}) \times (21 \text{ maq})$$

$$= 15\,750 \text{ ml/min}$$

$$= 15.75 \text{ L/min}$$

Seleccionamos: 15.75 L/min

Mínima presión de agua: 0.5 bar

Presión máxima de agua: 10 bar

- **Reprocesamiento de filtros:**

Flujo mínimo requerido =

$$= (30 - 50\% \text{ de flujo de tratamiento de diálisis})$$

$$= (0.5) \times (10.5 \text{ L/min})$$

$$= 5.25 \text{ L/min}$$

- **Cebado de filtros:**

Flujo mínimo requerido =

$$= (500 \text{ ml/min}) \times (3 \text{ maq})$$

$$= 1.5 \text{ L/min}$$

Mínima presión de agua: 0.5 bar

Máxima presión de agua: 10 bar

- **Taller de mantenimiento:**

Flujo mínimo requerido en simulación de diálisis =

$$= (500 \text{ ml/min /maq}) \times (3 \text{ maq})$$

$$= 1.5 \text{ L/min}$$

Flujo mínimo requerido en desinfección y enjuague =

$$= (750 \text{ ml/min/maq}) \times (3 \text{ maq})$$

$$= 2.25 \text{ L/min}$$

Seleccionamos: 2.25 L/min

Mínima presión de agua: 0.5 bar

Máxima presión de agua: 10 bar

- **Otros:**

Flujo mínimo requerido en otras aplicaciones opcionales

(Laboratorio y/o otras) =

= 1 L / min

3.4.5 Flujo de Diseño Para el Agua Purificada:

Se seleccionará el flujo más crítico (Ver Figura N° 3.1) el cual será:

$$F_t = 15.75 \text{ L/min} + 5.25 \text{ L/min} + 1.5 \text{ L/min} + 1 \text{ L/min} + 2.25 \text{ L/min}$$

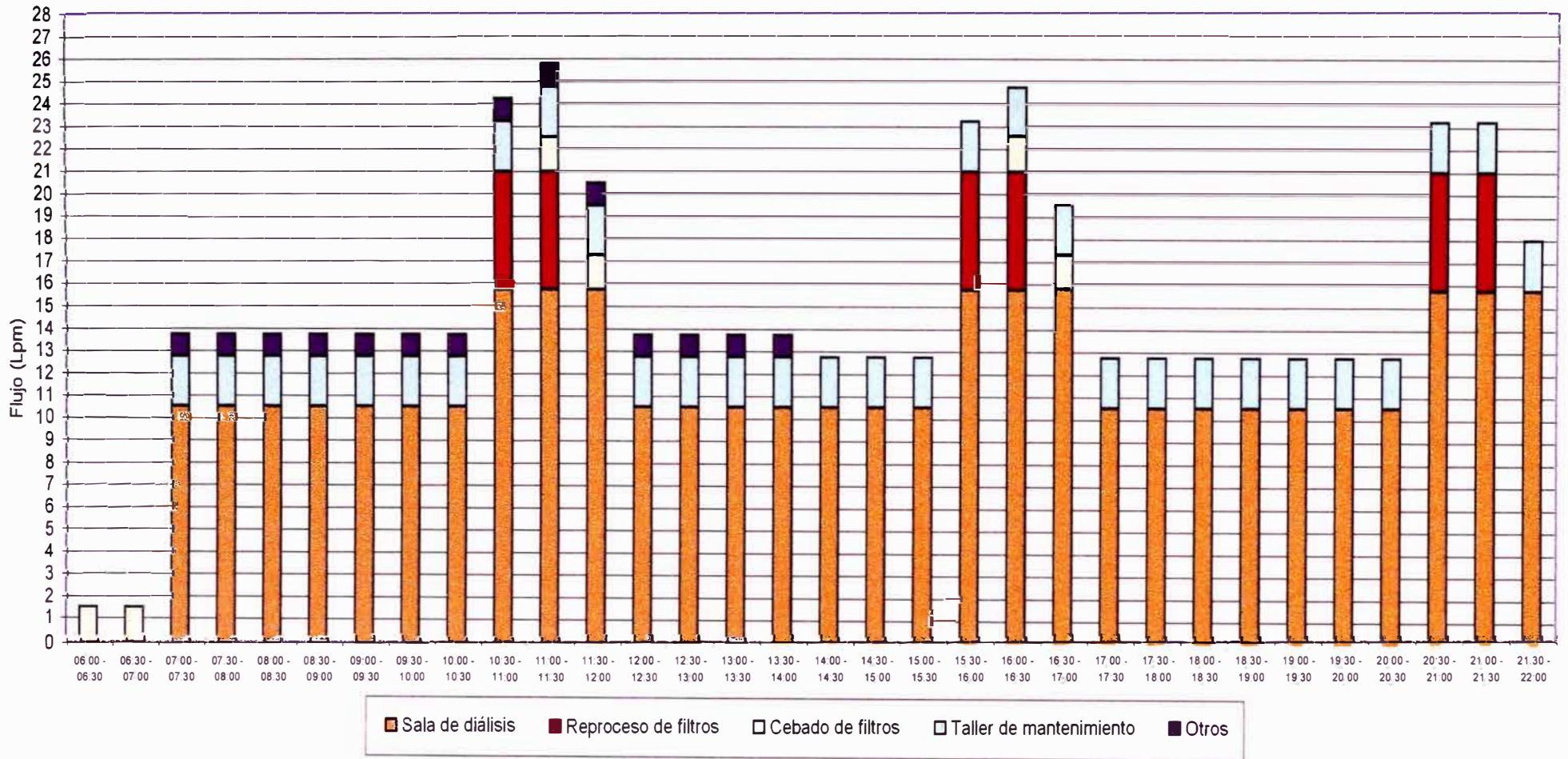
$$F_t = 25.75 \text{ L/min}$$

Para el diseño se agregará un factor de 20%, en previsión de que con los años se realice una ampliación del sistema ó que la eficiencia de los equipos disminuya con el tiempo de uso:

$$F_t = (25.75 \text{ L/min}) \times (1.2)$$

$$F_t = 30.9 \text{ L/min}$$

FIGURA N° 3.1
CONSUMO DIARIO DE AGUA PURIFICADA



CAPITULO IV

4.0 EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE PURIFICACIÓN DE AGUA

Los métodos usados para retirar los contaminantes y producir agua purificada que cumpla con los estándares internacionales para uso de hemodiálisis han sido presentados. A continuación evaluaremos técnicamente y económicamente las tecnologías existentes.

4.1 ÓSMOSIS INVERSA

Ventajas:

- o Existen en el mercado modelos de equipos de ósmosis inversa que ofrecen rangos de producción de agua purificada 150 a 100,000 gpd (567.75 Lpd a 378 500 Lpd), por tanto uno solo de estos equipos sería capaz de producir agua según los requerimientos de flujo del sistema.

- La Ósmosis Inversa reduce efectivamente el nivel de contaminantes inorgánicos en el agua por lo menos en un factor de 10 y el nivel de bacterias por un factor de 10^3 a 10^5 . Dichas reducciones son normalmente suficientes para producir agua de acuerdo con los estándares internacionales (AAMI). Varios autores recomiendan el empleo de ósmosis de dos pasos para el proceso de purificación de agua.
- La agencia de protección ambiental (EPA/USA) ha demostrado que el proceso de ósmosis inversa es altamente efectivo como reductor de contaminantes orgánicos, como los trihalometanos, los productos químicos volátiles (VOC'S) y los productos químicos sintéticos (SOC'S). Las concentraciones de estos contaminantes están señaladas como de alto riesgo para la salud y quedan retenidos por las membranas de ósmosis inversa.
- La ósmosis inversa es el medio más económico para remover de un 90% hasta 99% de todos los contaminantes. La estructura porosa de las membranas de ósmosis inversa es más firme que otras tecnologías de membrana.
- Las membranas de Ósmosis inversa son capaces de rechazar prácticamente todas las partículas, bacterias y orgánicos > 300 daltons de peso molecular (incluyendo pirógenos).
- Los costos operativos son relativamente bajos, de 1 a 1.5 \$/ 1000 gal agua purificada.

Desventajas:

- Debido a que las membranas de ósmosis inversa son muy restrictivas, ellas no rinden flujos muy grandes, por lo que dependiendo de su aplicación se podría requerir de cisternas de almacenamiento para producir un volumen adecuado en una cantidad razonable de tiempo.
- Las membranas semipermeables rechazan sales (iones) por acción de un fenómeno de carga, a mayor carga mayor será el rechazo. Por tanto aunque las membranas rechazan casi todos (>99%) los iones polivalentes fuertemente cargados solamente rechazarán 95% de los iones monovalentes débilmente cargados como el sodio.
- Los equipos de ósmosis inversa requieren de pretratamiento, que dependerá de la calidad del agua a tratar, para prevenir costos excesivos de mantenimiento y para extender la vida útil de las membranas.
- El cloro, aún en concentraciones pequeñas puede dañar ciertos tipos de membranas y no se ha demostrado su eficacia para la remoción de cloraminas.

TABLA N° 4.1
 PORCENTAJE DE RECHAZO TÍPICO DE LAS MEMBRANAS DE
 ÓSMOSIS INVERSA

Material/Element	% Removed	Material/Element	% Removed
Arsenic +3	70%	Arsenic +5	98%
Barium	97%	Bicarbonate	94%
Cadmium	97%	Calcium	97%
Chloride	92%	Chromate	97%
Copper	97%	Detergents	97%
Fluoride	98%	Herbicides	97%
Insecticides	97%	Lead	97%
Magnesium	97%	Nickel	97%
Nitrates	80%	PCBs	97%
Potassium	92%	Radium	97%
Selenium	97%	Silicate	96%
Silver	85%	Sodium	92%
Strontium	97%	Sulfate	97%
		Tot.Dissol.Solids	90%

Feed water: 60 psi, 76 degrees Fahrenheit, pH of 8

4.2 FILTRACIÓN POR MEMBRANAS MICROPOROSAS

Ventajas:

- Las membranas microporosas, que son de los tres tipos analizados: profundos (depth), de superficie (surface) y de pantalla (screen), están disponibles en amplios rangos. Estos filtros están disponibles en un rango de remoción de partículas de 0.5 a 100 μ .
- Los filtros de lecho profundo son usados por lo general como pre-filtros porque son un medio económico para remover 98% de los sólidos suspendidos y proteger del ensuciamiento y taponamiento a elementos de siguientes etapas del tratamiento, como por ejemplo la ósmosis inversa.
- Los filtros cartucho plegados (pleated cartridge filters) se desempeñan bien como filtros submicrónicos o de bacterias en el rango de 0.1 a 1.0 μm por lo que son frecuentemente usados para pulir el agua luego de otras etapas del tratamiento.

Desventajas:

- Los filtros de membranas microporosas por lo general no son un método de filtración absoluto porque una pequeña cantidad de partículas dentro del rango puede pasar dentro del filtrado.

- Los filtros cartucho plegados actúan como filtros de superficie, el medio es plegado para incrementar el área superficial disponible pero a este tipo de filtros las partículas mayores de 1 μm , rápidamente los taponan.
- Este tipo de filtros no son regenerables por lo cual deben ser reemplazados periódicamente para evitar su taponamiento y la proliferación bacteriana en su interior. Esto puede generar altos costos.
- Estos filtros no remueven los contaminantes inorgánicos disueltos, ni los pirógenos o todos los coloides. Tampoco remueven cloro ni cloraminas.

4.3 FILTROS GRANULARES

Ventajas:

- Los filtros granulares son principalmente usados para remover las partículas en suspensión más toscas en el inicio de los procesos de purificación.
- Existen varios tipos de filtros granulares disponibles cada uno desempeñándose para una determinada misión (filtros de arena, arena verde, duales y multimedia).
- Los filtros granulares protegen a los siguientes elementos del sistema de purificación de agua de ensuciamiento por partículas.
- No consumen sustancias regenerantes, sólo requieren ser retrolavados.

Desventajas:

- Emplean altos flujos de agua en sus ciclos de retrolavado que pueden ser de hasta tres veces el flujo de servicio.
- No remueven los contaminantes inorgánicos disueltos, ni las bacterias, virus o pirógenos.
- Constituyen un medio propicio para la proliferación de algas y bacterias.
- Además no remueven cloro ni cloraminas.

4.4 FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO**Ventajas:**

- Los filtros de carbón activado, son el único medio efectivo para remover cloraminas del agua.
- El carbón activado dispuesto antes de la unidad de ósmosis inversa remueve el cloro que podría degradar rápidamente algunos tipos de membranas de ósmosis inversa, aún en pequeñas concentraciones.
- Los lechos de carbón activado cuando son posicionados antes de resinas de intercambio iónico, las protegen del ensuciamiento al remover los orgánicos no – iónicos, que dichas resinas no pueden remover disminuyendo su capacidad y tiempo de vida.

Desventajas:

- Los filtros de carbón activado no remueven contaminantes de origen inorgánico, sales, cationes, aniones, etc. tampoco remueven bacterias, virus o pirógenos.
- Los lechos de carbón activado constituyen un medio propicio para la proliferación de bacterias. Además los filtros de carbón activado pueden generar partículas finas de carbón suspendidas en el efluente.
- Los lechos de carbón activado deben ser sanitizados o cambiados periódicamente para impedir el crecimiento bacteriano y cuando toda su capacidad de absorción ha sido usada debe ser reactivado por un proceso controlado de calor que no es fácil de realizar en el mismo emplazamiento de la planta de purificación. En otro caso debe ser reemplazado en un tiempo que dependerá de la calidad del agua en particular pero que no deberá exceder de 1 año.

4.5 DESTILACIÓN**Ventajas:**

- Los equipos de destilación, cuando son correctamente diseñados y operados, pueden remover prácticamente todas las impurezas en el rango de 10 partes por trillón (ppt), produciendo agua de extremadamente alta pureza.

- El empleo más significativo de los destiladores se realiza en laboratorios y en la industria de la farmacéutica y la biotecnología debido a su crítica preocupación por la contaminación biológica.
- La destilación es la tecnología más aceptada para un suministro consistente de agua libre de agentes pirógenos sin el empleo de aditivos químicos.

Desventajas:

- Los equipos de destilación requieren de un cuidadoso mantenimiento para asegurar la pureza del agua. Pueden requerir tecnologías de membrana tales como ósmosis inversa y ultrafiltración, como pretratamientos, con el propósito de reducir el mantenimiento causado por la contaminación orgánica.
- Aunque la mayoría de contaminantes son retenidos en el recipiente con la fase líquida, los orgánicos con puntos de ebullición menores de 100 °C no pueden ser removidos eficientemente y pueden presentarse en forma concentrada en el agua producto.
- Otra desventaja de los equipos de destilación es el alto costo comparativo del proceso, la destilación requiere de grandes cantidades de energía.

4.6 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Ventajas:

- Cuando los microorganismos tienen contacto con la radiación UV son automáticamente destruidos, logrando una exterminación del 99.99%.
- Las lámparas de mercurio de baja presión que generan 254 nm de luz UV son un medio efectivo de sanitizar el agua. La absorción de luz UV por el DNA y proteínas en las células microbianas, virus, levaduras y mohos resulta en la destrucción de los microorganismos.
- Recientes avances en la tecnología de las lámparas UV han resultado en la producción de lámparas especiales que combinan las longitudes de onda de manera que los niveles de TOC en el agua purificada pueden ser reducidos hasta 5 ppb.
- La colocación de lámparas de luz UV a la salida de los equipos de resinas prevendrá la contaminación bacteriana que estos equipos podrían causar en el sistema de tuberías de la planta de purificación.
- Las lámparas UV ayudan a mantener bajas cantidades de bacterias en el almacenamiento de agua de alta pureza y en sistemas de recirculación. En caso de que haya sido adicionado ozono al proceso, la luz UV degradará los residuos a O₂, previo a su uso final.
- Los sistemas de lámparas ultravioleta son de instalación sencilla, mantenimiento mínimo y bajo costo de operación.

Desventajas:

- Los sistemas de lámparas ultravioletas no removerán partículas, coloides ni iones. Tampoco dejarán un residual activo.
- La luz UV es efectiva sólo cuando el contacto con los microbios es directo. El agua de alimentación requiere estar libre de sólidos suspendidos que pueden “esconder” las bacterias de una adecuada exposición a luz UV.
- Un inadecuado diseño u operación de los sistemas de luz UV sólo dañará las bacterias, permitiendo que puedan recuperarse posteriormente.
- No remueven el cloro ni las cloraminas del agua de alimentación.
- Al descomponer los orgánicos en solución incrementará la conductividad del agua con la presencia de ácidos orgánicos débiles.
- Las lámparas ultravioleta destruyen las bacterias pero los desechos de éstas constituyen elementos pirógenos altamente nocivos para los pacientes de hemodiálisis.

4.7 ELECTRODIÁLISIS**Ventajas:**

- La electrodiálisis remueve efectivamente los contaminantes iónicos del agua mediante el empleo de energía eléctrica.

- El desarrollo de la tecnología conocida como Electrodiálisis Inversa (EDR), basada en la inversión periódica de los electrodos, ha permitido reducir los problemas de incrustaciones y ensuciamiento.
- Es conveniente cuando no se requiere agua muy pura y la sílice y los compuestos orgánicos presentes en el agua producto no afectan al proceso.

Desventajas:

- La eficiencia de la electrodiálisis se ve afectada por el potencial de ensuciamiento proveniente de los orgánicos y partículas en el agua de alimentación.
- Los contaminantes orgánicos, la sílice e incluso los inorgánicos débilmente cargados no son rechazados por la electrodiálisis. Tampoco reduce el contenido de cloro y cloraminas.
- Es capaz de reducir los contaminantes iónicos en proporciones similares a las de los equipos de ósmosis inversa pero incurriendo en mucho mayores consumos de energía.
- No remueven contaminantes bacterianos, pirógenos ni virus.
- Los costos de operación son altos por el elevado consumo de energía eléctrica para su funcionamiento.

4.8 ELECTRODEIONIZACIÓN

Ventajas:

- Los equipos de electrodeionización se regeneran electroquímicamente, en vez de la tradicional regeneración química, empleada por los desionizadores.
- Tienen la capacidad de remover contaminantes inorgánicos iónicos efectivamente.
- Estos dispositivos no contaminan el ambiente al no necesitar regeneración química ni almacenamiento de químicos.

Desventajas:

- Requieren de procesos de pretratamiento para que su rendimiento no se vea afectada por el ensuciamiento por orgánicos y partículas presentes en el agua de alimentación..
- La electrodeionización no remueve sílice ni compuestos orgánicos. Tampoco reduce el contenido de cloro y cloraminas.
- Los equipos de electrodeionización no son efectivos para la remoción de bacterias, pirógenos y virus.
- Tanto los equipos de electrodiálisis como los de electrodeionización tienen un alto costo de operación por su consumo de energía.

4.9 OZONIZACIÓN

Ventajas:

- El ozono es un oxidante dos veces más poderoso que el cloro. No agrega contaminación iónica al agua porque se degrada en oxígeno al ser expuesto a la luz de lámparas ultravioleta.
- El Ozono descompone agresivamente a los microorganismos patógenos sin dejar residuos químicos que puedan afectar la calidad del agua. Además crea un residual que inactiva los virus y otros microorganismos que no son sensibles a la desinfección con cloro.
- La presencia de ozono en lazos de distribución de agua puede ser empleada en lugar de sustancias desinfectantes, para sanitizar periódicamente el sistema, lo que generaría un significativo ahorro en mantenimiento.
- El ozono elimina el color, olor y sabor del agua. Además obtiene reducción de la turbiedad, contenido en sólidos en suspensión y de las demandas químicas (DQO) y biológicas del oxígeno (DBO).

Desventajas:

- Los equipos de ozono no reducen la contaminación iónica ni el contenido de sílice del agua de alimentación.

- Los equipos de ozono no pueden emplearse en sistemas de tuberías de PVC porque las degradan. Se emplean adecuadamente en las nuevas tuberías de PVDF y acero inoxidable, sin embargo estas tuberías son mucho más caras.
- No reducen el contenido de cloro ni de cloraminas.

4.10 ABLANDAMIENTO

Ventajas:

- Estos equipos permiten la sustitución o intercambio de minerales duros como calcio, magnesio, sílice, etc. por minerales suaves como sodio, a través de su carga eléctrica
- La regeneración con cloruro de sodio es un proceso simple, no muy caro, que no requiere el empleo de químicos fuertes y además puede ser un proceso automático.
- Los equipos de ablandamiento remueven efectivamente los inorgánicos disueltos causantes de la dureza del agua, son regenerables y tienen un costo inicial relativamente bajo. Además la operación y mantenimiento son sencillos.
- Los costos de operación son relativamente bajos, el costo de un saco de sal (50 kg) es de 9 soles.

Desventajas:

- Las desventajas que presentan estos equipos son que no remueven orgánicos, partículas, pirógenos o bacterias. Tampoco remueven el cloro ni las cloraminas.
- No remueven efectivamente otros contaminantes iónicos que no sean los causantes de la dureza del agua (Ca y Mg).
- Otra desventaja es el hecho de que se pueden generar partículas de resinas y cultivos bacterianos.
- Puede presentar altos costos de operación acumulados a lo largo de su vida útil.

4.11 DESIONIZACIÓN**Ventajas:**

- Existen dos configuraciones básicas en los equipos de desionización: son la de dos lechos, que tienen tanque separados para las resinas catiónicas y aniónicas y la de lecho mixto, donde las dos resinas están mezcladas en un mismo tanque. Esta última configuración de desionizador produce agua de mejor calidad pero con flujos menores.

- Estos equipos tienen la capacidad de producir agua ultrapura en términos de iones disueltos, alcanzando purezas elevadas, superiores a los 18.3 megohm-cm de resistividad.

Desventajas:

- La tecnología de intercambio iónico no puede remover orgánicos y por el contrario sus resinas constituyen un medio favorable para el crecimiento bacteriano. Tampoco remueve cloro ni cloraminas.
- El intercambio iónico tampoco remueve con facilidad la sílice, debido a su baja carga iónica.
- Un fallo en la regeneración de estos equipos puede ocasionar no sólo la presencia de remanentes de sales en el agua sino también el incremento de la concentración.
- Presenta altos costos operativos, principalmente por el consumo de insumos para regeneración. Los costos operativos pueden ser de 2 a 3 \$/1000 gal de agua purificada.
- El intercambio iónico, actualmente no tiene un uso económico si el agua de alimentación tiene un contenido de sales superior a 100 ppm.

4.12 TRATAMIENTO QUÍMICO

Ventajas:

- En caso de existir excesiva turbiedad en el agua empleada por la planta de purificación, existen sustancias floculantes que favorecen la cohesión de las partículas suspendidas permitiendo que los filtros de arena puedan atraparlas antes de que provoquen ensuciamiento en etapas posteriores del tratamiento de purificación.
- Las sustancias inhibidoras de incrustación y secuestrantes constituyen una alternativa para prevenir los efectos negativos de la dureza del agua.
- Por medio de sustancias como la soda cáustica y el ácido sulfúrico se consigue controlar establemente el nivel del pH deseado en el flujo del agua.
- Sustancias como el metabisulfito de sodio permiten secuestrar el cloro con efectividad.

Desventajas:

- En general el empleo de tratamiento químico agrega contaminantes al agua, que deben ser retirados con otra etapa del sistema de purificación.
- Una de las sustancias floculantes más comúnmente empleadas contiene aluminio en su composición, lo cual es sumamente peligroso porque el aluminio es un contaminante extremadamente peligrosos para los pacientes de diálisis y es además un contaminante crítico del agua de la fuente.

- El metabisulfito de sodio, sustancia empleada para neutralizar el cloro, puede degradarse para formar sulfato de sodio, el cual estimula a las bacterias reductoras de sulfato. En aguas oxidantes puede generar reacciones de oxi-reducción que son dañinas a todas las membranas de ósmosis inversa. En ciertas ocasiones puede contribuir a la incrustación en elementos de ósmosis inversa.
- El almacenamiento y la manipulación de estas sustancias pueden generar complicaciones de espacio y de seguridad porque algunas de estas sustancias pueden ser peligrosas para la salud de los operarios.
- Las soluciones anti-incrustantes tienen corta vida y deben ser cambiadas frecuentemente por una solución fresca, máximo a los tres días. Además constituyen un medio favorable para la multiplicación de la pseudomona aeruginosa, bacteria que ataca las membranas de acetato de celulosa. El tanque de hexametáfosfato debe estar limpio, cubierto y dotado de un pequeño agitador que opere en forma continua.
- Los costos de operación pueden aumentar considerablemente con el empleo de sustancias anti-incrustantes o secuestrantes de cloro por su relativo alto costo en el mercado (Flocon 100, 50 gal: 1500 US\$).

4.13 MATRIZ COMPARATIVA

TABLA N° 4.2

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Osmosis Inversa	Un solo equipo puede satisfacer la demanda de diseño. Remueve de un 90% a un 99% de los contaminantes inorgánicos y orgánicos. El agua producida generalmente satisface los requisitos de la AAMI. Costos de operación (1 – 1.5 \$/1000 gal) y mantenimiento relativamente bajos.	El cloro puede dañar algunos tipos de membranas de ósmosis inversa. No son efectivos en la remoción de cloraminas. De acuerdo a las características del agua requieren de pretratamiento. Algunos iones monovalentes, como el sodio, son más difíciles de remover.
Filtración Membranas	Están disponibles en rangos de 0.5 a 100 μ . Remueven 98% de los sólidos suspendidos. Son muy utilizados previos a otros equipos como protección y como pulidores en etapas finales del tratamiento.	Partículas mayores a su rango de trabajo rápidamente los taponan. No remueven contaminantes inorgánicos disueltos. No remueven cloro, cloraminas, pirógenos ni todos los coloides. No son regenerables, deben ser reemplazados periódicamente.
Filtros Granulares	Remueven las partículas en suspensión más toscas. Protegen a los demás elementos del sistema de purificación de ensuciamiento.	No remueven contaminantes inorgánicos disueltos. No remueven bacterias ni pirógenos. No remueven cloro ni cloraminas.
Carbón Activado	Único medio efectivo para remover cloraminas. Remueve cloro y contaminantes orgánicos.	No remueven inorgánicos disueltos. No remueven virus, bacterias ni pirógenos. Constituye medio propicio para crecimiento bacteriano. Requiere ser reemplazado periódicamente (Generalmente 1 año).
Destilación	Remueven prácticamente todas las impurezas en el rango de 10 ppt. Efectivo contra contaminación biológica y agentes pirógenos.	Mantenimiento riguroso. No remueve efectivamente algunos orgánicos con punto de ebullición menores de 100 °C. Altos costos de energía.
Radiación UV	Extermina 99.99% de los microorganismos. Previenen la contaminación bacteriana que pueden causar	No remueven partículas, iones ni coloides. Requiere de pretratamiento contra sólidos suspendidos.

	<p>otros equipos. Mantenimiento mínimo y bajo costo de operación.</p>	<p>No remueve cloro ni cloraminas y podría incrementar la conductividad del agua. Los desechos de la destrucción bacteriana son pirógenos, altamente contaminantes.</p>
Electrodiálisis	<p>Remueve efectivamente contaminantes iónicos. Conveniente cuando no se requiere agua muy pura y la sílice y los orgánicos no afectan el proceso.</p>	<p>La afectan el ensuciamiento orgánico y por partículas. No rechaza orgánicos, sílice, cloro, cloraminas. No elimina virus, bacterias ni pirógenos. Tienen comparativamente elevados consumos de energía.</p>
Electrodeionización	<p>Se regeneran electroquímicamente. Remueven efectivamente iones inorgánicos. No contaminan el ambiente y no requieren de almacenamiento y manipulación de químicos.</p>	<p>Requieren de pretratamiento contra ensuciamiento por orgánicos y partículas. No remueve sílice, orgánicos, cloro, cloraminas, bacterias, virus y pirógenos. Tienen altos costos comparativos de energía.</p>
Ozonización	<p>Destruye microorganismos patógenos incluso los que no son afectados por el cloro. Inactiva los virus. No agrega contaminación iónica. Elimina color, olor y sabor del agua. Reduce turbiedad y sólidos en suspensión.</p>	<p>No reducen contaminación iónica inorgánica ni sílice. No elimina el cloro ni las cloraminas. Dañan tuberías de PVC.</p>
Ablandamiento	<p>Sustituye Calcio y Magnesio por Sodio. La regeneración es simple, no muy costosa y puede ser automática. Los equipos de ablandamiento tienen un costo inicial relativamente bajo y son de fácil mantenimiento.</p>	<p>No remueven orgánicos, partículas, piógenos, virus o bacterias. Además de la dureza no remueven otros contaminantes iónicos. Generación de partículas de resinas y contaminantes orgánicos. Aumento de costos operativos acumulados.</p>
Desionización	<p>Produce agua ultrapura en términos de iones. Produce agua con 18.3 megohm/cm de resistividad.</p>	<p>No remueve orgánicos, cloro, cloraminas, virus, bacterias y pirógenos. Sus resinas son un medio favorable para crecimiento bacteriano. No remueve fácilmente la sílice. Altos costos operativos (2 –</p>

		3 \$/1000 gal). Sólo es económico cuando la alimentación tiene menos de 100 ppm de TDS.
Tratamiento Químico	Ayudan a la sedimentación de las partículas. Permiten elevar el límite de concentración al cual las sales se precipitan. Ayudan a controlar el pH del agua. Permiten secuestrar el cloro del agua.	Agrega contaminación química al agua. El aluminio empleado en floculación es un contaminante crítico. El metabisulfito de sodio que secuestra el cloro puede generar reacciones que dañan las membranas de OI. Puede estimular el crecimiento de ciertas bacterias. Generan riesgos de almacenamiento y operación. Aumento considerable de costos operativos

4.14 CONCLUSIÓN

La tecnología que ofrece un mayor rango de eliminación de contaminantes, que satisface casi completamente las normas internacionales (AAMI, Farmacopea Europea, etc.) del agua para usos de hemodiálisis, y de la manera más económica, es la ósmosis inversa.

Otra tecnología que ofrece una gran capacidad de eliminación de contaminantes es la desionización, que para el caso de los contaminantes

iónicos supera a la ósmosis inversa, pero no tiene capacidad para eliminar contaminantes orgánicos y su costo de operación es más elevado.

Por tanto, la ósmosis inversa y la desionización se considerarán como alternativas para constituirse en el sistema central de nuestra planta de purificación de agua para una clínica de hemodiálisis en Lima Metropolitana.

CAPITULO V

5.0 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA

5.1 ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS

De las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 se deduce que los contaminantes críticos son:

TABLA N° 5.1
REDUCCIÓN REQUERIDA DE CONTAMINANTES CRÍTICOS

Contaminantes	Máximo Nivel AAMI (ppm)	Máximo Nivel Farmacop. Europea (ppm)	Valor Promedio en el Agua (ppm)	% de Reducción Requerido AAMI	% de Reducción Requerido Farmacop. Europea
Aluminio	0.01	0.01	0.061	83.6%	83.6%
Arsénico	0.005		0.012	58.3%	
Cadmio	0.001		0.002	50%	
Dureza Total	21		256	91.8%	
Calcio	2.0	2.0	226	99.12%	99.12%
Magnesio	4.0	2.0	30	86.7%	93.3%
Flúor	0.2	0.2	0.328	39%	39%
Nitrato (N)	2.0	2.0	3.776	47.03%	47.03%
Sulfato	100	50	166.92	40.1%	70.05%

De la tabla N° 5.1, los contaminantes más críticos se encuentran resaltados en “negrita”. A continuación una consideración especial merece el tratamiento de las bacterias y endotoxinas:

TABLA N° 5.2
NIVELES MÁXIMOS ADMISIBLES DE CONTAMINACIÓN
MICROBIOLÓGICA

Contaminantes	Máximo Nivel AAMI	Máximo Nivel Farmacop. Europea
Bacterias	200 CFU/ml	100 CFU/ml
Endotoxinas		0.25 EU/ml

5.2 ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA

El objetivo en este punto, es determinar cuál va ser la tecnología que se va a constituir en el sistema central de la planta de purificación de agua, con dicho propósito plantearemos tres alternativas para analizarlas y seleccionar la más conveniente desde el punto de vista técnico – económico.

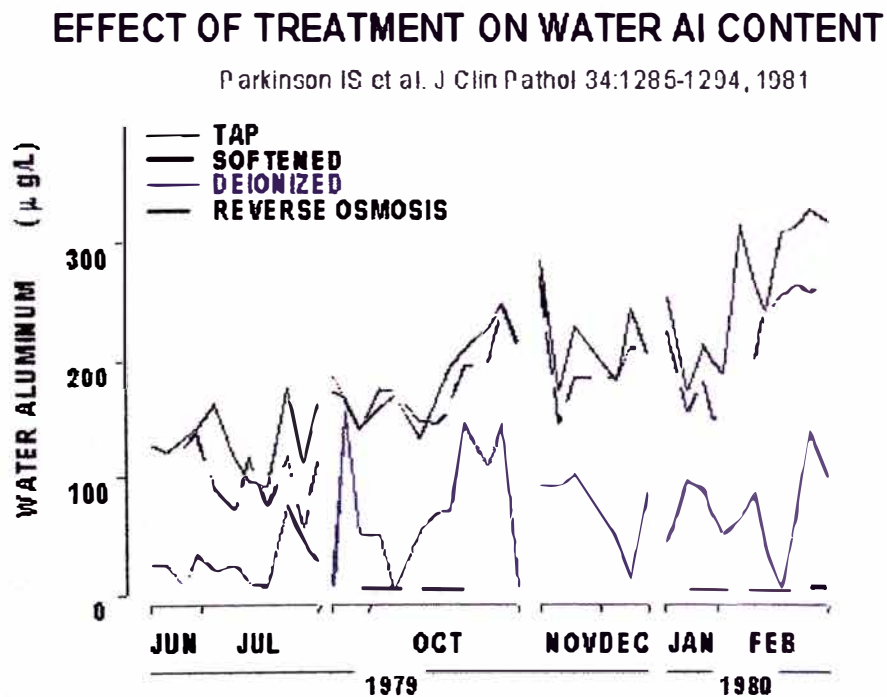
Estas tres alternativas han sido propuestas luego de analizar las ventajas y desventajas de las tecnologías de purificación existentes, en el capítulo anterior.

5.2.1 Primera Alternativa: Ósmosis Inversa

Los requerimientos de diseño del agua purificada son de 17 340 L/día, actualmente existen en el mercado modelos que ofrecen rangos de producción de agua purificada 150 a 100,000 gpd (567.75 Lpd a 378 500 Lpd), por tanto un solo equipo de ósmosis inversa tendría la capacidad de producir agua según los requerimientos del sistema.

FIGURA N° 5.1

EFFECTO DEL TRATAMIENTO SOBRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO EN EL AGUA



La figura N° 5.1, muestra la gráfica de un estudio llevado a cabo en un sistema de tratamiento de agua. Se aprecia la concentración de aluminio (Contaminante crítico en hemodiálisis) en función de cierto período de tiempo para cuatro tipos de agua: agua de la fuente, agua ablandada, agua desionizada y agua de ósmosis inversa. Del análisis de esta gráfica se deduce que si bien la desionización del agua como proceso permite alcanzar concentraciones muy bajas de aluminio en el agua, no lo obtiene en forma sostenida sino que se presentan picos muy altos de concentración de aluminio cada cierto período. Por tanto la ósmosis inversa se constituye en el único proceso que garantiza en forma sostenida bajas concentraciones de aluminio en el agua tratada durante el transcurso del tiempo. Mediante el proceso de ósmosis inversa se puede retirar del agua hasta un 99% del contenido inicial de aluminio, lo cual satisface el requerimiento crítico de 83.6% para el agua de Lima Metropolitana.

Las membranas de ósmosis inversa pueden eliminar, mediante un solo paso, el contenido de compuestos inorgánicos en solución hasta un nivel del 90% al 95% del contenido inicial. Con esto se satisface el requerimiento de 91.8% para eliminar la dureza total del agua de Lima Metropolitana.

De la tabla N° 4.1 se aprecia que el proceso de ósmosis inversa elimina hasta un 97% del contenido de calcio y magnesio del agua de

alimentación con lo cual satisface el requerimiento de 93.3% de magnesio pero no completamente el de 99.12% de calcio para el agua de Lima Metropolitana.

Además se aprecia que la ósmosis inversa elimina hasta el 97% del contenido de sulfatos en el agua tratada con lo cual satisface el requerimiento crítico de 70.05%, para el agua de Lima Metropolitana.

La ósmosis inversa alcanza rechazos del 99.9% a más de bacterias, virus y pirógenos con lo que satisface las necesidades de pureza del agua para usos de hemodiálisis. Sin embargo en estudios realizados en el agua luego de atravesar las membranas de ósmosis inversa, se han encontrado todavía concentraciones de bacterias. Esto no se debe a que las membranas no rechacen casi la totalidad de las bacterias, sino más bien, a que las bacterias tienden a crecer y desarrollarse entre las imperfecciones de las membranas pasando así al permeado, y a que no se puede garantizar un proceso de transporte 100% estéril.

El costo operativo principal, de la ósmosis inversa es la electricidad usada para el funcionamiento de la bomba de alta presión. Otros costos constituyen el cambio de las membranas cada 5 o 6 años y la limpieza cada 4 – 8 semanas. Esto agrega un costo al agua purificada de 1 a 1.5

US\$/1000 gal, aproximadamente la mitad que el costo operativo de los desionizadores.

Es importante señalar que el cloro puede dañar muchos tipos de membranas de ósmosis inversa y aún en la actualidad los únicos equipos capaces de eliminar confiablemente el cloro y las cloraminas del agua son los equipos de carbón activado.

5.2.2 Segunda Alternativa: Ósmosis Inversa de Doble Paso

Un aspecto que merece alta consideración es que la demanda normal de agua purificada en clínicas de hemodiálisis se presenta seis días por semana incluyendo feriados y, en algunos casos, 20 horas diarias. Durante todo momento el agua purificada debe cumplir con los estándares de calidad internacionales (AAMI, Farmacopea Europea, etc.). Esta consideración es crítica por tratarse de vidas humanas que se encuentran en riesgo ante un mal funcionamiento o paro repentino del sistema de purificación. Es por esta razón que el sistema de purificación debe ser diseñado para garantizar siempre la producción de agua purificada, sin que se vea afectado por mantenimientos programados, reparaciones o paros repentinos, de determinadas etapas del proceso de purificación.

La mayoría de los autores especializados así como estudios publicados recomiendan el empleo de ósmosis inversa de doble paso como el proceso por excelencia que ofrece los mejores resultados técnicos y económicos por su alta eficiencia y eficacia en el rechazo del más amplio rango de contaminantes, satisfaciendo los más altos estándares internacionales de la calidad de agua para usos de hemodiálisis (AAMI, Farmacopea Europea, etc.), por su confiabilidad de funcionamiento y por lo económico y sencillo de su operación y mantenimiento.

5.2.3 Tercera Alternativa: Ósmosis Inversa con desionización

Se ha establecido que la ósmosis inversa virtualmente satisface los estándares internacionales de calidad de agua para usos de hemodiálisis. Si a ello le añadimos la capacidad de un equipo de desionización para eliminar la contaminación iónica del agua podríamos disponer de una configuración que nos garantice “agua ultrapura”.

La capacidad de producción de agua que ofrecen los equipos de desionización es desde 0.5 a 200 gpm. (1.9 a 757 Lpm). Esto satisface la

demanda de agua purificada para nuestro caso de diseño que es de 17340 litros diarios. Y con un flujo de diseño de 30.9 Lpm.

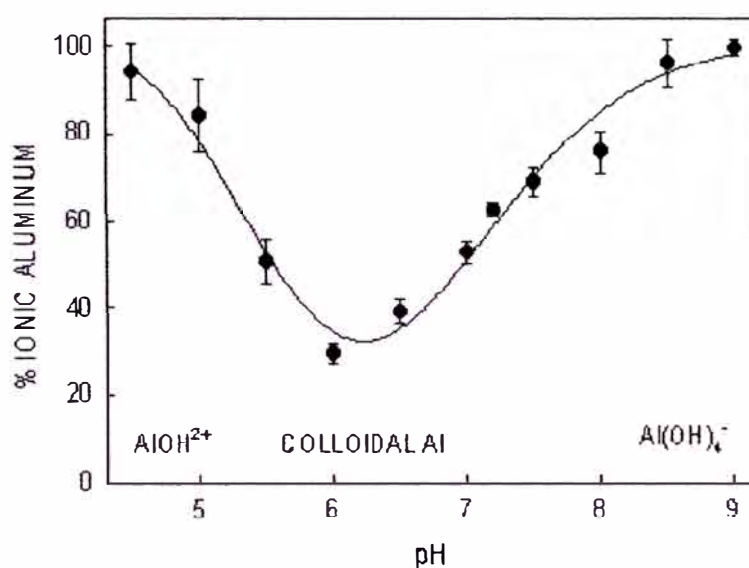
La desionización virtualmente elimina la contaminación iónica del agua produciendo agua ultrapura con resistividades de hasta 18.3 megohm/cm.

Para que la desionización sea un proceso económico se ha establecido que el contenido de sólidos disueltos totales en el agua debe ser menor a 100 ppm de SDT. En el caso del agua de Lima Metropolitana encontramos 443 ppm de SDT por ello la ubicación más conveniente para el equipo de desionización sería luego del equipo de ósmosis inversa, con lo que se ahorraría en costos de regeneración de resinas de intercambio iónico.

La figura N° 5.2, muestra el efecto del pH en el aluminio presente en el agua de alimentación. Teniendo en cuenta que el pH del agua de SEDAPAL en Lima Metropolitana es de 7.62, notamos que en el rango de pH de 5 a 8, existe una considerable proporción de aluminio en su forma coloidal, dicha proporción alcanza su punto máximo para un pH de 6 a 7. El aluminio coloidal no posee carga y no será eliminado por los desionizadores.

FIGURA N° 5.2

EFECTO DEL pH SOBRE EL ALUMINIO PRESENTE EN EL AGUA

EFFECT OF pH ON ALUMINUM IN WATER

Parkinson IS et al. J Clin Pathol 34:1285-1294, 1981

En el caso de una parada del equipo de ósmosis inversa ya sea por mal funcionamiento repentino o por mantenimiento de rutina, el desionizador no eliminará el aluminio coloidal que pueda presentarse no garantizando la calidad del agua requerida. Además de la gráfica N° 5.1, se observan picos recurrentes de altas concentraciones de aluminio en el agua purificada a lo largo del tiempo de estudio. Por estas razones la desionización no puede ser un proceso confiable para la eliminación del aluminio del agua de alimentación. El aluminio constituye un

contaminante crítico del agua a tratar por lo que este aspecto es muy negativo para la selección de esta alternativa.

Las resinas de intercambio iónico constituyen un medio muy favorable para el crecimiento bacteriano por lo que añaden una preocupación a la necesidad de garantizar agua que cumpla con las normas de calidad internacionales (AAMI, Farmacopea Europea, etc.) en lo relacionado a contaminación bacteriana y endotoxinas.

Los principales costos de operación del desionizador se deben al ácido y a la soda cáustica requeridos para la regeneración de las resinas, lo cual agrega fácilmente de 2 a 3 US\$/1000 gal al costo del agua purificada, aproximadamente el doble del costo operativo de la ósmosis inversa.

5.2.4 Conclusión

Se va seleccionar la alternativa N° 2, porque es la única que garantiza la entrega permanente de agua purificada que satisfaga los requerimientos técnicos de la calidad de agua para usos de hemodiálisis según normas internacionales (AAMI, Farmacopea Europea, etc.) y con los menores costos de inversión, operación y mantenimiento.

5.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE AGUA

Seleccionada la configuración nuclear de la planta de tratamiento de agua, se procederá al dimensionamiento de los dos equipos de ósmosis inversa que la constituyen.

Material de las Membranas:

Para el equipo de ósmosis inversa de 1º Paso, de la tabla N° 2.5, se seleccionará las membranas de acetato de celulosa porque son económicas, tienen buena resistencia al cloro y son resistentes a la oxidación. El uso de membranas de acetato de celulosa en el primer paso crea un sistema más confiable gracias a su capacidad para minimizar el ensuciamiento. Además su habilidad para operar con aguas cloradas, mantiene el crecimiento bacteriano controlado.

Para el equipo de ósmosis inversa del 2º paso, de la tabla N° 2.5, se seleccionará las membranas de TFC (Thin Film Composite) porque trabajan a presiones moderadas, tienen excelente estabilidad química y biológica, trabajan en un amplio rango de pH (2 a 11) y tienen bajo potencial de ensuciamiento. Además tienen un alto rechazo de sales. Las membranas de TFC proporcionan el pulido final para alcanzar la remoción de inorgánicos que no son rechazados con tanta efectividad por las membranas de celulosa, como es el caso de la sílice.

Configuración de las Membranas:

La configuración de las membranas de ambos equipos de ósmosis inversa será del tipo espiral porque poseen menor potencial de ensuciamiento, toleran aguas con mucha más materia coloidal y sales incrustantes que el tipo de fibra hueca. Las membranas de configuración espiral pueden trabajar a caudales de alimentación por elemento hasta tres veces mayores que las de fibra hueca, dichos caudales se traducen en velocidades hidráulicas de operación tan altas y de tal turbulencia que consiguen barrer gran parte de la materia coloidal.

Además en el mantenimiento de las membranas se pueden emplear altos caudales de lavado que con detergente logran barrer materia orgánica y pequeñas partículas de sólidos que se puedan acumular durante la operación. Otro aspecto a su favor es que los caudales turbulentos, de las membranas en espiral, les dan a las sales escaso tiempo para incrustarse.

Caudales de Alimentación v Permeado:

El flujo requerido es de 30.9 L/min de agua purificada. Para el equipo de ósmosis de segundo paso se considerará un porcentaje de recuperación de 75%. En el caso del equipo de ósmosis de primer paso se considerará una recuperación más conservadora del orden de 70% por que va trabajar con agua menos pura. Además el diseño considera el reciclaje del flujo de concentrado del equipo de ósmosis de 2º Paso hacia la alimentación del equipo de ósmosis de 1º Paso, lo cual implica reducción en el dimensionamiento del sistema de pretratamiento y menores costos de inversión y operación.

Ósmosis 2° Paso:

$$\% R_2 = 75\%$$

Donde:

$\% R_2$: % Recuperación de Ósmosis de 2° Paso

Además:

$$C_{p2} = 30.9 \text{ L/min}$$

$$C_{a2} = C_{p2} / R_2$$

Donde:

C_{p2} : Caudal de permeado de Ósmosis de 2° Paso

R_2 : Recuperación de Ósmosis de 2° Paso

$$C_{a2} = (30.9 \text{ L/min}) / (0.75)$$

$$C_{a2} = 41.2 \text{ L/min}$$

Además:

$$C_{c2} = C_{a2} - C_{p2}$$

Donde:

C_{c2} : Caudal de concentrado de ósmosis de 2° Paso

$$C_{c2} = 41.2 - 30.9$$

$$C_{c2} = 10.3 \text{ L/min}$$

Ósmosis 1° Paso:

$$\% R_1 = 70\%$$

Donde:

$\% R_1$: % Recuperación de Ósmosis de 1° Paso

Además

$$C_{p1} = C_{a2}$$

Donde:

C_{p1} : Caudal de permeado de Ósmosis de 1° Paso

C_{a2} : Caudal de alimentación de Ósmosis de 2° Paso

$$C_{p1} = 41.2 \text{ L/min}$$

Luego:

$$C_{a1} = C_{p1} / R_1$$

Donde:

C_{a1} : Caudal de alimentación de Ósmosis de 1° Paso

$$C_{a1} = (41.2 \text{ L/min}) / (0.70)$$

$$C_{a1} = 58.9 \text{ L/min}$$

Además:

$$C_{c1} = C_{a1} - C_{p1}$$

Donde:

C_{c1} : caudal de concentrado de Ósmosis de 1° Paso

$$C_{c1} = 58.9 - 41.2$$

$$C_{c1} = 17.7 \text{ L/min}$$

Cálculo del Area Superficial de las Membranas:

Las membranas del equipo de ósmosis de 1° Paso se van a diseñar con un GFD (Gal/pie²/día) de 20 a 25 que corresponde a aguas salobres limpias.

Las membranas del equipo de ósmosis de 2° Paso se van a diseñar con un GFD (Gal/pie²/día) de 20 a 25.

TABLA N° 5.3
AREAS DE MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA

Elemento 4" x 40"	Interconect. Externos	75 pie ²
	Interconect. Internos	82 pie ²
Elemento 8" x 40"	Interconect. Externos	310 pie ²
	Interconect. Internos	340 pie ²
Elemento Magnum 4"		127 pie ²
Elemento Magnum 8"		530 pie ²

UOP Fluid Systems.

Ósmosis de 2° Paso:

$$\text{GFD}_2 = P_2 / A_2$$

GFD₂: Factor GFD para equipo de ósmosis de 2° Paso

P₂: Productividad del equipo de ósmosis de 2° Paso en gal/día

A₂: Area total de las membranas del equipo de ósmosis de 2° Paso

Tenemos:

$$P_2 = 17\,340 \text{ L/día (Ver Cap 3.4.2)}$$

$$P_2 = 4581.2 \text{ gal/día}$$

$$\text{GFD}_2 = 20$$

$$A_2 = P_2 / \text{GFD}_2$$

$$A_2 = (4581.2 \text{ gal/día}) / (20 \text{ gal/pie}^2/\text{día})$$

$$A_2 = 229 \text{ pie}^2$$

$$\# \text{ de membranas} = A_2 / A_{m2}$$

A_{m2} : Area superficial de una membrana del equipo de ósmosis de 2° Paso (pie²)

De la tabla N° 5.3, se selecciona $A_{m2} = 75 \text{ pie}^2$

$$\# \text{ de membranas} = 229 \text{ pie}^2 / 75 \text{ pie}^2$$

$$\# \text{ de membranas} = 3.05$$

$$\# \text{ de membranas} = 3$$

Luego:

$$A_2 = (\# \text{ de membranas}) \times (A_{m2})$$

$$A_2 = (3) \times (75 \text{ pie}^2)$$

$$A_2 = 225 \text{ pie}^2$$

$$\text{GFD}_2 = P_2 / A_2$$

$$\text{GFD}_2 = (4581.2 \text{ gal/día}) / (225 \text{ pie}^2)$$

$$\text{GFD}_2 = 20.4 \text{ gal/pie}^2/\text{día}$$

Ósmosis de 1° Paso:

$$\text{GFD}_1 = P_1 / A_1$$

GFD_1 : Factor GFD para equipo de ósmosis de 1° Paso

P_1 : Productividad del equipo de ósmosis de 1° Paso en gal/día

P_2 : Productividad del equipo de ósmosis de 2° Paso en gal/día

A_1 : Area total de las membranas del equipo de ósmosis de 1° Paso

Tenemos:

$$P_2 = 4581.2 \text{ gal/día}$$

$$\%R_2 = 75\%$$

$$V_{a2} = P_2 / \%R_2$$

V_{a2} : Volumen total de alimentación del equipo de ósmosis de 2° Paso en un día (gal/día)

$\%R_2$: Porcentaje de recuperación del equipo de ósmosis de 2° Paso.

Luego:

$$V_{a2} = (4581.2) / (0.75)$$

$$V_{a2} = 6108.3 \text{ gal/día}$$

$$P_1 = V_{a2}$$

$$P_1 = 6108.3 \text{ gal/día}$$

$$GFD_1 = 20$$

$$A_1 = (P_1) / (GFD_1)$$

$$A_1 = (6108.3 \text{ gal/día}) / (20 \text{ gal/pie}^2/\text{día})$$

$$A_1 = 305.4 \text{ pie}^2$$

$$\# \text{ de membranas} = A_1 / A_{m1}$$

A_{m1} : Área superficial de una membrana del equipo de ósmosis de 1° Paso (pie^2)

De la tabla N° 5.3, se selecciona $A_{m1} = 75 \text{ pie}^2$

$$\# \text{ de membranas} = 305.4 \text{ pie}^2 / 75 \text{ pie}^2$$

$$\# \text{ de membranas} = 4.1$$

$$\# \text{ de membranas} = 5$$

Luego:

$$A_1 = (\# \text{ de membranas}) \times (A_{m1})$$

$$A_1 = (5) \times (75 \text{ pie}^2)$$

$$A_1 = 375 \text{ pie}^2$$

$$\text{GFD}_1 = P_1 / A_1$$

$$\text{GFD}_1 = (6108.3 \text{ gal/día}) / (375 \text{ pie}^2)$$

$$\text{GFD}_1 = 16.3 \text{ gal/pie}^2/\text{día}$$

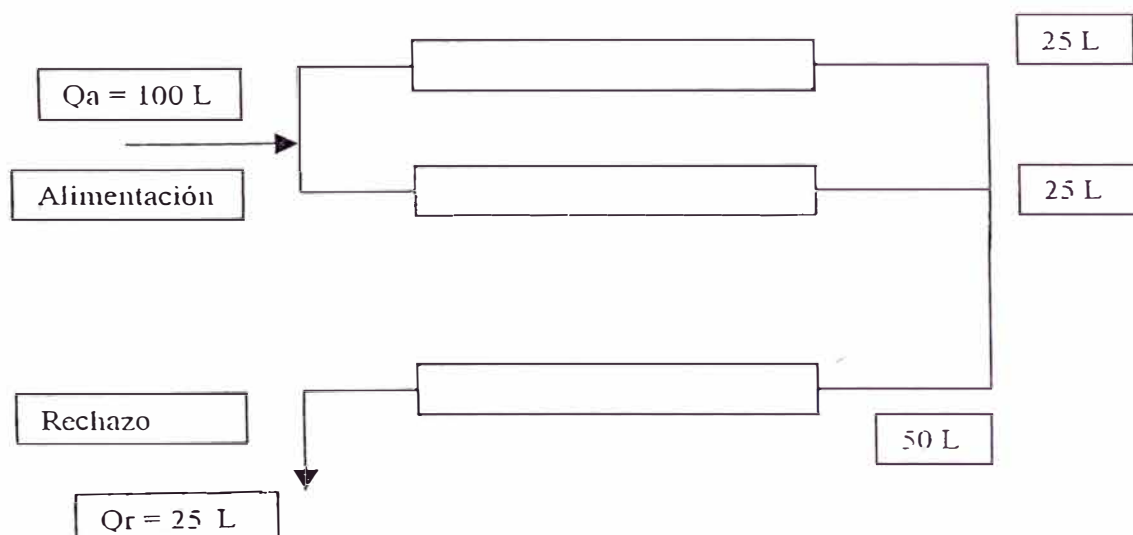
Arreglo de Housings de las Membranas:

Las membranas de ósmosis inversa están contenidas en elementos de acero inoxidable o fibra de vidrio llamados housings. Para obtener la recuperación de diseño se deben disponer los elementos housing en pasos múltiples, de manera que se mantiene un caudal constante de alimentación por tubo y se aumenta la recuperación global.

La conversión de cada elemento estándar de 4 pulg x 40 pulg, no debe exceder del 55%

FIGURA N° 5.3

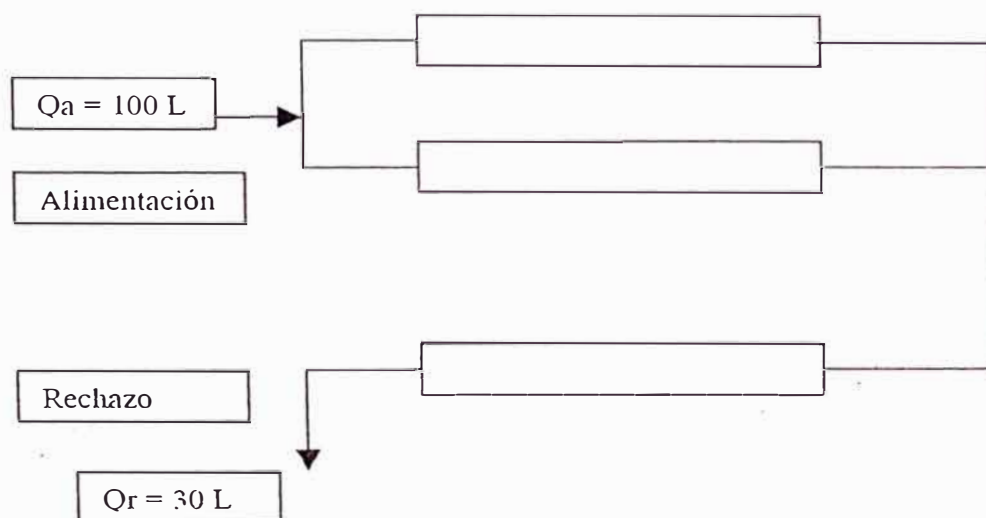
OSMOSIS INVERSA DE 2° PASO



En la figura N° 5.3, por cada 100 L de alimentación, se producen 75 L de permeado y 25 L de rechazo, es decir se consigue una recuperación del 75%.

Entonces, con un arreglo de dos housing en paralelo y uno en serie, donde cada housing contiene una (01) membrana de 4 pulg x 40 pulg, se obtiene una recuperación de 75%.

FIGURA N° 5.4
OSMOSIS INVERSA DE 1° PASO



En la figura N° 5.4, por cada 100 L de alimentación, se producen 70 L de permeado y 30 L de rechazo, es decir se obtiene una recuperación del 70%.

Entonces con un arreglo de dos housing en paralelo y uno en serie, donde los dos primeros housing contienen dos (02) membranas y el tercero una (01), de 4 pulg x 40 pulg, se obtiene una recuperación de 70%.

Selección de las Membranas:

El primer paso generalmente se diseña para operar a 400 – 450 psi.

Se usan membranas de diámetro 4” x 40” de longitud.

Arreglo: 2 –1

Nº de membranas por housing: 2 membranas (1 membrana en el 3º housing)

Area total de membranas: 375 pie²

Am₁: 75.pie²

GFD: 16.4

Recuperación: 70%

Alimentación: 58.9 L/min

Permeado: 41.2 L/min

Concentrado: 17.7 L/min

Se selecciona las membranas:

DESAL

Modelo CE4040F (Ver Anexo)

Presión de operación: 425 psi

TDS: 500 ppm

Flujo de permeado: 2100 GPD

Rechazo: 97.5 % promedio

Area de la membrana: 90 pie²

Presión máxima: 450 psi

Máxima temperatura: 30 °C

pH óptimo: 5 – 6.5

NTU < 1

SDI < 5

Cloro < 1 ppm

Presión diferencial máxima: 10 psi por elemento. 60 psi por housing.

El segundo paso generalmente se diseña para operar a 200 – 300 psi

Se usan membranas de diámetro 4" x 40" de longitud.

Arreglo: 2 –1

Nº de membranas por housing: 1 membrana

Area total de membranas: 225 pie²

Am₂: 75 pie²

GFD: 20.4

Recuperación: 75%

Alimentación: 41.2 L/min

Permeado: 30.9 L/min

Concentrado: 10.3 L/min

Se selecciona las membranas: (Ver Anexo)

DESAL

Modelo AG4040FF

Presión de operación: 225 psi

TDS: 200 ppm

Flujo de permeado 2200 GPD

Rechazo: 99.5 % (promedio)

Area de membrana: 85 pie²

Máxima temperatura: 50 °C

pH óptimo: 7 – 7.5

pH operación: 4 – 11

Tolerancia al cloro: 1000 ppm-hora. Decoloración recomendada.

Máximo diferencial de presión: 10 psi por elemento. 60 psi por housing.

Otros Elementos de Diseño:

- **Prefiltros:**

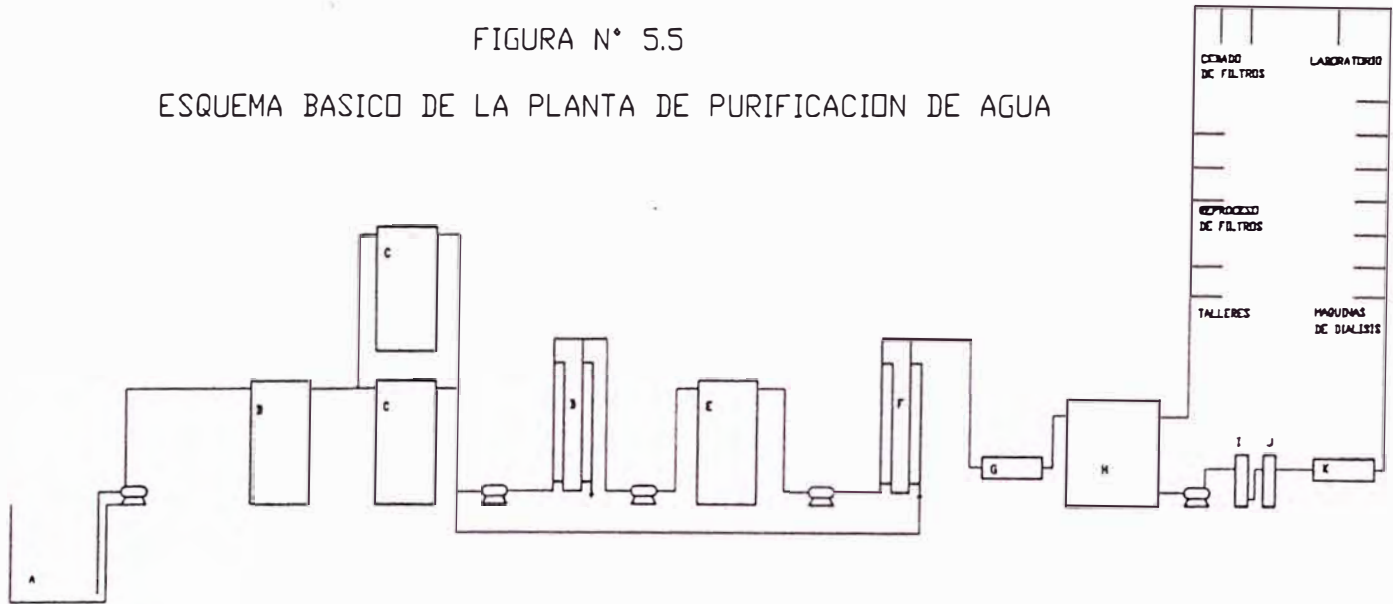
En ambos equipos de ósmosis inversa se instalarán prefiltros (depth filter) de 5μ con el propósito de protegerlos de ensuciamiento por partículas en suspensión.

- **Bombas de Inyección Química “On – Line”:**

En el equipo de ósmosis de 1º Paso se instalará una bomba químicamente resistente que inyectará ácido sulfúrico a la alimentación de las membranas de ósmosis inversa de acetato de celulosa para disminuir el pH del agua dentro del rango de trabajo de dichas membranas (4 – 7.5) y también para prevenir incrustaciones dentro de las mismas.

En el equipo de ósmosis de 2º Paso se instalará otra bomba químicamente resistente que inyectará soda cáustica a la alimentación de las membranas de ósmosis inversa de TFC para incrementar el pH del agua de manera que el pH del agua purificada sea el requerido, para el uso final (pH 7) en el tratamiento de diálisis.

FIGURA N° 5.5
 ESQUEMA BASICO DE LA PLANTA DE PURIFICACION DE AGUA



SIQI	DESCRIPCION
A	CISTERNA DE AGUA OURA
B	FILTRO MULTIMEDIA
C	ANLAMBADOR
D	OSMOSIS DE 1° PASO
E	CARBON ACTIVADO
F	OSMOSIS DE 2° PASO
G	LAMPARA ULTRAVIOLETA
H	CISTERNA DE DISTRIBUCION
I	MICROFILTRO DE 0.45 micra
J	MICROFILTRO DE 0.2 micra
K	LAMPARA ULTRAVIOLETA

5.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

5.4.1 Filtro Multimedia

Es altamente recomendable la inclusión de un equipo que prevenga el ensuciamiento con partículas suspendidas en el agua de alimentación, que pueden dañar los demás equipos que intervienen en la purificación del agua. Se puede seleccionar en forma conveniente un filtro multimedia porque poseen de cuatro a cinco capas de mineral filtrante de distinta densidad que ofrecen un filtrado fino y eficiente. Además permite flujos mayores que los filtros convencionales y extienden su período de operación por más de tres veces antes de requerir retrolavado.

Dimensionamiento del filtro :

El flujo requerido es el caudal de alimentación a la ósmosis de 1° Paso: 58.9 L/min. Con el propósito de economizar el diseño de la planta de tratamiento utilizaremos el flujo de concentrado del equipo de ósmosis de 2° Paso: 10.3 L/min, para la alimentación al equipo de ósmosis de 1° Paso.

El flujo requerido sería entonces:

$$58.9 \text{ L/min} - 10.3 \text{ L/min} = 48.6 \text{ L/min (12.84 gpm)}$$

El flujo nominal de servicio se selecciona de la tabla N° 2.4, el valor de 4 gpm/pie²

La altura se selecciona de los valores recomendados, como h = 30 pulg. (Ver tabla N° 2.4).

Luego:

$$A = 12.84 \text{ gpm} / 4 \text{ gpm/pie}^2$$

$$A = 3.2 \text{ pie}^2$$

$$V = \left(\frac{12.84 \text{ gpm}}{4 \text{ gpm/pie}^2} \right) \times (30 \text{ pulg}) \times (1 \text{ pie} / 12 \text{ pulg})$$

$$V = 8 \text{ pie}^3 \text{ (medio filtrante)}$$

Cálculo del tanque:

35% de expansión (Ver tabla N° 2.4)

$$V_t = (1.35) \times (8 \text{ pie}^3)$$

$$V_t = 10.8 \text{ pie}^3$$

Luego:

$$A = 3.2 \text{ pie}^2$$

$$\Phi_t = 2 \text{ pie}$$

Φ_t : diámetro del tanque

A: área de la sección transversal del tanque

Luego:

$$H = V_t / A$$

$$H = 3.4 \text{ pie}$$

H: Altura del tanque

Luego:

De tablas se puede seleccionar (Ver Anexo):

Multimedia filter GP series GPZMS – 024

Material: Tanque de acero con tubería de PVC

Flujo máximo: 30 gpm. Flujo mínimo: 6 gpm.

Máxima presión: 100 psi. Mínima presión: 30 psi

Diámetro: 24 pulg

Altura del tanque: 48 pulg.

5.4.2 Ablandadores

Para disminuir la carga de inorgánicos que las membranas de ósmosis inversa deberán afrontar, es conveniente la disposición de equipos de ablandamiento que eliminarán el contenido de iones de calcio y magnesio en el agua de alimentación. Esto contribuirá a la prevención de incrustaciones perniciosas en las membranas de ósmosis inversa, mejoramiento de la calidad del agua producida por los elementos de ósmosis inversa, disminución de la periodicidad de limpieza con sustancias detergentes y desincrustantes y por consiguiente menores costos de mantenimiento y paradas del sistema.

Tomando en cuenta que la demanda de agua purificada en una clínica de hemodiálisis es ininterrumpida, seleccionaremos dos ablandadores de

manera que la producción de agua ablandada no se detenga cuando un ablandador requiera regeneración.

Considerando:

En Lima la dureza total promedio es: 256 ppm

El ablandador será dimensionado a continuación, considerando que el requerimiento diario de agua purificada es de 4581.4 gal:

Tenemos:

$$V_{p2} = 4\,581.4 \text{ gal (\% de recuperación Ósmosis 2º Paso: 75\%)}$$

$$V_{c2} = 1\,527.1 \text{ gal}$$

$$V_{a2} = V_{p1} = 6\,108.5 \text{ gal (\% de recuperación Ósmosis 1º Paso: 70\%)}$$

$$V_{a1} = 8\,726.5 \text{ gal}$$

Donde:

V_{p2} : Volumen total de permeado diario por Ósmosis 2º Paso

V_{c2} : Volumen total de concentrado diario por Ósmosis 2º Paso

V_{a2} : Volumen total de alimentación diario por Ósmosis 2º Paso

V_{p1} : Volumen total de permeado diario por Ósmosis 1º Paso

V_{a1} : Volumen total de alimentación diario por Ósmosis 1º Paso

En nuestro diseño el caudal del concentrado del equipo de ósmosis de 2º Paso será conducido a la alimentación del equipo de ósmosis de 1º Paso con lo que economizará en el tratamiento de agua. Por tanto el volumen total de agua que requiere ser ablandada por día será:

$$V = Va_1 - Vc_2$$

$$V = 8\,726.5 \text{ gal} - 1\,527.1 \text{ gal}$$

$$V = 7\,199.4 \text{ gal}$$

Donde:

V: volumen total del agua que requiere ser ablandada por día(gal)

Luego:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Donde:

t: tiempo de operación del ablandador (min)

Q: Caudal de agua que pasa a través del ablandador (gpm)

V: Volumen total de agua ablandada por día (gal)

Para:

$$Q = 12.84 \text{ gpm}$$

$$V = 7199.4 \text{ gal}$$

$$t = \frac{7199.4 \text{ gal}}{12.84 \text{ gpm}}$$

$$t = 560 \text{ min}$$

Luego:

$$G = \frac{(D) \times (Q) \times (t)}{17.1}$$

Donde:

D: Dureza del agua (ppm)

G: # Granos de Resina

Luego:

$$G = \frac{(256 \text{ ppm}) \times (12.84 \text{ gpm}) \times (560 \text{ min})}{17.1 \text{ ppm/grano/gal}}$$

$$G = 107\,646 \text{ granos de resina}$$

Determinación del Volumen de Resina:

Considerando regeneraciones diarias para el ablandador y que cada pie³ de resina presenta una capacidad de operación de remoción de 30 000 granos.

$$V = \frac{G}{30\,000 \text{ gr/pie}^3}$$

$$V = \frac{(107\,646 \text{ granos})}{30\,000 \text{ granos/pie}^3}$$

$$V = 3.6 \text{ pie}^3$$

Tomamos:

$$V = 4 \text{ pie}^3$$

Recalculando:

$$G = (V) \times (30\,000 \text{ granos/pie}^3)$$

$$G = (4 \text{ pie}^3) \times (30\,000 \text{ granos/pie}^3)$$

$$G = 120\,000 \text{ granos}$$

Selección del Ablandador:

Se puede seleccionar de tablas (Ver Anexo):

Modelo ES121B ϕ 17 pulg x 58 pulg

4 pie³ de resina

Determinación de la Cantidad de Sal:

Para la capacidad de 30 000 granos, se requieren 15 lb/pie³ de sal para la regeneración, por consiguiente se tiene:

$$m_{\text{sal}} = (15 \text{ lb/pie}^3) \times (4 \text{ pie}^3)$$

$$m_{\text{sal}} = 60 \text{ lb sal}$$

Donde :

m_{sal} : cantidad de sal requerida para regeneración (lb)

Considerando:

1 pie³ de sal saturada contiene 18.5 lb sal.

Volumen de Salmuera:

Tenemos:

$$V_{\text{salmuera}} = \frac{60 \text{ lb}}{18.5 \text{ lb/pie}^3}$$

$$V_{\text{salmuera}} = 3.25 \text{ pie}^3$$

Tomamos:

$$V_{\text{salmuera}} = 3.3 \text{ pie}^3$$

Para el caso de diseño, se trabajará con dos ablandadores con las mismas características de diseño, que funcionarán en paralelo, con uno de ellos en “stand by”, de manera que se garantice la producción permanente de

agua ablandada, cuando uno de ellos se encuentre fuera de servicio ya sea por regeneración o mantenimiento.

5.4.3 Carbón Activado

Diseñando para un EBCT de 10 minutos:

$$\text{EBCT (min)} = \frac{7.48 \times V (\text{pie}^3)}{\text{Flujo (gpm)}}$$

Donde:

EBCT: Empty Bed Contact Time (Tiempo de contacto en el lecho) (min)

V: Volumen del lecho de carbón activado (pie^3)

$$V = \frac{(10) \times (10.9)}{7.48}$$

$$V = 14.6 \text{ pie}^3$$

Tomamos $V = 15 \text{ pie}^3$

Luego:

Tomamos $h = 30 \text{ pulg}$

Luego:

$$A = V / h$$

$$A = 15 \text{ pie}^3 / 2.5 \text{ pie}$$

$$A = 6 \text{ pie}^2$$

$$\Phi = 33.2 \text{ pulg}$$

De tablas podemos seleccionar (Ver Anexo):

Modelo CC30P-MT

Cantidad de media: 15 pie³

dt = 2 pulg

φ30 pulg x 66 pulg

5.4.4 Lámparas Ultravioleta

Las lámparas ultravioleta serán posicionadas después de la unidad de ósmosis inversa de 2º Paso para asegurar que se cumplan los niveles de calidad exigidos para bacterias y endotoxinas.

Flujo de alimentación: 30.9 L/min = 8.2 gpm

De tablas se selecciona (Ver Anexo):

Modelo UV – 12

30 000 microwatt – s /cm²

2 537 Angstrom

1 lámpara

61 watt

0.51 Amp

5.5 DISEÑO DE CISTERNA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DURA:

La cisterna de agua dura deberá garantizar el suministro de agua de manera que se satisfagan las necesidades de agua purificada por 3 días:

El volumen diario de agua dura requerido es 7199.4 gal.

La capacidad por 3 días:

$$7199.4 \times 3 = 21\,598 \text{ gal}$$

Capacidad estática: 81.75 m³

Considerando 2m de nivel de agua.

Dimensiones: 2m x 6.4m x 6.4m

Consideramos 1m adicional en la altura de la cisterna de agua.

Dimensiones físicas de la cisterna: 3m x 6.4m x 6.4m.

La cisterna no debe presentar porosidades, debe ser preferentemente de cemento pulido y recubierto con pintura epóxica. La entrada deberá ser lo más hermética posible y los respiraderos ambientales poseerán filtros de venteo para prevenir el ingreso de partículas del ambiente.

Cálculo de la tubería de Entrada a la Cisterna:

Se tomará en cuenta las recomendaciones de velocidades de fluido para uso general: 1 m/s a 3 m/s (Ver Anexo).

Consideramos la velocidad de 2.5 m/s

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q: Caudal de agua

A: Área de la tubería

V: Velocidad del agua

Considerando que el llenado de la cisterna se realiza en 6 horas:

$$Q_e = \frac{21\,598 \text{ gal}}{6 \times 60 \text{ min}} \quad (\text{Ver Cap 5.5})$$

$$Q_e = 60 \text{ gpm}$$

$$Q_e = 0.003785 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_e = 2.5 \text{ m/s}$$

V_e : velocidad de entrada a la cisterna

A_e : área de la tubería de entrada a la cisterna

Q_e : caudal de entrada a la cisterna

$$Q_e = A_e \times V_e$$

$$0.003785 \text{ m}^3/\text{s} = A \times 2.5 \text{ m/s}$$

$$A_e = \frac{0.003785 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m/s}}$$

$$A_e = 0.001514 \text{ m}^2$$

$$\Phi_e = 0.0439 \text{ m}$$

$$\Phi_e = 1.72 \text{ pulg}$$

Se selecciona $\phi_e = 2 \text{ pulg}$

Luego:

$$\Phi_e = 2 \text{ pulg}$$

$$\Phi_e = 0.0508 \text{ m}$$

$$A_e = \frac{\pi \times \Phi_e^2}{4}$$

$$A_e = 0.002 \text{ m}^2$$

$$Q_e = A_e \times V_e$$

$$Q_e = (0.002 \text{ m}^2) \times (2.5 \text{ m/s})$$

$$Q_e = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_e = 79.3 \text{ gpm}$$

Tomamos:

$$Q_e = 80 \text{ gpm}$$

Tiempo de llenado de la cisterna:

$$t = \text{Vol} / Q_e$$

Donde:

t: tiempo de llenado (min)

Vol: Capacidad de diseño de la cisterna (gal)

Qe: caudal de entrada a la cisterna (gpm)

Luego:

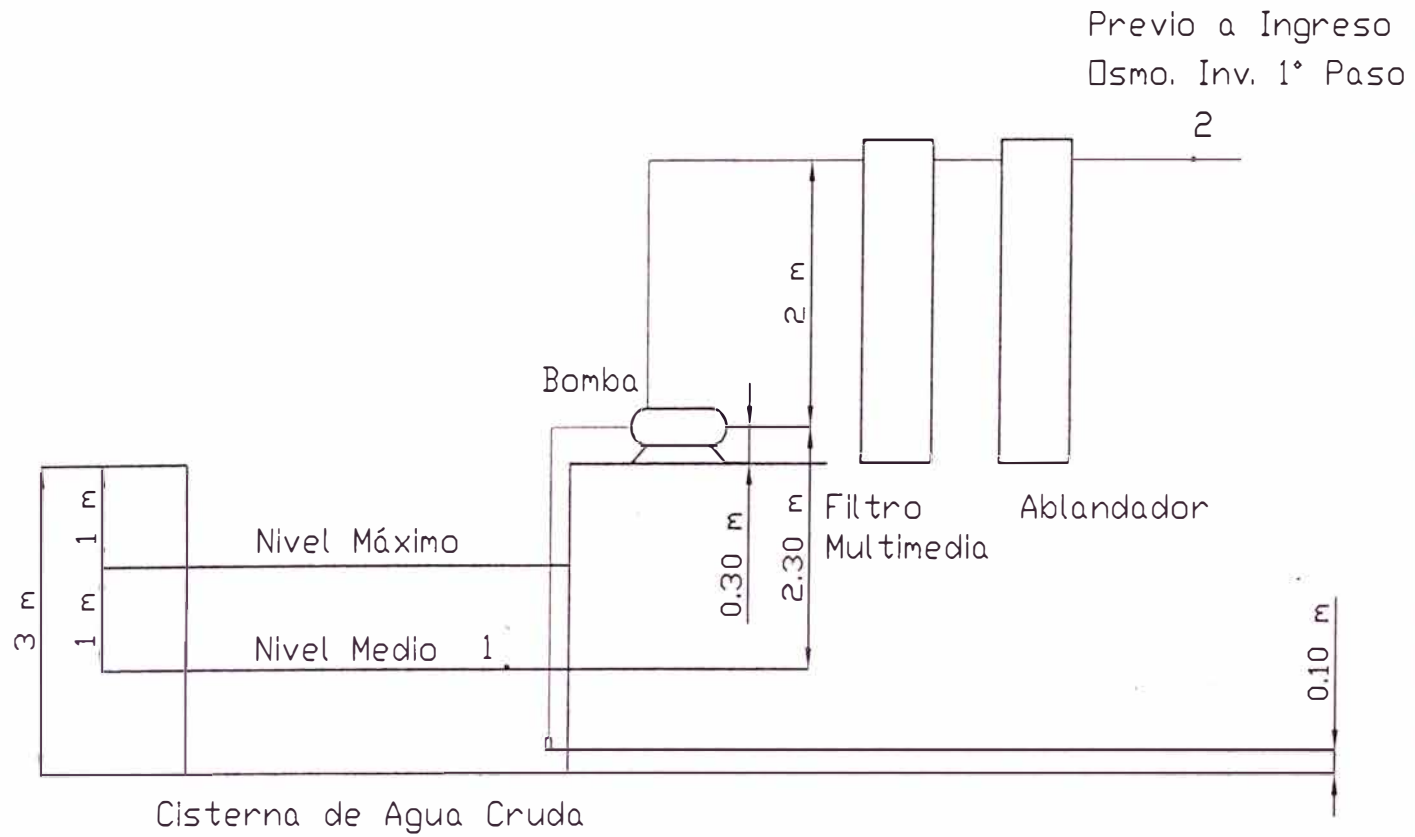
$$t = \frac{21598 \text{ gal}}{80 \text{ gpm}}$$

$$80 \text{ gpm}$$

$$t = 270 \text{ min}$$

$$t = 4 \text{ hrs } 30 \text{ min}$$

FIGURA N° 5.6
CISTERNA Y BOMBA DE AGUA CRUDA



5.6 CALCULO Y SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y BOMBAS DE LA PLANTA DE PURIFICACIÓN DE AGUA

5.6.1 Tubería y Bomba desde la Cisterna de Agua Dura hasta el Equipo de Osmosis Inversa de 1º Paso

Se seleccionarán dos bombas que funcionarán en paralelo y en forma alternada de manera que se garantice la operación permanente de la planta de purificación de agua.

Datos Generales:

Líquido: agua limpia

Temperatura: 25 °C

pH: 7

Material extraño: Ninguno

Caudal: 13 gpm

Altura Estática:

$H_d = 1.7 \text{ m}$

$H_s = -2.3 \text{ m}$

Se diseña para el nivel medio de la cisterna. En ese momento se debe abrir la válvula de ingreso, en la tubería que alimenta a la cisterna de agua dura.

Pérdidas por fricción:**Succión:**

Material: PVC

Longitud: 5 m

Nº de codos: 3

Canastilla de succión: 1

Descarga:

Material: PVC

Longitud: 20 m

Nº de codos: 5

Nº de válvulas: 5

Determinación de la Altura Manométrica Total:

$$P_1/\rho g + Z_1 + V_1^2/2g + H_b = P_2/\rho g + Z_2 + V_2^2/2g + \text{Pérdidas}$$

$$H_b = (P_2/\rho g - P_1/\rho g) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) + (Z_2 - Z_1) + \text{Pérdidas}$$

Donde:

$$\text{Pérdidas} = h_{p_s} + h_{s_s} + h_{p_d} + h_{s_d} + \text{Pérdidas de presión en equipos}$$

Donde:

 h_{p_d} : pérdidas primarias por fricción en la descarga (m) h_{p_s} : pérdidas primarias por fricción en la succión (m) h_{s_d} : pérdidas secundarias por accesorios en la descarga (m) h_{s_s} : pérdidas secundarias por accesorios en la succión (m)

Cálculo de Pérdidas:

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q: caudal

A: área

V: velocidad

Succión:

$$Q = 13 \text{ gpm}$$

Escogemos $V_s = 2.5 \text{ m/s}$ (Ver Anexo)

$$A_s = Q / V_s$$

Donde:

A_s : área de tubería de succión (m^2)

V_s : velocidad del agua en succión (m/s)

Q: flujo de agua (m^3/s)

$$A_s = \frac{0.00082117 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 0.0003285 \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \times \Phi_s^2}{4}$$

Donde:

Φ_s : diámetro de la tubería de succión (m)

$$\Phi_s = 0.0205 \text{ m}$$

$$\Phi_s = 0.8 \text{ pulg}$$

Seleccionamos:

$$\Phi_s = 1 \text{ pulg}$$

Luego:

$$V_s = Q / A_s$$

$$V_s = \frac{0.00082117 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00050671 \text{ m}^2}$$

$$V_s = 1.62 \text{ m/s}$$

Descarga:

$$Q = 13 \text{ gpm}$$

Escogemos $V_d = 3 \text{ m/s}$ (Ver Anexo)

$$A_d = Q / V_d$$

Donde:

A_d : área de tubería de descarga (m^2)

V_d : velocidad del agua en descarga (m/s)

Q : flujo de agua (m^3/s)

$$A_d = \frac{0.00082117 \text{ m}^3/\text{s}}{3 \text{ m/s}}$$

$$A_d = 0.00027372 \text{ m}^2$$

$$A_d = \frac{\pi \times \Phi_d^2}{4}$$

Donde:

Φ_d : diámetro de la tubería de descarga (m)

$$\Phi_d = 0.0187 \text{ m}$$

$$\Phi_d = 0.74 \text{ pulg}$$

Escogemos:

$$\Phi_d = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Luego:

$$V_d = Q / A_d$$

$$V_d = \frac{0.00082117 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00028502 \text{ m}^2}$$

$$V_d = 2.88 \text{ m/s}$$

Luego:

$$\Phi_s = 1 \text{ pulg}$$

$$\Phi_d = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Luego:

$$V_s^2 / 2g = (1.62 \text{ m/s})^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$V_s^2 / 2g = 0.134 \text{ m}$$

$$V_d^2 / 2g = (2.88 \text{ m/s})^2 / (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$V_d^2 / 2g = 0.423 \text{ m}$$

Pérdidas Primarias por Fricción de Succión:

$$Re = \frac{D_s \times V_s \times \rho}{\mu}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

D_s : Diámetro hidráulico de succión (m)

V_s : Velocidad del agua en succión (m/s)

ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

μ : viscosidad dinámica del agua (kg/m-s)

$\mu / \rho = 0.864 \times 10^{-6}$ (25 °C) (Ver Anexo)

$$\text{Re} = \frac{(0.0254) \times (1.62)}{0.864 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Re} = 47\,625$$

$$\text{Re} > 2\,300$$

El flujo es turbulento.

Tubería de PVC. Se considera tubería lisa.

Del diagrama de Moody: $f = 0.021$ (Ver Anexo)

$$h_{p_s} = \frac{f \times L_s \times V_s^2}{D_s \times 2g}$$

Donde:

h_{p_s} : pérdida primaria por fricción en la succión (m)

f : factor de fricción

L_s : longitud de tubería en la succión (m)

V_s : velocidad de succión (m/s)

D_s : diámetro hidráulico de la tubería de succión (m)

g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_{p_s} = \frac{(0.021) \times (5) \times (0.134)}{0.0254}$$

$$h_{p_s} = 0.554 \text{ m}$$

Pérdidas Secundarias por Accesorios de Succión:**Por codos:**

Codo roscado 90°. De tablas Para $D_s = 1$ pulg. (Ver Anexo)

$$K = 1.45$$

Nº de codos: 3

$$h'_1 = (N) \times (k \times V_s^2/2g)$$

Donde:

h'_1 : pérdidas secundarias por codos (m)

K: constante del accesorio

N: número de codos

V_s : velocidad de succión (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h'_1 = (3) \times (1.45 \times 0.134)$$

$$h'_1 = 0.784 \text{ m}$$

Por Canastilla de Succión:

De tablas para $D_s = 1$ pulg, roscado (Ver Anexo)

$$K = 2$$

$$h'_2 = k \times V_s^2/2g$$

Donde:

h'_2 : pérdidas secundarias por canastilla de succión

$$h'_2 = 2 \times 0.134$$

$$h'_2 = 0.268 \text{ m}$$

Pérdidas primarias por fricción de descarga:

$$Re = \frac{D_d \times V_d \times \rho}{\mu}$$

Donde:

Re: número de Reynolds

D_d : diámetro hidráulico de descarga (m)

ρ : densidad del agua (kg/m^3)

μ : viscosidad dinámica del agua ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$)

Luego:

$$Re = \frac{(0.01905 \text{ m}) \times (2.88 \text{ m/s})}{0.864 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 63\,500$$

$$Re > 2\,300$$

Flujo turbulento. Del diagrama de Moody: $f = 0.02$ (Ver Anexo)

$$h_{p_d} = \frac{f \times L_d \times V_d^2}{D_d \times 2g}$$

Donde:

h_{p_d} : Pérdida primaria por fricción en la descarga (m)

f: factor de fricción

L_d : Longitud de tubería en la descarga (m)

V_d : Velocidad de descarga (m/s)

D_d : diámetro hidráulico de la tubería de descarga (m)

g. aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_{pd} = \frac{(0.02) \times (20) \times (0.423)}{0.01905}$$

$$h_{pd} = 8.882 \text{ m}$$

Pérdidas Secundarias por Accesorios de Descarga:

Por Codos:

Para codo 90°, roscado. $D_d = \frac{3}{4}$ pulg. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 1.7$$

$$h_1 = N \times (k \times V_d^2 / 2g)$$

Donde:

h_1 : pérdidas secundarias por codos (m)

k: constante del accesorio

N: número de codos

V_d : velocidad de descarga (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

$$h_1 = (8) \times (1.7 \times 0.423)$$

$$h_1 = 5.753 \text{ m}$$

Por Válvula Compuerta:

Para $D_d = \frac{3}{4}$ pulg, roscado. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 0.27$$

$$h_2 = N \times (k \times V_d^2 / 2g)$$

Donde:

h_2 : pérdidas secundarias por válvulas compuerta (m)

k: constante del accesorio

N: número de válvulas

V_d : velocidad de descarga (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

$$h_2 = (1) \times (0.27 \times 0.423)$$

$$h_2 = 0.114 \text{ m}$$

Por Válvula de Retención:

Para $D_d = 3/4$ pulg, roscado. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 3.8$$

$$h_3 = N \times (k \times V_d^2/2g)$$

Donde:

h_3 : pérdidas secundarias por válvulas de retención (m)

k: constante del accesorio

N: número de válvulas

V_d : velocidad de descarga (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_3 = (1) \times (3.8 \times 0.423)$$

$$h_3 = 1.61 \text{ m}$$

Por Válvulas Globo:

Para $D_d = 3/4$ pulg, roscado. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 10$$

$$h_4 = N \times (k \times V_d^2 / 2g)$$

Donde:

h_4 : pérdidas secundarias por válvulas de retención (m)

k: constante del accesorio

N: número de válvulas

V_d : velocidad de descarga (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_4 = (3) \times (10 \times 0.423)$$

$$h_4 = 12.69 \text{ m}$$

Pérdidas a través de los Equipos de Purificación:

Por medio de la experiencia práctica en instalaciones de purificación de agua para usos de hemodiálisis se ha elaborado la siguiente tabla que permite estimar las pérdidas de presión de agua a través de los equipos de purificación.

De la tabla N° 5.4 se puede asumir:

Para $Q = 13 \text{ gpm}$:

$$h_{\text{filtro}} = 4 \text{ psi} = 2.815 \text{ m}$$

$$h_{\text{ablandador}} = 6 \text{ psi} = 4.223 \text{ m}$$

Donde:

h_{filtro} : pérdida de presión a través del filtro multimedia

$h_{\text{ablandador}}$: pérdida de presión a través del ablandador

TABLA N° 5.4
PÉRDIDAS EN EQUIPOS DE PURIFICACIÓN

PARÁMETRO	EQUIPOS DE PURIFICACIÓN		
	FILTRO MULTIMEDIA	ABLANDADOR	CARBÓN ACTIVADO
Presión de operación	40 – 68 psi	35 – 63 psi	40 – 60 psi
ΔP	4 psi	6 psi	6 psi
Pmax de operación	100 psi	150 psi	150 psi
Flujo	20 gpm	20 gpm	20 gpm

Centro Metropolitano de Hemodiálisis. 2001

Luego:

$$\text{Pérdidas} = h_{p_s} + h_{s_s} + h_{p_d} + h_{s_d} + \text{Pérdidas de presión en equipos}$$

$$h_{p_s} = 0.554 \text{ m}$$

$$h_{s_s} = h'_1 + h'_2$$

$$h_{s_s} = 0.784 + 0.268$$

$$h_{s_s} = 1.052 \text{ m}$$

$$h_{p_d} = 8.82 \text{ m}$$

$$h_{s_d} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

$$h_{s_d} = 5.753 + 0.114 + 1.61 + 12.69$$

$$h_{s_d} = 20.17 \text{ m}$$

$$\text{Pérdidas de presión en equipos} = h_{\text{filtro}} + h_{\text{ablandador}}$$

$$h_{\text{filtro}} + h_{\text{ablandador}} = 2.815 + 4.223$$

$$h_{\text{filtro}} + h_{\text{ablandador}} = 7.038 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas} &= 0.554 + 1.052 + 8.82 + 20.17 + 7.038 \\ &= 37.634 \text{ m} \end{aligned}$$

Luego:

$$H_b = (P_2/\rho g - P_1/\rho g) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) + (Z_2 - Z_1) + \text{Pérdidas}$$

Para:

$$P_2 = 25 \text{ psi} = 17.59 \text{ m}$$

$$P_1 = 0$$

$$V_2 = 2.88 \text{ m/s}$$

$$V_1 = 0$$

$$Z_2 = 1.70 \text{ m}$$

$$Z_1 = -2.30 \text{ m}$$

$$\text{Pérdidas} = 37.64 \text{ m}$$

$$H_b = P_2/\rho g + V_2^2/2g + \text{Pérdidas} + (Z_2 - Z_1)$$

$$H_b = 17.59 \text{ m} + 0.423 \text{ m} + 37.634 \text{ m} + 4 \text{ m}$$

$$H_b = 17.59 \text{ m} + 0.423 \text{ m} + 25.4 \text{ m} + 4 \text{ m}$$

$$H_b = 59.65 \text{ m}$$

$$H_b = 84.8 \text{ psi}$$

Cálculo del NPSH_D:

Altura de succión: -2.30 m

$$\text{NPSH}_D = H_{at} - H_m - h_v - (h_{ps} + h_{ss})$$

$$H_{at} = 10.33 \text{ m}$$

$$H_m = 2.30 \text{ m}$$

$$h_v = 0.238 \text{ m, para } T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{p_s} + h_{s_s} = 0.554 + 1.052$$

$$h_{p_s} + h_{s_s} = 1.61$$

$$NPSH_D = 10.33 \text{ m} - 1.70 - 0.238 - 1.61$$

$$NPSH_D = 6.78 \text{ m}$$

$$NPSH_D = 22.2 \text{ pie}$$

Potencia de la bomba:

$$P = \frac{Q \times \gamma \times H}{76 \times n}$$

Donde:

P: potencia de la bomba (HP)

Q: caudal (m³/s)

γ : gravedad específica del agua

H: altura manométrica de la bomba (m)

n: eficiencia de la bomba

Luego:

$$P = \frac{0.00082 \times 1000 \times 59.65}{76 \times 0.7}$$

$$P = 0.92 \text{ HP}$$

Seleccionamos:

Dos bombas en paralelo que funcionarán alternadamente:

$$P = 1 \text{ HP}$$

$$H_b = 84.8 \text{ psi (59.65 m)}$$

$$Q = 13 \text{ gpm}$$

De los gráficos seleccionamos: (Ver Anexo)

TONKAFLO Pump Modelo SS 1806

Operación a 13 gpm:

Presión descarga: 74.8 psi

NPSH: 12 pie

Motor:

Pot: 1 HP

3450 rpm

60 Hz

230/460 VAC

Verificando NPSH:

$NPSH_R = 12$ pie

$NPSH_D = 22.2$ pie

$NPSH_D > NPSH_R$

No se presentará cavitación en la bomba.

5.6.2 Bomba del Equipo de Osmosis Inversa de 1° Paso

La selección de la bomba para equipos de ósmosis depende de la calidad del agua a tratar y de las membranas seleccionadas.

Para instalaciones nuevas que purifican agua salobre y emplean membranas de acetato de celulosa que trabajan con presiones de 400 a 450 psi. Por lo general se utilizan bombas centrífugas multietapas.

Las membranas seleccionadas para el equipo de ósmosis inversa de 1° Paso son con la que se va trabajar es DESAL CE4040F, que trabajan con una presión nominal de 425 psi.

De los gráficos (Ver Anexo), para un caudal de alimentación de 58.9 L/min (15.6 gpm) y una presión de trabajo de 425 psi, se seleccionará la bomba modelo AS1645.

Modelo AS 1645:

Operación a 15.6 gpm:

Presión: 434.2 psi

Eficiencia: 61%

NPSH: 8 pies

Rango: 5 gpm – 23 gpm

Pres. máx. en succión: 200 psi

Motor:

3450 rpm

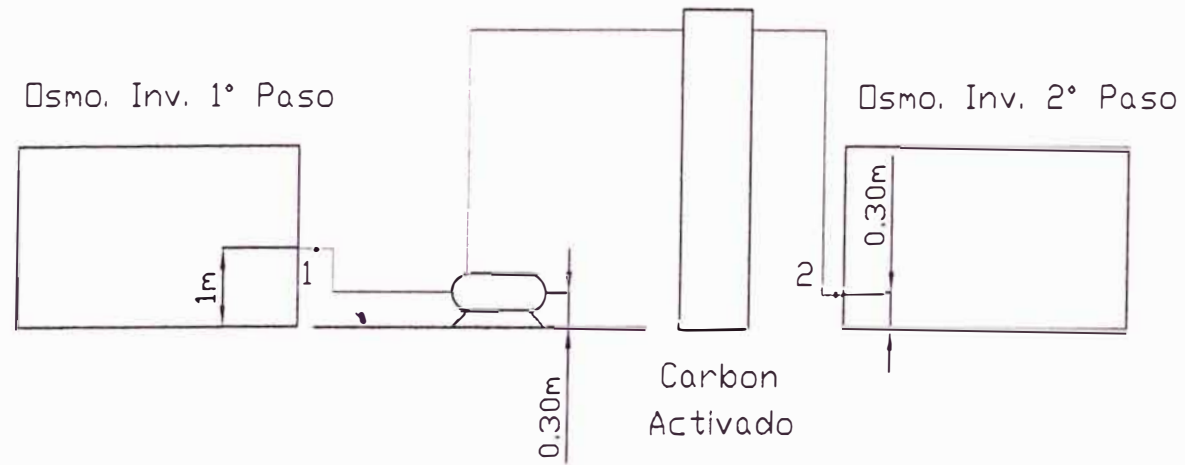
60 Hz

7.5 HP

230 / 460 VAC

FIGURA N° 5.7

TUBERIA Y BOMBA ENTRE OSMO. INV. DE 1° Y 2° PASOS



5.6.3 Tubería y Bomba entre el Equipo de Osmosis Inversa de 1° Paso y el Equipo de Osmosis Inversa de 2° Paso.

Las tuberías del sistema de purificación a partir de esta etapa del proceso de purificación serán unidas por pegamento, debido a que las uniones roscadas favorecen la proliferación bacteriana. Para el cálculo aproximado de las pérdidas secundarias por accesorios, mediante el uso de las gráficas del anexo, se considerará las uniones como bridadas, puesto que éstas poseen menores coeficientes de resistencia que las uniones roscadas.

Considerando presión de permeado 18 psi

Caudal: $Q = 41.2 \text{ L/min} = 10.9 \text{ gpm}$

Altura Estática:

$H_d = 0.3 \text{ m}$

$H_s = 1 \text{ m}$

Pérdidas por Fricción:

Succión:

Material: PVC

Longitud: 1.5 m

Nº codos: 2

Descarga:

Material: PVC

Longitud: 6 m

Nº codos: 4

Nº válvulas: 3

Determinación de la Altura Manométrica Total:

$$P_1/\rho g + Z_1 + V_1^2/2g + H_b = P_2/\rho g + Z_2 + V_2^2/2g + \text{Pérdidas}$$

$$H_b = (P_2/\rho g - P_1/\rho g) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) + (Z_2 - Z_1) + \text{Pérdidas}$$

Donde:

$$\text{Pérdidas} = h_{p_s} + h_{s_s} + h_{p_d} + h_{s_d} + \text{Pérdidas de presión en equipos}$$

Donde:

h_{p_d} : pérdidas primarias por fricción en la descarga (m)

h_{p_s} : pérdidas primarias por fricción en la succión (m)

h_{s_d} : pérdidas secundarias por accesorios en la descarga (m)

h_{s_s} : pérdidas secundarias por accesorios en la succión (m)

Cálculo de Pérdidas:

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q: caudal

A: área

V: velocidad

Succión:

$$Q = 41.2 \text{ L/min}$$

$$Q = 0.000687 \text{ m}^3/\text{s}$$

Seleccionamos:

$$V_s = 2 \text{ m/s}$$

$$A_s = Q / V_s$$

$$A_s = \frac{0.000687 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 0.0003384 \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \times \Phi_s^2}{4}$$

$$\Phi_s = 0.0207 \text{ m}$$

$$\Phi_s = 0.815 \text{ pulg}$$

Seleccionamos:

$$\Phi_s = 1 \text{ pulg}$$

Luego:

$$V_s = Q / A_s$$

$$A_s = \frac{\pi \times \Phi_s^2}{4}$$

$$A_s = 0.0005067 \text{ m}^2$$

$$V_s = \frac{0.000687 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0005067 \text{ m}^2}$$

$$V_s = 1.36 \text{ m/s}$$

Descarga:

$$Q = 41.2 \text{ L/min}$$

$$Q = 0.000687 \text{ m}^3/\text{s}$$

Seleccionamos:

$$V_d = 3 \text{ m/s}$$

$$A_d = Q / V_d$$

$$A_d = \frac{0.000687 \text{ m}^3/\text{s}}{3 \text{ m/s}}$$

$$A_d = 0.000229 \text{ m}^2$$

$$A_d = \frac{\pi \times \Phi_d^2}{4}$$

$$\Phi_d = 0.0171 \text{ m}$$

$$\Phi_d = 0.67 \text{ pulg}$$

Seleccionamos:

$$\Phi_d = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Luego:

$$V_d = Q / A_d$$

$$A_d = \frac{\pi \times \Phi_d^2}{4}$$

$$A_d = 0.00028502 \text{ m}^2$$

$$V_d = \frac{0.000687 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00028502 \text{ m}^2}$$

$$V_d = 2.41 \text{ m/s}$$

Luego:

$$\Phi_s = 1 \text{ pulg}$$

$$\Phi_d = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Luego:

$$V_s^2/2g = \frac{(1.36 \text{ m/s})^2}{2 \times (9.81 \text{ m/s}^2)} = 0.0943 \text{ m}$$

$$V_d^2/2g = \frac{(2.41 \text{ m/s})^2}{2 \times (9.81 \text{ m/s}^2)} = 0.296 \text{ m}$$

Pérdidas Primarias por Fricción de Succión:

$$Re = \frac{D_s \times V_s \times \rho}{\mu}$$

Donde:

Re: número de Reynolds

D_s : Diámetro hidráulico de succión (m)

V_s : Velocidad del agua en succión (m/s)

ρ : densidad del agua (kg/m^3)

μ : viscosidad dinámica del agua (kg/m-s)

$\mu / \rho = 0.864 \times 10^{-6}$ (25°C) (Ver Anexo)

Luego:

$$Re = \frac{(0.0254) \times (1.36)}{0.864 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 39\,981$$

$$Re > 2\,300$$

Flujo turbulento

Tubería de PVC, se considera lisa

Del diagrama de Moody: $f = 0.022$ (Ver Anexo)

f : factor de fricción

Luego:

$$h_{p_s} = \frac{f \times L_s \times V_s^2}{D_s \times 2g}$$

Donde:

h_{p_s} : pérdida primaria por fricción en la succión (m)

f: factor de fricción

L_s : longitud de tubería en la succión (m)

V_s : velocidad de succión (m/s)

D_s : diámetro hidráulico de la tubería de succión (m)

g. aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_{p_s} = \frac{(0.022) \times (1.5) \times (0.0943)}{(0.0254)}$$

$$h_{p_s} = 0.117 \text{ m}$$

Pérdidas Secundarias por Accesorios de Succión:

Por Codos:

Codo 90°. Para $\Phi_s = 1$ pulg. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 0.45$$

Nº codos: 2

$$h'_1 = (n) \times (k \times V_s^2/2g)$$

$$h'_1 = (2) \times (0.45 \times 0.0943)$$

$$h'_1 = 0.085 \text{ m}$$

Pérdidas Primarias por Fricción de Descarga:

$$Re = \frac{D_d \times V_d \times \rho}{\mu}$$

Donde:

Re: número de Reynolds

D_d : Diámetro hidráulico de descarga (m)

V_d : Velocidad del agua en descarga (m/s)

ρ : densidad del agua (kg/m^3)

μ : viscosidad dinámica del agua (kg/m-s)

$\mu / \rho = 0.864 \times 10^{-6}$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) (Ver Anexo)

Luego:

$$Re = \frac{(0.01905) \times (2.41)}{0.864 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 53\,137$$

$$Re > 2\,300$$

Flujo turbulento

Tubería PVC se considera liso

Del diagrama de Moody: $f = 0.021$ (Ver Anexo)

f : factor de fricción

Luego:

$$h_{p_d} = \frac{f \times L_d \times V_d^2}{D_d \times 2g}$$

Donde:

h_{pd} : pérdida primaria por fricción en la succión (m)

f: factor de fricción

L_d : longitud de tubería en la succión (m)

V_d : velocidad de succión (m/s)

D_d : diámetro hidráulico de la tubería de succión (m)

g. aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_{pd} = \frac{(0.021) \times (6) \times (0.296)}{0.01905}$$

$$h_{pd} = 1.958 \text{ m}$$

Pérdidas Secundarias por Accesorios de Descarga:

Por Codos:

Para codo 90° . $\Phi_d = \frac{3}{4}$ pulg. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 0.45$$

Número de codos: 4

$$h_1 = (n) \times (k \times V_d^2/2g)$$

Donde:

h_1 : pérdidas secundarias por codos (m)

n: número de codos en descarga

k: constante de accesorio

V_d : velocidad del agua en tubería de descarga (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_1 = (4) \times (0.45) \times (0.296)$$

$$h_1 = 0.533 \text{ m}$$

Por Válvula Compuerta:

Para $\Phi_d = \frac{3}{4}$ pulg. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 0.2$$

Número de válvulas: 1

$$h_2 = (n) \times (k \times V_d^2/2g)$$

Donde:

h_2 : pérdidas secundarias por válvula compuerta (m)

n : número de válvulas compuerta en descarga

k : constante de accesorio

V_d : velocidad del agua en tubería de descarga (m/s)

g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_2 = (1) \times (0.2) \times (0.296)$$

$$h_2 = 0.059 \text{ m}$$

Por Válvulas de Retención:

Para $\Phi_d = \frac{3}{4}$ pulg. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 2$$

Número de válvulas: 1

$$h_3 = (n) \times (k \times V_d^2/2g)$$

Donde:

h_3 : pérdidas secundarias por válvula de retención (m)

n : número de válvulas de retención en descarga

k : constante de accesorio

V_d : velocidad del agua en tubería de descarga (m/s)

g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_3 = (1) \times (2) \times (0.296)$$

$$h_3 = 0.592 \text{ m}$$

Por Válvulas Globo:

Para $\Phi_d = \frac{3}{4}$ pulg. De tablas (Ver Anexo)

$$k = 12.5$$

Número de válvulas: 1

$$h_4 = (n) \times (k \times V_d^2 / 2g)$$

Donde:

h_4 : pérdidas secundarias por válvula globo (m)

n : número de válvulas globo en descarga

k : constante de accesorio

V_d : velocidad del agua en tubería de descarga (m/s)

g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

Luego:

$$h_4 = (1) \times (12.5 \times 0.296)$$

$$h_4 = 3.7 \text{ m}$$

Pérdidas a través del Filtro de Carbón Activado

De la tabla N° 5.4, se puede asumir para $Q = 10.9$ gpm

$$h_{\text{carbon activado}} = 6 \text{ psi}$$

$$h_{\text{carbon activado}} = 4.223 \text{ m}$$

Donde:

$h_{\text{carbon activado}}$: pérdida de presión a través del filtro de carbón activado

Luego:

$$\text{Pérdidas} = h_{p_s} + h_{s_s} + h_{p_d} + h_{s_d} + \text{Pérdidas de presión en equipos}$$

$$h_{p_s} = 0.117 \text{ m}$$

$$h_{s_s} = h'_1$$

$$h_{s_s} = 0.085 \text{ m}$$

$$h_{p_d} = 1.958 \text{ m}$$

$$h_{s_d} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

$$h_{s_d} = 0.533 + 0.059 + 0.592 + 3.7$$

$$h_{s_d} = 4.88 \text{ m}$$

$$\text{Pérdidas de presión en equipos} = h_{\text{carbon activado}} = 4.223 \text{ m}$$

$$\text{Pérdidas} = 0.117 + 0.085 + 1.958 + 4.88 + 4.223$$

$$\text{Pérdidas} = 11.3 \text{ m}$$

Luego:

$$H_b = (P_2/\rho g - P_1/\rho g) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) + (Z_2 - Z_1) + \text{Pérdidas}$$

Consideramos: Presión a la entrada del equipo de ósmosis 30 psi.

$$P_2 = 30 \text{ psi.}$$

Luego:

$$P_2 = 30 \text{ psi} = 21.11 \text{ m}$$

$$P_1 = 18 \text{ psi} = 12.67 \text{ m}$$

$$V_2^2/2g = V_s^2/2g = 0.0943 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = V_d^2/2g = 0.296 \text{ m}$$

$$\text{Pérdidas} = 11.3 \text{ m}$$

$$Z_2 = 0.3 \text{ m}$$

$$Z_1 = 1 \text{ m}$$

$$H_b = (P_2/\rho g - P_1/\rho g) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) + (Z_2 - Z_1) + \text{Pérdidas}$$

$$H_b = 8.44 + 0.2017 - 0.7 + 11.3$$

$$H_b = 19.2 \text{ m}$$

$$H_b = 27.3 \text{ psi}$$

Potencia de la bomba:

$$P = \frac{Q \times \gamma \times H}{76 \times n}$$

Donde:

P: potencia de la bomba (HP)

Q: caudal (m³/s)

γ : gravedad específica del agua (kg/m³)

H: altura manométrica de la bomba (m)

n: eficiencia de la bomba

Luego:

$$P = \frac{(0.000687) \times (1000) \times (19.2)}{(76) \times (0.65)}$$

$$P = 0.27 \text{ HP}$$

Características:

H_b : 19.2 m (27.3 psi)

$Q = 10.9$ gpm

Pot: 1/2 HP

$\Phi_s = 1$ pulg

$\Phi_d = \frac{3}{4}$ pulg

De los gráficos seleccionamos: (Ver Anexo)

La bomba Tonkaflo serie SS 1804

Operación a 10.9 gpm:

Presión: 53.4 psi

NPSH: 11 pie

Rango de flujo: 5 – 21 gpm

Motor:

Pot: 0.75 HP

RPM: 3450

Voltaje: 230 / 460 VAC

Frecuencia: 60 Hz

5.6.4 Bomba del Equipo de Osmosis Inversa de 2° Paso

La selección de la bomba para equipos de ósmosis depende de la calidad del agua a tratar y de las membranas seleccionadas.

Para instalaciones nuevas que purifican agua salobre y emplean membranas de TFC (Thin Film Composite) se emplean bombas de 200 a 300 psi. Por lo general se utilizan bombas centrífugas multietapas.

Las membranas seleccionadas para el equipo de ósmosis inversa de 2° Paso son DESAL AG4040FF, que trabajan con una presión nominal de 225 psi.

De las gráficas (Ver Anexo) para un caudal de alimentación de 41.2 L/min (10.9 gpm) y una presión de trabajo de 225 psi, se seleccionará la bomba modelo SS 1817

Modelo SS 1817

Operación a 10.9 gpm:

Presión: 228 psi

Eficiencia: 52 %

NPSH: 11 pies

Rango: 5 gpm – 21 gpm

Motor:

3450 rpm

60 HZ

3 HP

230 / 460 VAC

5.6.5 Tubería entre el Equipo de Ósmosis Inversa de 2º Paso y la Cisterna de Almacenamiento de Agua Purificada

$$Q = A \times V$$

Q: caudal de permeado de equipo de ósmosis de 2º paso (m³/s)

A: área de la tubería desde el equipo de ósmosis hasta la cisterna (m²)

V: Velocidad del permeado en la tubería (m/s)

Luego:

$$Q = 30.9 \text{ L/min}$$

$$Q = 0.000515 \text{ m}^3/\text{s}$$

Seleccionamos:

$$V = 3 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{0.000515}{3}$$

3

$$A = 0.000172 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi \times \Phi^2}{4}$$

4

$$\Phi = 0.0148 \text{ m}$$

$$\Phi = 0.58 \text{ pulg}$$

Seleccionamos:

$$\Phi = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Luego:

$$V = Q / A$$

$$A = \frac{\pi \times \Phi^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times (0.01905 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 0.000285 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.000515}{0.000285}$$

$$V = 1.81 \text{ m/s}$$

5.6.6 Tubería de Reciclaje desde Rechazo del Equipo de Osmosis Inversa de 2º Paso hasta Alimentación del Equipo de Osmosis Inversa de 1º Paso

$$Q = A \times V$$

Q: caudal de rechazo de equipo de ósmosis de 2º paso (m³/s)

A: área de la tubería desde el equipo de ósmosis hasta la cisterna (m²)

V: Velocidad del permeado en la tubería (m/s)

Luego:

$$Q = 10.3 \text{ L/min}$$

$$Q = 0.000172 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad recomendada: $V = 1 - 3 \text{ m/s}$ (Ver Anexo)

Seleccionamos:

$$V = 1.5 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{0.000172}{1.5}$$

$$1.5$$

$$A = 0.000115 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi \times \Phi^2}{4}$$

$$\Phi = 0.0121 \text{ m}$$

$$\Phi = 0.48 \text{ pulg}$$

Selecciono:

$$\Phi = \frac{1}{2} \text{ pulg}$$

CAPITULO VI

6.0 DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PURIFICADA.

En el diseño de un sistema de distribución es importante la disposición física de los ambientes hospitalarios, lo cual nos dará la longitud de tuberías y el número exacto de accesorios que debemos emplear. Para nuestro caso de diseño del sistema de distribución de agua purificada respetaremos las recomendaciones provenientes de la bibliografía relacionada, y asumiremos una longitud del lazo de distribución y accesorios, de acuerdo a la observación de varias clínicas de hemodiálisis de Lima Metropolitana.

6.1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS:

Se diseñará un circuito de distribución de lazo cerrado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. La cisterna de almacenamiento y recirculación será de acero inoxidable y estará permanentemente sellada. Contará con un filtro de aire para evitar la entrada de partículas ambientales y bacterias al interior de la cisterna.

El ingreso del agua se realizará por la parte superior de la cisterna y el agua caerá como una ducha bañando las paredes internas para inhibir el crecimiento bacteriano. La salida del agua se debe realizar por el punto más bajo de la cisterna.

- b. Se debe contar con los medios para realizar una adecuada desinfección y recirculación en la cisterna de almacenamiento y lazo de distribución.
- c. El flujo de recirculación debe ser continuo y el agua no usada retornará a la cisterna de almacenamiento. La velocidad del flujo de recirculación debe ser turbulenta de modo que se inhiba el desarrollo de colonias bacterianas conocidas como “biofilms”, muy difíciles de remover, en el sistema de tuberías. Los diámetros de las tuberías deben ser seleccionados para lograr el mayor flujo posible. Las velocidades en el rango de 1 a 2 m/s son recomendables.
- d. Se diseñará con dos equipos de bombeo que funcionarán en paralelo y en forma alternada, con lo que se asegurará la operatividad de la planta de purificación de agua, en caso de avería de una de ellas, garantizando la entrega permanente de agua purificada para las necesidades de la clínica de hemodiálisis.
- e. Las tuberías deberán ser de materiales no reactivos y diseñadas para minimizar la proliferación bacteriana. El material ideal de tuberías es el

acero inoxidable, aunque en general y debido a su menor costo se emplea el PVC, que es un material que ha tenido un buen desempeño. Las tuberías y montajes no deben contener cobre, bronce, zinc o partes galvanizadas porque lixiviarán metales tóxicos en el agua purificada, lo cual generaría complicaciones adversas a los pacientes de diálisis. Desde hace algunos años se ha introducido al mercado un material de tuberías conocido como PVDF que presenta significativas mejoras en la prevención de contaminación bacteriana, no reactividad, mejor montaje y durabilidad, su costo sin embargo es casi tan elevado como el del acero inoxidable.

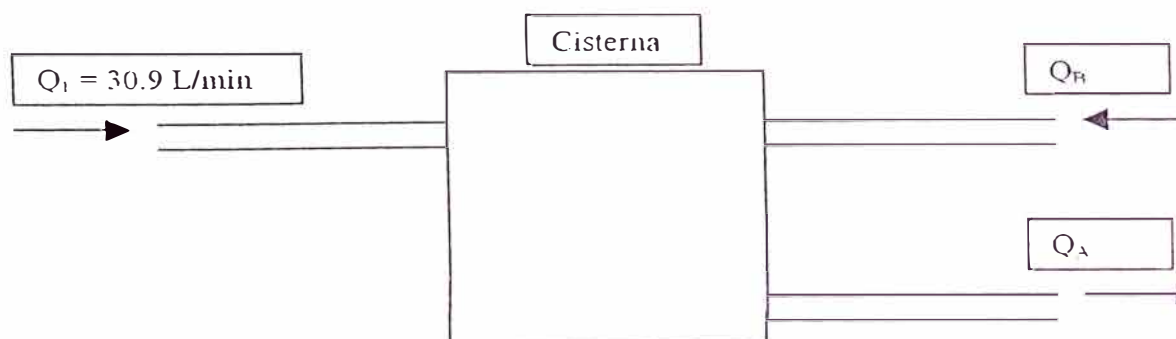
- f. No se recomienda el empleo de uniones roscadas en las tuberías porque favorecen el crecimiento bacteriano.
- g. El lazo de distribución no debe contener áreas de estancamiento de flujo donde las bacterias podrían proliferar, tal es el caso de sistemas de tuberías muy ramificadas, vasos de presión cerrados, cisternas de almacenamiento sobredimensionadas, tuberías con puntos muertos, tanques hidroneumáticos que emplean “bladders”, etc.
- h. El lazo de distribución deberá proporcionar agua purificada en los flujos y presiones requeridos a las siguientes áreas: salas de tratamiento de diálisis, reprocesamiento de filtros, cebado de filtros, taller de mantenimiento.

- i. Las tomas de distribución a las máquinas de diálisis y en general a todos los equipos que emplean el agua purificada en sus procesos, deben arrancar directamente del circuito y ser de la menor longitud posible.
- j. Las instalaciones hospitalarias generalmente trabajan con presiones de 4 Bar en sus sistemas de distribución de agua a las salas de tratamiento de hemodiálisis por requerimiento de equipos biomédicos.
- k. La cisterna de recirculación de agua purificada se recomienda debe garantizar el suministro de agua purificada en caso de emergencia por lo menos para un turno de atención del tratamiento de hemodiálisis.

6.2 CÁLCULO DEL CAUDAL DEL LAZO DE DISTRIBUCIÓN

FIGURA N° 6.1

CAUDAL DEL LAZO DE DISTRIBUCIÓN Y RECIRCULACIÓN



Se recomienda para lazos de distribución, el siguiente rango de velocidades, sin caer en presiones excesivas:

$$V = 1 - 2 \text{ m/s}$$

Considerando:

- Demanda pico de agua: 30.9 L/min (Ver Cap 3)
- La velocidad del agua en la tubería debe conservarse en el rango de 1 – 2 m/s
- La presión del agua en la línea de tuberías debe estar en el rango de 4 bar a 0.5 bar, por normas hospitalarias y necesidades de equipos médicos.

Cálculo del Caudal de Descarga de la Bomba (Q_A):

$$Q_A = A \times V_A \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

Q_A : Caudal de descarga de la bomba de lazo de distribución (m^3/s)

A: Area de tubería de lazo de distribución (m^2)

V_A : Velocidad del agua en la descarga de la bomba del lazo de distribución (m/s)

Luego:

$$Q_B = A \times V_B \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

Q_B : Caudal de retorno a la cisterna de recirculación (m^3/s)

A: Area de tubería de lazo de distribución (m^2)

V_B : Velocidad del agua en el retorno a la cisterna de recirculación (m/s)

Luego:

Demanda pico: 30.9 L/min

$$Q_A = \text{Demanda pico} + Q_B$$

X = Demanda pico

$$Q_A = X + Q_B \dots\dots\dots(3)$$

Luego (1) y (3):

$$X + Q_B = A \times V_A \dots\dots\dots(4)$$

Tomamos:

$$V_A = 2 \text{ m/s}$$

$$V_B = 1 \text{ m/s}$$

Luego reemplazando en (2) y (4):

$$Q_B = A \dots\dots\dots(2)$$

$$X + Q_B = 2A \dots\dots\dots(4)$$

Luego (2) / (4):

$$\frac{Q_B}{X + Q_B} = \frac{A}{2A}$$

$$Q_B = X$$

$$Q_B = 30.9 \text{ L/min}$$

Luego Q_B en (3):

$$Q_A = 61.8 \text{ L/min}$$

6.3 CÁLCULO DE LA CISTERNA DE ALMACENAMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUA PURIFICADA

La cisterna de agua purificada debe ser capaz, en caso de emergencia, de por lo menos satisfacer los requerimientos de un turno completo de tratamiento de diálisis.

$$V = (N) \times (Q) \times (t)$$

Donde:

V: volumen de agua purificada requerido para un turno de diálisis por los tres (03) módulos de máquinas de diálisis (L).

N: número total de máquinas en los 03 módulos. (Sin considerar la máquina de soporte).

Q: flujo de agua purificada requerido por las máquinas en tratamiento de diálisis (L/min)

t: tiempo promedio de tratamiento de diálisis (min)

Luego:

$$V = (18) \times (0.5 \text{ L/min}) \times (210 \text{ min})$$

$$V = 1\,890 \text{ L}$$

Tomamos:

$$V = 2\,000 \text{ L}$$

Luego:

Dimensiones del tanque: $\Phi 1.26 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$

Con capacidad nominal de 2 000 L

Presión máxima de diseño en la chaqueta: 30 psi

Material: Acero inoxidable 316

Esfuerzo de fluencia: 30 000 Lb/pulg²

Factor de seguridad: 2

Esfuerzo de diseño: 15 000 Lb/pulg²

$$S = \frac{P \times R}{\sigma}$$

Donde:

S : espesor (pulg)

P: presión (psi)

R: radio (pulg)

σ : esfuerzo de diseño (Lb/pulg²)

Luego:

$$S = \frac{30 \times 24.8}{15\,000}$$

$$S = 0.0496 \text{ pulg}$$

$$S = 0.0496 \text{ pulg}$$

Selecciono:

$$S = 1/16 \text{ pulg}$$

Características del Tanque:

Material: Acero inoxidable 316

Dimensiones: 1.26 m x 1.6 m

Espesor: 1/16 pulg

Acabados: fondo sanitario y pulido sanitario.

FIGURA N° 6.2
CISTERNAS DE ALMACENAMIENTO DE ACERO INOXIDABLE



6.4 POSTRATAMIENTO

6.4.1 Microfiltros

A la salida del tanque de recirculación de agua purificada, antes de su envío a los puntos de uso (salas de diálisis, reproceso y cebado de filtros, etc.) es necesario el empleo de microfiltros que garanticen la entrega de agua purificada que cumpla con los requerimientos de las normas

internacionales (AAMI, Farmacopea Europea, etc.) relacionadas a la contaminación bacteriológica y de endotoxinas. Para ello se recomienda la disposición de dos filtros cartucho, para asegurar la calidad del agua filtrada.

Selección de Filtros:

El primer filtro realizará el trabajo “rudo” y se seleccionará un cartucho de acero inoxidable con filtros de superficie “pleated filters” de 0.45 μm .

Flujo: 61.8 L/min

De la figura N° 6.3, se seleccionará 03 filtros Mentrex PC Pleated de 0.45 μm .

Longitud nominal del filtro: 20 pulg

Diámetro externo nominal: 2.75 pulg

Diámetro interno nominal: 1.25 pulg

Máxima presión delantera: 60 psi

Máxima presión reversa: 30 psi

Area filtrante: 33 pie²

Caída de presión: 1.5 psi

El segundo filtro realizará el trabajo de “pulido” y se seleccionará en un cartucho de acero inoxidable con filtros de superficie “pleated filter” de 0.2 μm

Flujo: 61.8 L/min

De la figura N° 6.3. Se seleccionará 03 filtros Mentrex PC Pleated de 0.2 μm

Longitud nominal del filtro: 20 pulg

Diámetro externo nominal: 2.75 pulg

Diámetro interno nominal: 1.25 pulg

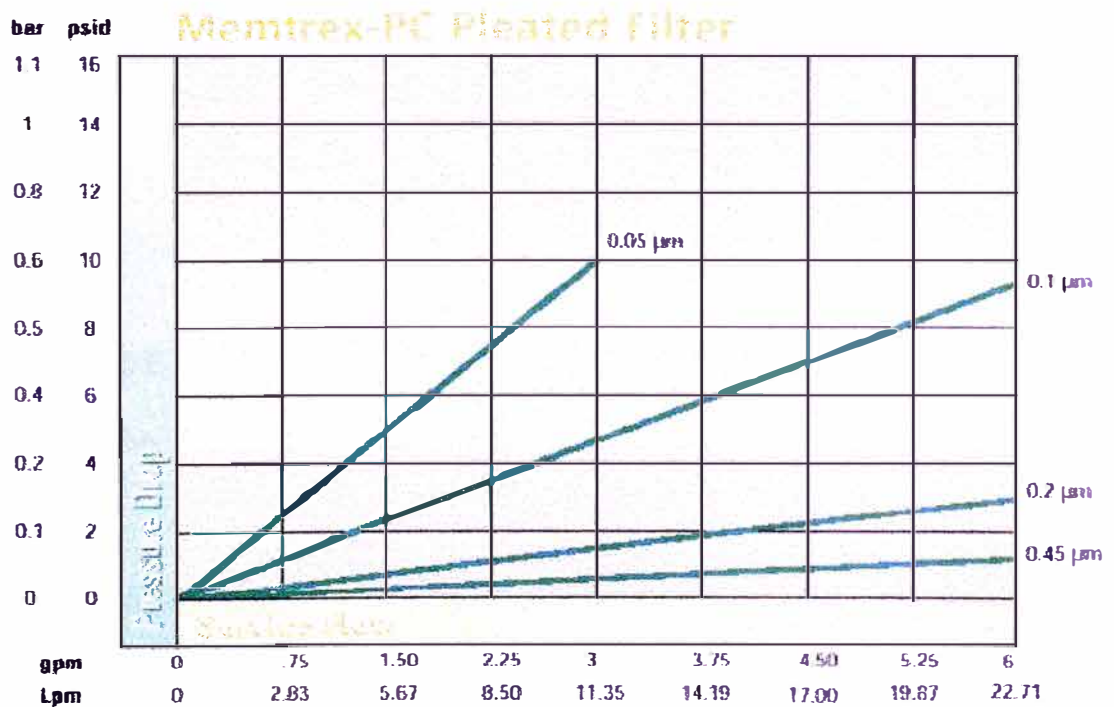
Máxima presión delantera: 60 psi

Máxima presión reversa: 30 psi

Area filtrante: 33 pie²

Caída de presión: 4.5 psi

FIGURA N° 6.3
PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN MICROFILTROS



6.4.2 Luz Ultravioleta

Las lámparas ultravioleta serán posicionadas luego de los microfiltros porque si bien la radiación UV elimina el 99.99% de los microorganismos, los restos de las bacterias muertas se convierten en endotoxinas por tanto el criterio es que, hasta las lámparas UV, llegue la menor cantidad posible de bacterias.

Flujo de alimentación: 61.8 L/min = 16.3 gpm

De tablas (Ver Anexo) se selecciona:

Modelo UV – 24

30 000 microwatt – s /cm²

2 537 Angstrom

2 lámparas

132 watt

1.1 Amp

6.5 CÁLCULO DE LA TUBERÍA Y BOMBA DEL LAZO DE DISTRIBUCIÓN

$$H_b = (P_2/\rho g - P_1/\rho g) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) + (Z_2 - Z_1) + \text{Pérdidas}$$

$$\text{Pérdidas} = h_{p_s} + h_{s_s} + h_{p_d} + h_{s_d} + \text{Pérdidas de presión en equipos}$$

Donde:

h_{p_d} : pérdidas primarias por fricción en la descarga (m H₂O)

h_{ps} : pérdidas primarias por fricción en la succión (m H₂O)

h_{sd} : pérdidas secundarias por accesorios en la descarga (m H₂O)

h_{ss} : pérdidas secundarias por accesorios en la succión (m H₂O)

Cálculo de Pérdidas:

Succión:

$$Q_s = 0.00103 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_s = A_s \times V_s$$

Donde:

Q_s : caudal de succión (m³/s)

A_s : área de tubería de succión (m²)

V_s : velocidad del agua en tubería de succión (m/s)

Escogemos:

$$V_s = 1.5 \text{ m/s}$$

$$A_s = Q_s / V_s$$

$$A_s = \frac{0.00103}{1.5}$$

$$A_s = 0.000687 \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \times \Phi_s^2}{4}$$

$$\Phi_s = 0.0296 \text{ m}$$

$$\Phi_s = 1.17 \text{ pulg}$$

Seleccionamos:

$$\Phi_s = 1 \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

$$A_s = \frac{\pi \times \Phi_s^2}{4}$$

$$A_s = \frac{\pi \times (0.03175)^2}{4}$$

$$A_s = 0.000792 \text{ m}^2$$

$$V_s = Q_s / A_s$$

$$V_s = \frac{0.00103}{0.000792}$$

$$V_s = 1.3 \text{ m/s}$$

Descarga:

$$Q = 0.00103 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_d = Q_d / V_d$$

Donde:

Q_d : caudal de descarga (m^3/s)

A_d : área de tubería de descarga (m^2)

V_d : velocidad del agua en tubería de descarga (m/s)

Escogemos:

$$V_d = 2 \text{ m/s}$$

$$A_d = \frac{0.00103}{2}$$

$$A_d = 0.000515 \text{ m}^2$$

$$A_d = \frac{\pi \times \Phi^2}{4}$$

$$\Phi_d = 1.01 \text{ pulg}$$

Seleccionamos:

$$\Phi_d = 1 \text{ pulg}$$

Luego:

$$V_s^2/2g = 0.086 \text{ m}$$

$$V_d^2/2g = 0.204 \text{ m}$$

Pérdidas primarias en succión:

$$Re = \frac{D_s \times V_s \times \rho}{\mu}$$

Donde:

Re: número de Reynolds

D_s : Diámetro hidráulico de succión (m)

V_s : Velocidad del agua en succión (m/s)

ρ : densidad del agua (kg/m^3)

μ : viscosidad dinámica del agua (kg/m-s)

$$\mu / \rho = 0.864 \times 10^{-6} \text{ (25 } ^\circ\text{C) (Ver Anexo)}$$

$$Re = \frac{(0.03175) \times (1.3)}{0.864 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 47\,772$$

$$Re > 2\,300$$

Flujo turbulento

Tubería de PVC se considera lisa

Del diagrama de Moody: $f = 0.021$ (Ver Anexo)

f: factor de fricción

$$h_{p_s} = \frac{f \times L_s \times V_s^2}{D_s \times 2g}$$

Donde:

h_{p_s} : pérdida primaria por fricción en la tubería de succión (m H₂O)

f: factor de fricción

L_s : longitud de tubería de succión (m)

V_s : velocidad de agua en tubería de succión (m/s)

D_s : diámetro hidráulico de la tubería de succión (m)

g. aceleración de la gravedad (m/s²)

considerando:

$$L_s = 0.4 \text{ m}$$

$$h_{p_s} = \frac{(0.021) \times (0.4) \times (1.3)^2}{(0.03175) \times (2 \times 9.81)}$$

$$h_{p_s} = 0.023 \text{ m}$$

Pérdidas Secundarias en Succión:

Por Codos:

Por codo 90°, para $\Phi_s = 1 \frac{1}{4}$ pulg de tablas (Ver Anexo):

$$k = 0.4$$

Número de codos: 2

$$h_1 = (N) \times (k \times V_s^2/2g)$$

$$h_1 = (2) \times (0.4 \times 0.086)$$

$$h_1 = 0.069 \text{ m}$$

Luego:

$$h_{s_s} = h_l$$

$$h_{s_s} = 0.069 \text{ m}$$

Pérdidas Primarias en Descarga:

$$Re = \frac{D_d \times V_d \times \rho}{\mu}$$

Donde:

Re: número de reynolds

D_d : Diámetro hidráulico de descarga (m)

V_d : Velocidad del agua en descarga (m/s)

ρ : densidad del agua (kg/m^3)

μ : viscosidad dinámica del agua (kg/m-s)

$\mu / \rho = 0.864 \times 10^{-6}$ (25°C) (Ver Anexo)

$$Re = \frac{(0.0254) \times (2)}{0.864 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 58\,796$$

$$Re > 2\,300$$

Flujo turbulento

Tubería de PVC se considera lisa

Del diagrama de Moody: $f = 0.020$ (Ver Anexo)

f : factor de fricción

$$h_{p_d} = \frac{f \times L_d \times V_d^2}{D_d \times 2g}$$

Donde:

h_{pd} : pérdida primaria por fricción en la tubería de descarga (m)

f: factor de fricción

L_d : longitud de tubería de descarga (m)

V_d : velocidad de agua en tubería de descarga (m/s)

D_d : diámetro hidráulico de la tubería de descarga (m)

g. aceleración de la gravedad (m/s^2)

considerando:

$$L_d = 90 \text{ m}$$

$$h_{pd} = (0.02) \times (90) \times (0.204)$$

$$0.0254$$

$$h_{pd} = 14.46 \text{ m}$$

Pérdidas Secundarias en Descarga:

Por Codos:

Por codo 90° , para $\Phi_s = 1$ pulg de tablas (Ver Anexo):

$$k = 0.45$$

Número de codos: 24

$$h_1 = (N) \times (k \times V_d^2/2g)$$

$$h_1 = (24) \times (0.45 \times 0.204)$$

$$h_1 = 2.2 \text{ m}$$

Por Válvula de Retención:

Para $\phi_d = 1$ pulg, de tablas (Ver Anexo)

$$k = 2.$$

Número de válvulas:

$$h_2 = (N) \times (k \times V_d^2/2g)$$

$$h_2 = (1) \times (2. \times 0.204)$$

$$h_2 = 0.41 \text{ m}$$

Por Válvula Compuerta

Para $\phi_d = 1$ pulg, de tablas (Ver Anexo):

$$k = 0.2$$

Número de válvulas: 1

$$h_3 = (N) \times (k \times V_d^2/2g)$$

$$h_3 = (1) \times (0.2 \times 0.204)$$

$$h_3 = 0.041 \text{ m}$$

Por "T", Línea de Flujo.

Para $\phi_d = 1$ pulg, de tablas (Ver Anexo):

$$k = 0.2$$

Número de "tes" : 32

$$h_4 = (N) \times (k \times V_d^2/2g)$$

$$h_4 = (32) \times (0.2 \times 0.204)$$

$$h_4 = 1.31 \text{ m}$$

Luego

$$hs_d = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

$$hs_d = 3.96 \text{ m}$$

Luego

$$\text{Pérdidas} = h_{p_s} + h_{s_s} + h_{p_d} + h_{s_d} + \text{pérdidas en equipos}$$

Equipos: microfiltros $0.45 \mu\text{m}$, microfiltro de $0.2 \mu\text{m}$ y equipo UV.

De figura N° 6.2:

Pérdidas en microfiltro $0.45 \mu\text{m}$: 1.5 psi

Pérdidas en microfiltro $0.2 \mu\text{m}$: 4.5 psi

Pérdidas en equipo UV = 0

Luego:

Pérdidas en equipos = 6 psi = 4.22 m

Luego:

$$\text{Pérdidas} = 0.023 + 0.069 + 14.46 + 3.96 + 4.22$$

$$\text{Pérdidas} = 22.73 \text{ m}$$

Luego:

$$H_b = (P_2/\rho g - P_1/\rho g) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) + (Z_2 - Z_1) + \text{Pérdidas}$$

Donde:

$$V_1 = 0$$

$$P_1 = 0$$

$$V_2 = V_B = 1.3 \text{ m/s}$$

Para las condiciones:

$$Z_2 - Z_1 = 0.45 \text{ m}$$

$$P_2 = 1 \text{ Bar} = 10.3 \text{ m}$$

Luego:

$$H_b = 10.3 + (1.3)^2 / 2(9.81) + 0.45 + 22.73$$

$$H_b = 10.3 + 0.0861 + 0.45 + 22.73$$

$$H_b = 34 \text{ m}$$

$$H_b = 48.3 \text{ psi (3.3 Bar)}$$

De los gráficos (Ver Anexo) se selecciona:

La bomba TONKAFLO serie SS1806

Operación a 16.3 gpm

Presión de descarga: 63 psi (4.3 Bar)

NPSH: 13 pie

Rango de flujo: 5 a 21 gpm

Motor:

Pot: 1 HP

rpm: 3450

230 / 460 VAC

60 Hz

6.6 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PURIFICADA

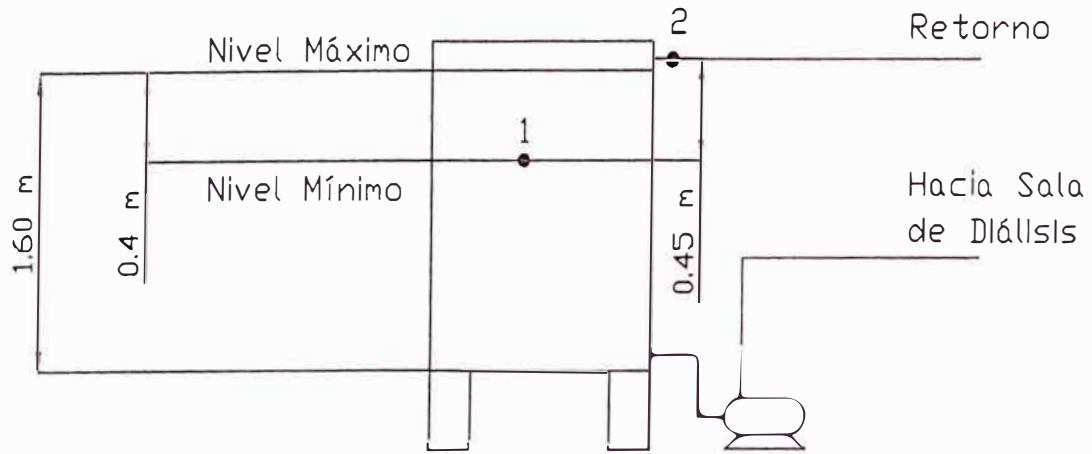
La cisterna del sistema de distribución de agua purificada, cumplirá las tareas de almacenamiento y recirculación. El agua permeada proveniente del equipo

de ósmosis de 2º Paso, se almacenará en la cisterna hasta un “nivel superior” de 2 000 L, en ese momento el sistema de purificación se detendrá. El sistema volverá a arrancar cuando el consumo de agua purificada haga descender el nivel de agua, en la cisterna de almacenamiento y recirculación del lazo de distribución, hasta un “nivel inferior” de 1 500 L, en ese momento el sistema de purificación arrancará nuevamente.

Un par de equipos de bombeo, que funcionarán alternadamente, proporcionarán al agua una presión adecuada para los requerimientos técnicos de los equipos de hemodiálisis conectados a la red de distribución de agua purificada y, suficiente para asegurar que la presión en todo el lazo de distribución se encuentre dentro de un rango óptimo (1.5 – 4.0 Bar). El flujo del agua proporcionado también será el adecuado para que la velocidad del agua en las tuberías se mantengan siempre dentro de un rango óptimo (1 – 2 m/s) para inhibir la proliferación bacteriana.

Es recomendable que las bombas que extraen el agua de la cisterna de almacenamiento funcionen, alternadamente, en forma continua de manera que la cisterna de almacenamiento se comporte también como una verdadera cisterna de recirculación, para que no se produzca estancamiento del agua en el fondo de la cisterna, de manera que se logre inhibir el crecimiento bacteriano.

FIGURA NI 6.4
ESQUEMA DE LA CISTERNA Y EQUIPO DE BOMBEO
DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION



Cisterna de
Almac. y Recirc.

6.7 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE PURIFICACIÓN Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PURIFICADA

- El agua proveniente de la red de SEDAPAL, se almacena en la cisterna de agua dura, de dimensiones 82 m³ de volumen, donde el agua es impulsada por una electrobomba hacia un filtro multimedia de lecho profundo. Se recomienda proceder al llenado de la cisterna para cuando se alcance el nivel medio de la cisterna ($h_s = -2.30$ m).
- El agua pasa a través del filtro multimedia donde se le va reducir la turbidez y el contenido de partículas en suspensión que pudieran perjudicar el funcionamiento de las siguientes etapas del proceso de purificación. El agua al salir del filtro multimedia se va dirigir hacia un ablandador en operación.
- Al pasar por el ablandador, las resinas de este equipo van intercambiar los iones de Calcio y Magnesio del agua, causantes de la dureza, por iones de sodio. La dureza del agua a la salida del ablandador debe ser menor de 10 ppm. A continuación el agua se dirigirá hacia el equipo de ósmosis inversa de 1° Paso.

- Al llegar al equipo de ósmosis inversa de 1° Paso, el agua pasará primero por filtros de sedimentos de 5 μ , los cuáles prevendrán de ensuciamiento por partículas a las membranas de ósmosis inversa. Luego de pasar por los filtros el agua llegará a la entrada de la bomba de alta presión, desde donde será impulsada hasta los housings que contienen las membranas de ósmosis inversa, a través de las que se producirá un flujo de agua purificada que será recolectado en un colector común a todos los housings denominado flujo de permeado. Una pequeña bomba, químicamente resistente, mantendrá el pH del agua en un rango óptimo para el funcionamiento de las membranas de acetato de celulosa del equipo de ósmosis inversa, mediante la inyección de una solución de H_2SO_4 . El agua que no ha sido permeada, es evacuada a la salida del último housing del equipo y puede ser dirigida al desagüe o a una cisterna alternativa para agua de riego u otros usos.
- El flujo de permeado, que sale a una presión muy baja, es captado por una bomba que lo impulsará hacia un filtro de carbón activado.
- En el filtro del carbón activado, al agua se le extraerá el cloro y las cloraminas, contaminantes extremadamente peligrosos para la salud, luego dicha agua se dirige hacia el equipo de ósmosis de 2° Paso.
- Al llegar al equipo de ósmosis inversa de 2° Paso, el agua pasará primero por filtros de sedimentos de 5 μ , los cuáles prevendrán de ensuciamiento

por partículas a las membranas de ósmosis inversa. Luego de pasar por los filtros el agua llegará a la entrada de la bomba de alta presión, desde donde será impulsada hasta los housings que contienen las membranas de ósmosis inversa, a través de las que se producirá un flujo de agua purificada que será recolectado en un colector común a todos los housings denominado flujo de permeado. Una pequeña bomba, químicamente resistente, conseguirá que se alcance y mantenga un nivel de pH adecuado para los requerimientos del uso final (pH 7), mediante la inyección de una solución de NaOH. Las membranas de TFC, del equipo de ósmosis, permiten trabajar con un amplio rango de pH. El agua que no ha sido permeada, es agua de buena calidad y será aprovechada dirigiéndola a la entrada de la bomba de alta presión del equipo de ósmosis inversa de 1° Paso. De esta manera se reducirán costos significativos de inversión y operación en la planta de purificación de agua.

- El flujo de permeado, se dirigirá hacia un equipo de luz UV, que destruirá el 99.99% de la contaminación bacteriana que pudiera estar presente en el agua. A continuación el agua ingresará a una cisterna de almacenamiento que forma parte del lazo de distribución de agua purificada.
- En la cisterna, que cumplirá las tareas de almacenamiento y recirculación, el agua permeada proveniente del equipo de ósmosis de 2°

Paso, se almacenará, para que desde ella un par de equipos de bombeo, que funcionarán alternadamente, proporcionen una presión y un flujo adecuados para satisfacer los requerimientos máximos de las distintas áreas de la clínica de hemodiálisis.

- A la salida de la cisterna de almacenamiento y recirculación, el agua purificada pasará a través de dos microfiltros, de $1\ \mu$ y $0.2\ \mu$, en ese orden, de tal manera que detengan el paso de las bacterias que pudieran haberse desarrollado tanto en la cisterna de almacenamiento como en la tubería del lazo de distribución.
- Luego de pasar por los microfiltros, el agua pasará a través de un equipo de luz UV, que constituirá el último elemento de protección y purificación antes de que el agua purificada ingrese a las máquinas de hemodiálisis. Este equipo de UV, terminará de aniquilar finalmente cualquier traza de bacterias que pudiera estar presente en las tuberías. Se recomienda instalar tanto los microfiltros como el equipo de luz UV lo más cerca posible al punto de uso.
- Luego de satisfacer la demanda de las distintas áreas de la clínica de hemodiálisis, el agua purificada no consumida retornará por medio del lazo cerrado de distribución a la cisterna de almacenamiento y recirculación.

CAPITULO VII

7.0 PRUEBAS Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS INSTALACIONES

Una vez que se ha realizado el montaje de todas las instalaciones de la planta de purificación de agua, se deben realizar las pruebas y el control de calidad de dichas instalaciones, de manera que se valide el sistema garantizando su correcto funcionamiento antes de que se atienda por vez primera los diversos requerimientos de agua purificada de la clínica de hemodiálisis.

7.1 PRUEBAS

El funcionamiento de las instalaciones se somete a dos tipos de pruebas: microbiológica y fisico-química.

7.1.2 Prueba Microbiológica

Este control debe ser realizado fundamentalmente en el agua purificada de uso final, a la salida del tanque de recirculación, luego de los microfiltros y la luz ultravioleta, en este punto el contenido de bacterias y

endotoxinas debe ser menor al exigido por la AAMI y la Farmacopea Europea.

Los principales tipos de bacterias presentes en instalaciones de agua hospitalarias son:

- Bacterias Heterotróficas
- Pseudomonas Aeruginosas

Los métodos más usados para determinar los niveles de concentración de la contaminación bacteriana en el agua son:

- Triptyc Soy Agar.
- Reasoner's 2A Media
- Blood Agar

La AAMI recomienda el uso de la técnica de Triptyc Soy Agar. Los niveles permitidos de bacterias para el agua purificada de uso final son:

Bacterias < 100 U.F.C./ml (Farmacopea Europea)

El método comúnmente empleado para la detección de endotoxinas en el agua es la prueba de LAL (Lisado de Amebocitos del Limulus). Los niveles permitidos de Endotoxinas en el agua purificada de uso final son:

Endotoxinas < 0.25 UI/ml (Farmacopea Europea)

7.1.1 Prueba Fisicoquímica

Se realizan al agua dura, al agua ablandada, al agua de la primera etapa de ósmosis, al agua a la salida del carbón activado, al agua de la segunda etapa de ósmosis y al agua purificada que se envía para el uso final.

Agua Dura:

Se debe vigilar el contenido de sólidos en suspensión y de agentes químicos peligrosos o deteriorantes del sistema como alto contenido de cloro.

SDI (Agua potable) = 10 (promedio)

Cl < 1 ppm

Agua Ablandada:

No deben presentar sólidos en suspensión. Se debe vigilar la dureza del agua.

SDI < 5 (Silt Density Index)

Dureza < 10 ppm de CaCO₃

Agua de la Primera Etapa de Osmosis:

Se supervisará el pH del agua de alimentación a las membranas y la conductividad del permeado del equipo de ósmosis de 1° Paso.

Rango pH: 5 – 6.5

Conductividad: 25 μ S o menos.

Agua a la Salida del Carbón Activado:

Se vigilará que las trazas de cloro y de cloraminas no superen los niveles permitidos.

Cloraminas < 0.1 ppm

Cloro < 0.1 ppm.

Agua de la Segunda Etapa de Osmosis:

Se supervisará el nivel de pH y la conductividad del permeado de la unidad de ósmosis inversa de 2° Paso.

Rango de pH: 6.8 – 7

Conductividad: 4 μ S o menos.

Agua Purificada de Uso Final:

A la salida de la cisterna de recirculación y después de las lámparas UV y filtros submicrónicos, el agua debe cumplir con las normas internacionales de la AAMI y la Farmacopea Europea, relacionadas al agua purificada para usos de hemodiálisis (tabla 3.1 y tabla 3.2).

7.2 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad de las instalaciones será desarrollado mediante una inspección que incluirá lo siguiente:

- Se debe asegurar que las sustancias empleadas en la regeneración de los equipos de purificación no contribuyan en añadir contaminación al sistema, por tanto se les debe escoger de la mayor pureza posible.
- La búsqueda de fallas. El sistema de purificación de agua no debe estar expuesto al contacto con impurezas externas, ni poseer componentes contaminantes.
- Las operaciones programadas de mantenimiento se deben ejecutar siguiendo normas de bioseguridad.
- Comprobación de los sistemas eléctricos y electrónicos de los equipos de la planta de purificación de agua: filtro de arena, ablandadores, equipos de ósmosis, carbón activado, tableros de control, lámparas UV, bombas, etc.
- La operación de los equipos manual y/o automática debe ser conforme al diseño y especificaciones técnicas respectivas.

CAPITULO VIII

8.0 GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE PURIFICACIÓN Y DEL AGUA PURIFICADA

Una vez que la planta de purificación ha sido instalada y su desempeño validado, se debe asegurar que el agua purificada continúe de acuerdo a los estándares internacionales de calidad (AAMI, Farmacopea europea).

Los sistemas de purificación de agua que sean descuidados se deteriorarán con el paso del tiempo. Diferentes factores pueden combinarse para ello, por ejemplo la calidad del agua de alimentación puede variar, los componentes con capacidad finita pueden agotarse y las bacterias pueden contaminar el sistema de distribución de agua purificada. Estos sucesos pueden conducir a desastrosas fallas del sistema, que resultarán en lesiones a los pacientes o costosas reparaciones. La medida correcta para salvaguardarse contra estas fallas es la gestión de un adecuado programa de control de calidad. Este programa de control de calidad consiste básicamente de la gestión de supervisión y mantenimiento.

La supervisión permite detectar cambios en el desempeño del sistema de purificación de agua antes de que aquellos afecten en forma adversa la calidad del agua producida.

El mantenimiento permite prevenir el deterioro de la operatividad del sistema de purificación de agua y además trata con eventos inesperados cuando ellos acontecen.

Se recomienda el desarrollo de documentos y procedimientos escritos para todas las funciones de supervisión y mantenimiento, y una clara definición de la línea de responsabilidad para realizar dichos procedimientos.

Los resultados de la supervisión y el mantenimiento realizados deberán ser anotados en libros de registro. De este manera se contará con un historial del desempeño del sistema de purificación que podrán servir de base para evaluar desviaciones en su funcionamiento.

La gestión de control de calidad debe ser desarrollada diariamente y el personal técnico responsable debe estar capacitado y tener la autoridad para actuar en forma inmediata y eficaz en caso de que los parámetros supervisados excedan los límites prefijados.

8.1 SUPERVISIÓN

La supervisión nos brindará información valiosa de la calidad del producto y del agua de alimentación, asimismo del desempeño particular de cada uno de los equipos y componentes de la planta de purificación de agua. La calidad del agua producida debe ser supervisada para asegurar que ésta cumpla con los estándares internacionales de calidad de agua para usos de hemodiálisis (AAMI, Farmacopea europea). La calidad del agua que alimenta a la planta de purificación debe ser supervisada para asegurar que no será más contaminante de lo que se asumió en el diseño del sistema.

La supervisión puede ser dividida en dos categorías:

- **Mediciones en Línea:**

De parámetros físicos tales como flujo, presión, temperatura y conductividad, los tres primeros pueden ser medidos con medidores estándar y sus valores registrados manualmente. La conductividad es un conveniente indicador “en línea” de la concentración total de contaminantes iónicos en el agua, todos los medidores de conductividad deben ser compensados por temperatura.

- **Mediciones Fuera de Línea:**

Los niveles de contaminantes biológicos y químicos son determinados con muestras de agua tomadas en distintos puntos de la planta de

purificación de agua y su sistema de distribución todos los puntos de muestreo deben proporcionar acceso directo al flujo que va ser analizado, no deben tomarse muestras en áreas de estancamiento.

El sistema de purificación de agua debe estar en funcionamiento continuo por lo menos durante 30 minutos antes de que se obtengan las muestras, para asegurar que los resultados de las mismas proporcionen el verdadero estado de la operación del sistema.

Se debe permitir que el agua fluya por el punto de muestra por lo menos 30 segundos antes de que se recolecten muestras para pruebas microbiológicas.

El desempeño de los equipos debe ser supervisado para poder determinar el momento en que se requiere reemplazar los componentes exhaustos ó cuándo se necesita el mantenimiento del equipo permanente.

También la supervisión diaria del desempeño de cada uno de los componentes del sistema nos proporciona la seguridad de que la calidad del agua producida está siendo mantenida. Esto implica la incorporación de medidores de temperatura del agua, además medidores de presión deben ser instalados antes y después de cada componente del sistema de purificación para supervisar el buen estado y su correcto funcionamiento que podría ser afectado por desechos, bacterias o su propia antigüedad.

La calidad química del agua es supervisada mediante la determinación de los niveles de contaminantes en muestras de agua. Los ensayos para cada contaminante químico deben tener un nivel de detección mínimo por debajo del máximo nivel permitido para dicho contaminante. La mayoría de los contaminantes químicos pueden ser analizados en laboratorios especializados mucho después de haber sido obtenida la muestra, teniendo cuidado con que el contenedor de la muestra esté limpio y no adicione contaminación a la muestra

Las cloraminas deben ser supervisadas diariamente y el análisis debe hacerse en el sitio, en forma inmediata al obtener la muestra, porque la concentración de cloraminas decrece con el tiempo. Las cloraminas son determinadas como la diferencia entre el cloro total y el cloro libre usando un DPD (N,N-diethyl-o-phenylenediamine) test kit.

La frecuencia de pruebas para contaminantes bacterianos debe ser tal que los incrementos de niveles de bacteria son detectados antes de que ellos excedan los límites permitidos (100 UFC/ml, Farmacopea Europea). Después de la instalación del sistema de purificación de agua o cuando se manifiesten problemas, se debe obtener muestras interdiarias. A mediada que se presenten niveles bajos estables de bacterias, la frecuencia de las muestras puede ser reducida a un mínimo de una vez por mes.

Las muestras para pruebas bacterianas deben ser tomadas previamente a la desinfección del sistema. Además deben ser colectadas en contenedores estériles libres de pirógenos y procesadas dentro de los 30 minutos siguientes, ó almacenadas en hielo a menos de 5 °C y procesadas en 24 horas.

Los cultivos de bacterias deben usar un medio capaz de detectar bacterias que proliferan en un ambiente de nutrientes pobres. Se recomienda la técnica del “plato” usando Tryptic Soy Agar, como medio de cultivo, e incubación a 37 °C por 48 horas.

8.2 MANTENIMIENTO

El mantenimiento de la planta de purificación de agua incluye el reemplazo de los componentes exhaustos y las medidas preventivas diseñadas para mantener el buen desempeño del sistema.

Los lechos de los ablandadores tienen una capacidad finita y deben ser regenerados. Los ablandadores son comúnmente regenerados usando un ciclo automatizado fuera de las horas normales de operación de las instalaciones, durante las noches. Se recomienda el empleo de sal de la mejor calidad posible para no agregar mayor contaminación al sistema. En el caso de diseño de la planta de purificación de agua la regeneración se debe llevar a cabo normalmente cada dos días. Normalmente a la salida del ablandador la dureza

no debe superar los 10 ppm de CaCO_3 . Valores por encima de este nivel exigirán una evaluación del ablandador por pérdida de resina, ensuciamiento de la resina por hierro, inadecuado ciclo de regeneración o inadecuada capacidad debido a un incremento del flujo de agua de alimentación.

Los lechos de carbón activado también tienen una capacidad finita pero no pueden ser regenerados con facilidad y se recomienda su reemplazo por lechos conteniendo nuevo carbón. Generalmente se recomienda el cambio de lechos de carbón activado una vez por año. El incremento de la caída de presión a flujo constante a través del filtro de carbón activado indica ensuciamiento, debido a que partículas suspendidas quedan atrapadas en el lecho, incrementando la resistencia al paso del flujo y disminuyendo la presión del flujo de ingreso al siguiente elemento del sistema de purificación. La disminución de la caída de presión indica canalización, esto ocurre cuando se forman pasajes en el lecho de carbón activado, a través de los cuáles, pasa el flujo de agua, disminuyendo el contacto entre el agua y las partículas de carbono y reduciendo la capacidad del lecho de remover contaminantes. En caso de detectarse dichas condiciones se debe realizar un retrolavado en forma inmediata. El retrolavado ayuda a prolongar la vida del lecho de carbón activado.

Los filtros multimedia son regenerados mediante un ciclo automatizado de retrolavado.

Los filtros de cartucho deben ser limpiados o reemplazados una vez que la caída de presión sobrepasa los niveles indicados por los fabricantes.

Las unidades de ósmosis inversa requieren de un mantenimiento constante para mantener un buen desempeño. El decrecimiento del porcentaje de recuperación o el porcentaje de rechazo y el aumento de la caída de presión a través de las membranas en porcentajes mayores a 10% podrían indicar ensuciamiento de las membranas. En caso esta medida fracase, para restablecer el desempeño normal de los equipos de ósmosis inversa, las membranas de ósmosis inversa podrían requerir ser reemplazadas.

La vida de las membranas de ósmosis inversa puede ser prolongada gracias al pretratamiento del agua de alimentación, en el caso de diseño el ablandador ayudará a **minimizar** las incrustaciones de calcio y magnesio. Además la remoción de cloro por el equipo de carbón activado protegerá de la degradación a las membranas de TFC del equipo de ósmosis de 2º paso.

Los agentes que se emplean para la limpieza dependen del material de las membranas. El fabricante de las membranas debe proporcionar procedimientos específicos para la limpieza y mantenimiento de las membranas.

Los equipos de radiación UV, cuando son usados en forma continua, requieren reemplazo de lámparas una vez por año. Si se usan los esterilizadores intermitentemente, deben reemplazarse las lámparas cada 18 a 24 meses o 7500

horas. Las mangas de cuarzo tienen una vida estimada de 25 años. Ellas deben limpiarse una vez por año cuando se usan en sistemas de agua de alta pureza.

La desinfección regular previene la presencia de bacterias, en límites superiores a las normas de calidad, en el agua purificada. Pero ante la sospecha de presencia de una contaminación bacteriana del sistema, se procederá a la inmediata desinfección de las unidades de ósmosis inversa y del sistema de distribución.

La limpieza y desinfección del sistema de tratamiento y distribución de agua, se realizará con las especificaciones de cada fabricante, que deberá estar de acuerdo con la resistencia a la corrosión de los materiales empleados en la construcción del sistema.

Los fines de la limpieza son:

1. Desinfección bacteriana, incluidas esporas, hongos y virus.
2. Desincrustación o descalcificación.
3. Limpieza o eliminación de los depósitos de proteínas, lípidos y otros productos orgánicos, mediante acción detergente.

En la eliminación de biofilm bacterianos, la limpieza y desincrustación son más importantes que la acción bactericida.

El hipoclorito de sodio (lejía) es en concentraciones adecuadas, buen bactericida y detergente, es el desinfectante que mejor puede eliminar el biofilm bacteriano. El ácido peracético es fundamentalmente bactericida y también desincrustante. El ácido cítrico es el mejor desincrustante.

Entre las distintas sustancias desinfectantes existen incompatibilidades que impiden que puedan usarse conjuntamente. Ello se puede lograr sólo en forma secuencial y luego de los convenientes aclarados. Todas estas sustancias son tóxicas y deben manejarse con las debidas precauciones (ropa, guantes, máscara, etc.)

Una preparación comercial de ácido peracético es un agente limpiador y desinfectante muy efectivo para sistemas de distribución. Es típicamente usada en 400 ppm de concentración junto con un catalizador de peróxido de hidrogeno con una concentración de 2000 ppm. Esta dilución tan reducida resulta en mayor seguridad de manejo, costos reducidos y facilidad de almacenamiento.

El ácido peracético ha sido encontrado efectivo para remover biofilms de tuberías, además sus vapores son biocidas, lo que ayuda a la desinfección de los tanques de almacenamiento. El ácido peracético es compatible con las membranas de acetato de celulosa y TFC de los equipos de ósmosis inversa.

El ácido peracético puede ser rápida y efectivamente aclarado del sistema de tuberías, lo cual puede ser supervisado mediante la conductividad del agua. En caso de usar esta sustancia desinfectante se debe verificar que no se empleen O-rings de Buna-N en el sistema sino, de Viton o EPDM.

La desinfección del sistema de tratamiento de agua implica los siguientes aspectos:

1. Se debe hacer periódicamente de forma mensual, antes de detectar un nivel de contaminación elevado.
2. Es necesario que la solución desinfectante alcance todos los puntos del sistema, durante el tiempo especificado por el fabricante, siendo preferible que el contacto se realice en una situación dinámica, con el desinfectante circulando. Posteriormente se realizará un lavado riguroso y se comprobará en diversos puntos, en especial en las tomas de las máquinas de diálisis, en el lazo de distribución, que el desinfectante ha sido completamente enjuagado, para lo cual se emplearán detectores adecuados.

TABLA N° 8.1
SUSTANCIAS USADAS EN DESINFECCIÓN DE SISTEMAS DE
PURIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Sustancia	Desinfección			Desincrustante	Detergente
	Bactericida	Esporicida	Fungicida		
Acido acético	+	+	+	++	-
Acido peracético	+++	++	++	++	-
Acido cítrico	-	-	+	+++	-
Lejía	+++	++	+/-	-	+++
Formol	+++	+++	++	-	-
Instrunet	+++	++	++	+	+
Dialox	+++	++	++	++	+
Calor 90 °C	+	+/-	+	-	-

CAPITULO IX

9.0 EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

El presente capítulo tiene por finalidad, en primer lugar, realizar un análisis de los costos que implicaría la realización del proyecto de diseño de nuestra planta de purificación de agua para usos de hemodiálisis. Dichos costos comprenden:

- Costos de Inversión.
- Costos de Operación.
- Costos de Gestión de Control de Calidad.

Luego de los cálculos de los costos anteriores, se procederá a realizar la evaluación económica de la planta de purificación de agua dentro de un proyecto integral de una clínica de hemodiálisis.

9.1 COSTOS DE INVERSIÓN DE LA PLANTA DE PURIFICACION

Estos costos incluyen los costos de los equipos de purificación, de las cisternas de almacenamiento, de los equipos de bombeo, de las tuberías, accesorios y otros.

TABLA 9.1
COSTOS DE INVERSIÓN DE LA PLANTA DE PURIFICACIÓN

	Especificaciones	Cantidad	Costo Unitario (US \$)	Costo Total (US \$)
Item 1				
Cisterna de Agua Dura	82 m ³	01	226	226
Bomba de Agua Dura	Tonkaflo SS1806	02	1 200	2 400
Filtro Multimedia	10.8 pie ³	01	2 066	2 066
Ablandador y tanque de salmuera	4 pie ³	02	1 234	2 468
Tubería de PVC y accesorios	Cédula 80	25 m		100
Subtotal				8 494
Item 2				
Equipo Osmosis 1° paso (Incluye bomba de alta presión)	10.9 gpm	01	21 000	21 000
Equipo de Bombeo pre-carbón activado	Tonkaflo SS 1804	01	1 104	1 104
Carbón Activado	15 pie ³	01	3 435	3 435
Tubería de PVC y accesorios	Cédula 80	7.5 m		40
Subtotal				25 579

Item 3				
Equipo Osmosis 2° Paso (Incluye bomba de alta presión)	8.2 gpm	01	18 847	18 847
Equipo de Luz UV	12 gpm	01	714	714
Tubería de PVC y accesorios	Cédula 80	5 m		15
Subtotal				19 576
Item 4				
Cisterna de Almac. Y Recirc.	Acero Inox 316 s = 1/16" 2 m ³	01		1 800
Equipo de bombeo	Tonkaflo SS 1806	02	1 200	2 400
Microfiltro 0.45 micra		03	185	555
Microfiltro 0.2 micra		03	195	585
Equipo de Luz UV	12 gpm	01	1 428	1 428
Tubería de PVC y accesorios	90 m			460
Subtotal				7 228
TOTAL				60 877

9.2 COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE PURIFICACIÓN

Los costos de operación incluyen los costos que ocasionan las compras de insumos y materiales necesarios para que la planta de purificación sostenga su estado operativo.

Costos de Energía Eléctrica:

Los costos de energía eléctrica se deberán principalmente al consumo eléctrico de los equipos de bombeo de la planta de purificación de agua y su sistema de distribución.

TABLA N° 9.2
EQUIPOS DE BOMBEO

Equipo	Serie	Caudal	Potencia motor
Bomba Agua Dura	Tonkaflo SS 1806	13 gpm	1 HP
Bomba de Alta Presión Osmosis 1° Paso	Tonkaflo AS 1645	15.6 gpm	7.5 HP
Bomba de Carbón activado	Tonkaflo SS 1804	10.9 gpm	0.75 HP
Bomba de Alta Presión de Osmosis 2° Paso	Tonkaflo SS 1817	10.9 gpm	3 HP
Bomba Recirculación Sistema de distrib.	Tonkaflo SS 1806	16.3 gpm	1 HP

- **Costo de Operación de Bomba de Agua Dura:**

$$t = V / Q$$

Donde:

V: Volumen de agua dura requerido por día (gal)

Q: Caudal de la bomba de agua dura (gpm)

t: Tiempo de operación acumulado por día (min)

Tenemos:

$$V = 7200 \text{ gal}$$

$$Q = 13 \text{ gpm}$$

Luego:

$$t = 7200 \text{ gal} / 13 \text{ gpm}$$

$$t = 553.85 \text{ min}$$

$$t = 9.2 \text{ horas}$$

Luego:

$$E = (P) \times (t)$$

Donde:

E: Energía consumida por día (kW – hr)

P: Potencia del motor (kW)

t: tiempo de operación por día (hr)

Tenemos:

$$P = 1 \text{ HP} = 0.746 \text{ kW}$$

$$t = 9.2 \text{ hr}$$

$$E = (0.746 \text{ kW}) \times (9.2 \text{ hr})$$

$$E = 6.86 \text{ kW – hr}$$

Considerando:

e: costo industrial de la energía eléctrica

$$e = 0.04 \text{ \$/kW-hr}$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17\,340 \text{ L/día}$$

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

c_1 : costo de operación de bomba de agua dura para producir 1 m^3 de agua purificada ($\$/m^3 \text{ H}_2\text{O}$)

Entonces:

$$c_1 = \frac{(E) \times (e)}{P_d}$$

$$c_1 = \frac{(6.86) \times (0.04)}{17.34}$$

$$c_1 = 0.016 \text{ \$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

- **Costo de Operación de Bomba de Alta Presión de Osm. 1° Paso:**

$$t = V / Q$$

Donde:

V: Volumen de agua procesado por Equipo Osm. Inv. 1° paso, por día (gal)

Q: Caudal de la bomba de alta presión (gpm)

t: Tiempo de operación acumulado por día (min)

Tenemos:

$$V = 8\,726.5 \text{ gal}$$

$$Q = 15.6 \text{ gpm}$$

Luego:

$$t = 8726.5 \text{ gal} / 15.6 \text{ gpm}$$

$$t = 559 \text{ min}$$

$$t = 9.2 \text{ horas}$$

Luego:

$$E = (P) \times (t)$$

Donde:

E: Energía consumida por día (kW – hr)

P: Potencia del motor (kW)

t: tiempo de operación por día (hr)

Tenemos:

$$P = 7.5 \text{ HP} = 5.595 \text{ kW}$$

$$t = 9.2 \text{ hr}$$

$$E = (5.595 \text{ kW}) \times (9.2 \text{ hr})$$

$$E = 51.474 \text{ kW – hr}$$

Considerando:

e: costo industrial de la energía eléctrica

$$e = 0.04 \text{ \$/kW-hr}$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17\,340 \text{ L/día}$$

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

c_2 : costo de operación de bomba de alta presión Osm. Inv. 1° paso para producir 1 m³ de agua purificada (\$/m³ H₂O)

Entonces:

$$c_2 = \frac{(E) \times (e)}{P_d}$$

$$c_2 = \frac{(51.474) \times (0.04)}{17.34}$$

$$c_2 = 0.119 \text{ \$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Costo de Operación de Bomba de Carbón Activado:

$$t = V / Q$$

Donde:

V: Volumen de agua procesado por Equipo Carbón Activado por día (gal)

Q: Caudal de la bomba de Carbón Activado (gpm)

t: Tiempo de operación acumulado por día (min)

Tenemos:

$$V = 6108.5 \text{ gal}$$

$$Q = 10.9 \text{ gpm}$$

Luego:

$$t = 6108.5 \text{ gal} / 10.9 \text{ gpm}$$

$$t = 9.2 \text{ horas}$$

Luego:

$$E = (P) \times (t)$$

Donde:

E: Energía consumida por día (kW – hr)

P: Potencia del motor (kW)

t: tiempo de operación por día (hr)

Tenemos:

$$P = 0.75 \text{ HP} = 0.559 \text{ kW}$$

$$t = 9.2 \text{ hr}$$

$$E = (0.559 \text{ kW}) \times (9.2 \text{ hr})$$

$$E = 5.143 \text{ kW – hr}$$

Considerando:

e: costo industrial de la energía eléctrica

$$e = 0.04 \text{ \$/kW-hr}$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17\,340 \text{ L/día}$$

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

c_3 : costo de operación de bomba de carbón activado para producir 1 m^3 de agua purificada ($\text{\$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$)

$$c_3 = \frac{(E) \times (e)}{P_d}$$

$$c_3 = \frac{(5.143) \times (0.04)}{17.34}$$

$$c_3 = 0.012 \text{ \$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Costo de Operación de Bomba de Alta Presión Osm. de 2° paso:

$$t = V/Q$$

Donde:

V: Volumen de agua procesado por Equipo Osm. Inv. 2° paso, por día (gal)

Q: Caudal de la bomba de alta presión (gpm)

t: Tiempo de operación acumulado por día (min)

Tenemos:

$$V = 6108.5 \text{ gal}$$

$$Q = 10.9 \text{ gpm}$$

Luego:

$$t = 6108.5 \text{ gal} / 10.9 \text{ gpm}$$

$$t = 9.2 \text{ horas}$$

Luego:

$$E = (P) \times (t)$$

Donde:

E: Energía consumida por día (kW – hr)

P: Potencia del motor (kW)

t: tiempo de operación por día (hr)

Tenemos:

Considerando que la bomba de distribución debe estar operando 16 horas.

Luego:

$$E = (P) \times (t)$$

Donde:

E: Energía consumida por día (kW – hr)

P: Potencia del motor (kW)

t: tiempo de operación por día (hr)

Tenemos:

$$P = 1 \text{ HP} = 0.746 \text{ kW}$$

$$t = 16 \text{ hr}$$

$$E = (0.746 \text{ kW}) \times (16 \text{ hr})$$

$$E = 11.936 \text{ kW – hr}$$

Considerando:

e: costo industrial de la energía eléctrica

$$e = 0.04 \text{ \$/kW-hr}$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17\,340 \text{ L/día}$$

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

c_5 : costo de operación de bomba de distribución para producir 1 m^3 de agua purificada ($\text{\$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$)

Entonces:

$$c_5 = \frac{(E) \times (e)}{P_d}$$

$$c_5 = \frac{(11.936 \times (0.04))}{17.34}$$

$$c_5 = 0.028 \text{ \$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

C_{opl} : costo de operación por consumo de energía eléctrica para producir 1 m³ de agua purificada ($\text{\$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ purificado).

$$C_{opl} = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5$$

$$C_{opl} = 0.016 + 0.119 + 0.12 + 0.0475 + 0.028$$

$$C_{opl} = 0.223 \text{ \$/m}^3 \text{ H}_2\text{O purificado.}$$

Costos por Agua Dura:

Usando referencialmente la tarifa de SEDAPAL:

$$1 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O} = \$ 0.95$$

V: Volumen diario de agua dura requerido por la planta de purificación. (m³)

c: Costo del agua dura ($\text{\$/m}^3$)

C: Costo diario por consumo de agua dura (\$)

$$C = (V) \times (c)$$

Tenemos:

$$V = 7\,200 \text{ gal}$$

$$V = 27.25 \text{ m}^3$$

$$c = 0.95 \text{ \$/m}^3$$

$$C = (27.25 \text{ m}^3) \times (0.95 \text{ \$/m}^3)$$

$$C = 25.89 \text{ \$}$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

C_{op2} : costo de operación de consumo de agua dura para producir 1 m^3 de agua purificada ($\text{\$/m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ purificado)

$$C_{op2} = C / P_d$$

$$C_{op2} = 25.89 \text{ \$} / 17.34 \text{ m}^3$$

$$C_{op2} = 1.493 \text{ \$/m}^3 \text{ H}_2\text{O purificado.}$$

Costos por Regeneración de Ablandador:

Cantidad de sal consumida en cada regeneración diaria: 60 (27.2 kg)

precio de sal (50 kg): s/ 9 ($\text{\$/ 2.6}$)

c: costo (diario)

$$c = (\text{consumo diario}) \times (\text{precio sal})$$

Donde:

Consumo diario = 60 lb (27.2 kg)

Precio sal = 2.6 $\text{\$/ 50 kg}$

Luego:

$$c = (27.2 \text{ kg}) \times (2.6 \text{ \$} / 50 \text{ kg})$$

$$c = 1.41 \text{ \$}$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

C_{op3} : costo de operación por consumo de sal regenerante para producir 1 m^3 de agua purificada ($\$/m^3$ H_2O purificado)

$$C_{op3} = c / P_d$$

$$C_{op3} = 1.41 \text{ \$} / 17.34 \text{ m}^3$$

$$C_{op3} = 0.081 \text{ \$/m}^3 \text{ H}_2\text{O purificado}$$

Costos por Acido Sulfúrico (H_2SO_4):

Consumo mensual de ácido sulfúrico: 10 Litros mensuales

Consumo diario: 0.38 L/día (considerando 26 días por mes)

Precio ácido sulfúrico: 7 $\$/L$

C: costo diario de ácido sulfúrico ($\$$)

$$C = (\text{Consumo diario}) \times (\text{Precio})$$

$$C = (0.38 \text{ L/día}) \times (7 \text{ \$/L})$$

$$C = 2.66 \text{ \$}$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

C_{op4} : costo de operación por consumo de ácido sulfúrico para producir 1 m^3 de agua purificada ($\$/m^3$ H_2O purificado)

$$C_{op4} = C / P_d$$

$$C_{op4} = 2.66 \$ / 17.34 \text{ m}^3$$

$$C_{op4} = 0.153 \$/\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O purificado}$$

Costos por Soda Cáustica (NaOH):

Consumo mensual de soda cáustica: 2 Litros mensuales

Consumo diario: 0.08 L/día (considerando 26 días por mes)

Precio de soda cáustica: 0.77 \$/L

C: costo diario de soda cáustica (\$)

$$C = (\text{Consumo diario}) \times (\text{Precio})$$

$$C = (0.08 \text{ L/día}) \times (0.77 \$/\text{L})$$

$$C = 0.062 \$$$

Luego:

P_d : Producción de agua purificada por día (m^3)

$$P_d = 17.34 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Luego:

C_{op5} : costo de operación por consumo de soda cáustica para producir 1 m^3 de agua purificada ($\$/\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O purificado}$)

$$C_{op5} = C / P_d$$

$$C_{op5} = 0.062 \$ / 17.34 \text{ m}^3$$

$$C_{op5} = 0.0036 \$/\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O purificado}$$

Luego:

C_{op} : costos de operación totales para producir 1 m^3 de agua purificada

$$C_{op} = C_{op1} + C_{op2} + C_{op3} + C_{op4} + C_{op5}$$

$$C_{op} = 0.223 + 1.493 + 0.081 + 0.153 + 0.0036$$

C_{op} 1.95 \$/m³ agua purificada

9.3 COSTOS POR GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE PURIFICACIÓN

La estimación de los costos por gestión del control de calidad que comprenden los costos por mantenimiento y supervisión, se realizará para períodos de un año.

Costos por Mantenimiento:

- **Reemplazo de filtros de sedimentos de unidades de ósmosis inversa:**

Número de filtros de sedimentos por unidad de ósmosis: 3

Número de unidades de ósmosis inversa: 2

Precio de un (01) filtro de sedimentos 5 micras: \$ 10

El reemplazo de los filtros de sedimentos se hace mensualmente o cuando la caída de presión supera los límites recomendados por el fabricante.

Luego:

C_{ml} : Costo anual de mantenimiento por filtros (\$)

$$C_{ml} = (\text{Precio de filtro}) \times (\text{Número total de filtros}) \times (12)$$

$$C_{ml} \quad (10 \$) \times (6) \times (12)$$

$$C_{ml} \quad 720 \$/\text{año}$$

- **Reemplazo de carbón activado**

El reemplazo del carbón activado se hace anualmente.

v: volumen de equipo de carbón activado (pie³)

c: costo de 1 pie³ de carbón activado

Tenemos:

$$c = 75 \text{ \$ / pie}^3$$

$$v = 15 \text{ pie}^3$$

Luego:

C_{m2} : costo anual de mantenimiento por reemplazo de carbón activado (\$)

$$C_{m2} = (c) \times (v)$$

$$C_{m2} = (75 \text{ \$/pie}^3) \times (15 \text{ pie}^3)$$

$$C_{m2} = 1125 \text{ \$/año}$$

- **Reemplazo de microfiltros de 0.45 micras de sistema de distribución**

El reemplazo de los microfiltros se hace mensualmente o cuando la caída de presión supera los límites recomendados por el fabricante.

Número de microfiltros de 0.45 micras: 3

Precio de microfiltros de 0.45 micras: \$ 185

C_{m3} : costo anual de mantenimiento por reemplazo de microfiltros (\$)

$$C_{m3} = (\text{Número de microfiltros}) \times (\text{Precio}) \times (12)$$

$$C_{m3} = (3) \times (185 \text{ \$}) \times (12)$$

$$C_{m3} = 6660 \text{ \$/año}$$

- **Reemplazo de microfiltros de 0.2 micras de sistema de distribución**

El reemplazo de los microfiltros se hace mensualmente o cuando la caída de presión supera los límites recomendados por el fabricante.

Número de microfiltros de 0.2 micras: 3

Precio de microfiltros de 0.2 micras: \$ 195

C_{m4} : costo anual de mantenimiento por reemplazo de microfiltros (\$)

$$C_{m4} = (\text{Número de microfiltros}) \times (\text{Precio}) \times (12)$$

$$C_{m4} = (3) \times (195 \$) \times (12)$$

$$C_{m4} = 7\,020 \text{ \$/año}$$

- **Reemplazo de lámparas ultravioleta**

El reemplazo de lámparas ultravioleta se hace cada 2 años.

Número de lámparas en equipo UV-12: 1

Número de lámparas en equipo UV-24: 2

Precio de una (01) lámpara UV: \$ 75

Luego:

C_{m5} : costo anual de mantenimiento por reemplazo de lámparas UV (\$)

$$C_{m5} = \frac{(\text{Número de lámparas}) \times (\text{Precio})}{2}$$

$$C_{m5} = \frac{(3) \times (75 \$)}{2}$$

$$C_{m5} = 112.5 \text{ \$/año}$$

- **Desincrustación y Limpieza de membranas Osm. Inv.**

Número de membranas instaladas en equipo de ósmosis de 1º paso: 5

Número de membranas instaladas en equipo de ósmosis 2º paso: 3

Número de total de membranas instaladas en la planta: 8

Para desincrustación de membranas cada 6 meses:

Proporción de desincrustante por membrana: 1/3 lb/membrana

Consumo del desincrustante:

(Proporción de desincrustante) x (Número total de membranas)

(1/3 lb/membrana) x (8 membranas) = 2.7 lb

Precio del producto desincrustante (Filtrapure): 11.4 \$/lb

Luego:

C_{m6} : costo anual de mantenimiento por uso de producto desincrustante
(\$)

$$C_{m6} = (\text{consumo del desincrustante}) \times (\text{precio}) \times (2)$$

$$C_{m6} = (2.7 \text{ lb}) \times (11.4 \text{ $/lb}) \times (2)$$

$$C_{m6} = 61.6 \text{ $/año}$$

Para limpieza de ensuciamiento biológico y coloidal de membranas cada 6 meses:

Proporción de limpiador por membrana: 1/3 lb/membrana

Consumo de limpiador de ensuciamiento biológico y coloidal:

(Proporción de desincrustante) x (Número de total de membranas)

(1/3 lb/membrana) x (8 membranas) = 2.7 lb

Precio del producto limpiador (Filtrapure): 11.4 \$/lb

Luego:

$C_{m6''}$: costo anual de mantenimiento por uso de producto limpiador (\$)

$$C_{m6''} = (\text{consumo del limpiador}) \times (\text{precio}) \times (2)$$

$$C_{m6''} = (2.7 \text{ lb}) \times (11.4 \text{ \$/lb}) \times (2)$$

$$C_{m6''} = 61.6 \text{ \$/año}$$

Luego:

C_{m6} : Costo de operación anual por desincrustación y limpieza de membranas de ósmosis inversa instaladas en la planta (\$).

$$C_{m6} = C_{m6'} + C_{m6''}$$

$$C_{m6} = 61.6 \text{ \$/año} + 61.6 \text{ \$/año}$$

$$C_{m6} = 123.2 \text{ \$/año}$$

- **Desinfección de tuberías de sistema de distribución.**

Precio de ácido peracético: 58 \$/gal

Consumo del ácido peracético: 1 gal/mes

Luego:

C_{m7} : Costo anual de mantenimiento por desinfección del sistema de tuberías de distribución de agua purificada (\$)

$$C_{m7} = (\text{Consumo de ácido peracético}) \times (\text{precio}) \times (12 \text{ meses})$$

$$C_{m7} = (1 \text{ gal/mes}) \times (58 \text{ \$/gal}) \times (12 \text{ mes})$$

$$C_{m7} = 696 \text{ \$/año}$$

Luego:

C_m : Costo anual de mantenimiento de la planta de purificación de agua (\$)

$$C_m = C_{m1} + C_{m2} + C_{m3} + C_{m4} + C_{m5} + C_{m6} + C_{m7}$$

$$C_m = 720 + 1125 + 6660 + 7020 + 112.5 + 123.2 + 696$$

$$C_m = 16\,456.7 \text{ \$/año}$$

Costos por Supervisión:

- **Costo anual por personal:**

Costo horario de operario técnico: 1.25 \\$/hora (10 \\$/día)

Horas diarias de trabajo: 1 hora

c_p : costo de personal por supervisión diario

$$c_p = (\text{Costo de operario técnico}) \times (\text{horas diarias de trabajo})$$

$$c_p = (1.25) \times (1)$$

$$c_p = 1.25 \text{ \$/día}$$

anual (considerando 312 días por año):

$$C_p = (1.25 \text{ \$/día}) \times (312 \text{ días})$$

$$C_p = 390 \text{ \$/año}$$

- **Costo anual por controles de calidad:**

C_c : costo anual por controles de la calidad del agua (\$)

Tomamos:

$$C_c = 5\% C_m$$

$$C_c = (0.05) \times (15\,865.5 \text{ \$/año})$$

$$C_c = 793 \text{ \$/año}$$

Luego:

C_s : Costo anual por supervisión de la calidad del agua en la planta de purificación (\$)

$$C_s = C_p + C_c$$

$$C_s = 390 + 793$$

$$C_s = 1\,183 \text{ \$/año}$$

Luego:

C_{GCC} : costo anual por gestión de control de calidad (\$)

$$C_{GCC} = C_m + C_s$$

$$C_{GCC} = 16\,456.7 + 1\,183$$

$$C_{GCC} = 17\,639.7 \text{ \$/año}$$

9.4 CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO DENTRO DE UN PROYECTO INTEGRAL DE CLÍNICA DE HEMODIÁLISIS

Estimación de los Ingresos Anuales:

Tarifa por tratamiento de diálisis: s/125

Número de tratamiento de diálisis: 18

Número de turnos: 3

Número de días por mes: 26

Número de meses por año: 12

Luego:

$$I = (125) \times (18) \times (3) \times (26) \times (12)$$

$$I = 2\,106\,000 \text{ s/año}$$

$$I = 601\,714 \text{ \$/año}$$

Donde:

I: Ingreso total por servicio de tratamientos de diálisis por año.

Estimación de la Inversión Total:

TABLA N° 9.3
COSTOS DE INVERSIÓN

Item	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Local	300 m ²	167 \$/m ²	50 000
Máquinas de Hemodiálisis (Usadas Repotenciadas).	21	5 000	105 000
Instalaciones de planta de Purificación y Sistema de Distribución Agua Purificada			60 877
Habilitaciones y Modificaciones para adecuamiento del local			10 000
Equipos de oficina, mobiliario, etc.			15 000
Subtotal			240 877
Otros		5% (Subtotal)	12 043
Total			252 920

Estimación de los Costos Anuales:

TABLA N° 9.4
COSTOS ANUALES

Item	Cantidad	Costo Anual Unitario (\$)	Costo Anual Total (\$)
PERSONAL:			
Personal Médico	2	5 349	10 698
Personal de Enfermería	6	4 011	24 066
Personal técnico de Enfermería	12	2 229	26 748
Otros técnicos	12	2 229	26 748
Personal Administrativo	6		27 771
SUBTOTAL			116 031
INSUMOS DE DIALISIS:			
Filtros	648	26	16 848
Líneas Venosas y Arteriales	648	8	5 184
Soluciones Concentradas de Diálisis	42 120 gal	3	126 360
Soluciones Desinfectantes	500 gal	3	1 500
Agujas, jeringas, alcohol y otros			24 000
SUBTOTAL			173 892
AGUA PURIFICADA			
Costos de Operación de la Planta de Purificación	5 410 m ³	1.95	10 549.5
Costos de Gestión de Control de Calidad			17 639.7
SUBTOTAL			28 189.2

MANTENIMIENTO:			
Repuestos de máquinas de hemodiálisis.	21	40% Costo de máquinas	42 000
Mantenimiento de Instalaciones Generales		5% Costo del Inmueble	2 500
SUBTOTAL			44 500
SERVICIOS			
Agua Potable			3 450
Electricidad			6 900
Teléfono			1 800
Otros		1% del costo del Inmueble	500
SUBTOTAL			12 650
TOTAL			375 262.2

Cálculo de los Beneficios Anuales:

$$B = I - C$$

Donde:

B: Beneficios Anuales (\$)

I: Ingresos Anuales (\$)

C: Costos Anuales (\$)

Luego:

$$B = 601\,714 \text{ \$/año} - 375\,262.2 \text{ \$/año}$$

$$B = 226\,451.8 \text{ \$/año}$$

Considerando IGV 18%

$$\text{IGV} = (0.18) \times (226\,451.8 \text{ \$/año})$$

$$\text{IGV} = 40\,761.3 \text{ \$/año}$$

Impuesto a la Renta: IR, 20% (Considerando reinversión de al menos 10% de utilidades)

$$\text{IR} = (0.2) \times (226\,451.8 \text{ \$/año})$$

$$\text{IR} = 45\,290.4 \text{ \$/año}$$

Luego:

$$B = 226\,451.8 - \text{IGV} - \text{IR}$$

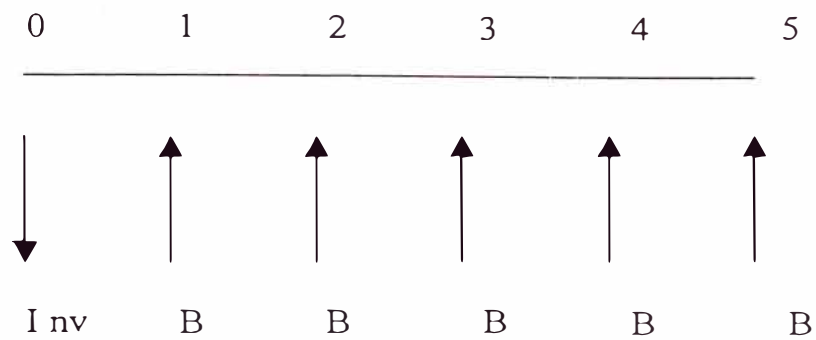
$$B = 140\,400.1 \text{ \$/año}$$

Cálculo del valor Actual Neto (VAN):

Considerando:

Para un período de 5 años.

Tasa de interés: $i = 10\%$ anual.



$$\text{Inv} = 252\,920 \$$$

$$B = 140\,400.1 \$$$

Período	Flujo (\$)	Dividido por	Factor de tabla	Valor del Flujo (\$)
0	(252 920)	$(1 + 0.1)^0$	1	(252 920)
1	140 400.1	$(1 + 0.1)^1$	0.90909	127 636.3
2	140 400.1	$(1 + 0.1)^2$	0.82645	116 033.7
3	140 400.1	$(1 + 0.1)^3$	0.75131	105 484
4	140 400.1	$(1 + 0.1)^4$	0.68301	95 894.7
5	140 400.1	$(1 + 0.1)^5$	0.62092	87 177.2

$$\text{VAN} = 279\,305.9 \$$$

Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR):

TIR es la tasa para la cual $\text{VAN} = 0$

Calculando:

$$\text{TIR} = 0.4758 (47.58\%)$$

Período	Flujo (\$)	Dividido por	Factor de tabla	Valor del Flujo (\$)
0	(252 920)	$(1 + 0.4758)^0$	1	(252 920)
1	140 400.1	$(1 + 0.4758)^1$	0.67760	95 135.1
2	140 400.1	$(1 + 0.4758)^2$	0.45914	64 463.3
3	140 400.1	$(1 + 0.4758)^3$	0.31111	43 679.9
4	140 400.1	$(1 + 0.4758)^4$	0.21081	29 597.7
5	140 400.1	$(1 + 0.4758)^5$	0.14284	20 054.8

$$\text{VAN} = 0$$

Luego:

$\text{TIR} > i$

$\text{VAN} = 279\,305.9 \$$ (5 años, $i = 10\%$)

Proyecto Económicamente Viable.

CONCLUSIONES

1. El diseño de una planta de purificación de agua, para una clínica de hemodiálisis, debe seguir un orden: primero, el conocimiento de las normas internacionales de calidad exigidas para el agua purificada para usos de hemodiálisis; segundo, averiguar la calidad del agua que va ser usada como materia prima; tercero, establecer los requerimientos de agua purificada en la clínica de hemodiálisis y; cuarto, analizar las tecnologías existentes de purificación de agua y seleccionar la configuración de diseño más adecuada. No existe una fórmula única para el diseño de una planta de purificación de agua para usos de hemodiálisis pero, los pasos anteriores deben seguirse rigurosamente en el planteamiento y desarrollo de todo proyecto.
2. Las normas de calidad usadas como referentes para el presente trabajo son las americanas de la AAMI (Association for Advancement of Medical Instrumentation) y las europeas de la Farmacopea Europea. Además de las normas peruanas que emplean como referencia a las dos primeras. Cabe destacar que la normativa europea es la más exigente en lo relacionado a los niveles máximos permitidos de bacterias y de endotoxinas, aspecto en el cual existe una gran preocupación y tendencia mundial creciente por su control.

3. Los contaminantes presentes en el agua son muchos, en el presente trabajo se ha tratado de clasificarlos de acuerdo a sus características comunes, muchos de ellos los ingerimos cotidianamente con el agua que bebemos en concentraciones mucho mayores que las máximas exigidas para usos de hemodiálisis, debido a que nuestro sistema digestivo nos provee de una barrera natural que impide su ingreso a nuestro torrente sanguíneo en concentraciones que nos puedan provocar daño. No es el caso de los pacientes de hemodiálisis cuyo flujo sanguíneo prácticamente entra en contacto con el agua usada en diálisis, en el interior de un filtro que hace las veces de riñón.
4. En la selección de las alternativas del sistema de purificación de agua se pudo haber presentado muchas alternativas pero por razones de simplicidad se seleccionaron tres alternativas entre las tecnologías de purificación que luego de la evaluación tecnológica mostraron ser las más efectivas en remover un mayor rango de contaminantes y en forma económica.
5. El aporte de la Ingeniería Mecánica en el diseño de proyectos de esta naturaleza es fundamental para el correcto diseño, cálculo, dimensionamiento y selección de los equipos y elementos que formarán parte de la planta de purificación de agua, mediante la estricta aplicación de criterios técnicos y económicos.
6. Un aspecto fundamental para el diseño de una planta de purificación de agua y su sistema de distribución es la implementación de un programa de gestión de

control de calidad. Incluso más importante que un correcto diseño desde el punto de vista técnico y económico es el aseguramiento de la calidad del agua purificada que va ser usada en la clínica de hemodiálisis. Dadas las características especiales de funcionamiento de 16 horas diarias o más y durante todos los días del año, además del uso biomédico que exige el cumplimiento estricto de elevadas normas de calidad. Estas consideraciones obligan a garantizar de forma permanente la producción del agua purificada y el mantenimiento dentro de los niveles de contaminantes permitidos por las normas internacionales de calidad de agua purificada para usos de hemodiálisis.

7. Considerando un período de retorno de la inversión de cinco (05) años y una tasa de interés del 10%, se obtiene un VAN de \$ 279 306. Además se obtiene un TIR de 47.6% que es mucho mayor que la tasa de interés del mercado. Por consiguiente el análisis de los costos y la evaluación económica, mediante el empleo de las herramientas financieras VAN y el TIR, han mostrado la rentabilidad del proyecto de diseño de una planta de purificación de agua para una clínica de hemodiálisis en Lima Metropolitana.
8. El presente proyecto de diseño ha sido desarrollado para una clínica de hemodiálisis en Lima Metropolitana, para una capacidad determinada, pero la base teórica y la metodología empleada pueden ser eficazmente empleadas para el desarrollo de proyectos similares, de mayor o menor envergadura, no sólo en Lima sino, también, en otras regiones del país.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux and Water Research Commission of South Africa, 1998. "Tratamiento del Agua por Procesos de Membrana".
2. Up To Date, Ward Richard, 2001. "Contaminants in Water Used for Hemodialysis".
3. Up To Date, Ward Richard, 2001. "Water Purification systems in Hemodialysis".
4. Up To Date, Ward Richard, 2001. "Maintaining Water Quality for Hemodialysis".
5. UOP Fluid Systems, 1989. "Manual Práctico de Ósmosis Inversa".
6. Mendoza G. Eduardo, Villanueva V. Luis "Bombas Hidráulicas".
7. Tonkaflo Pumps. Manuales Técnicos.
8. Shames, I. H. "Mecánica de los Fluidos".
9. Ugarte Palacín F., 1991. "Mecánica de Fluidos II".
10. Seminario. CEPS-UNI, 2001. "Instalaciones Sanitarias y Especiales en Clínicas y Hospitales".
11. Huapaya A., Zavaleta J., Echevarría M., 1986. "Diseño mecánico II".
12. Valderrábano Fernando, 1999. "Tratado de Hemodiálisis".
13. Romero Rojas Jairo Alberto, 1999. "Calidad del Agua".

14. American Fluid Technologies, MERINSA. Documentos Técnicos.
15. AQA Química s.a. “Tratamiento de Aguas y Tratamiento de Membranas de Ósmosis”.
16. Osmonics. “Pure Water Hand Book”.
17. Osmonics. Documentos Técnicos.
18. American society of Nephrology Annual Scientific Meeting, Richard Ward, Octubre del 2000. “The Do’s and Don’ts of Water Treatment”.
19. Fresenius Medical Care. Documentos Técnicos.
20. www.osmonics.com. Gerard J. Gash. “Chloramines”.
21. www.osmonics.com. Osmoncis Inc. “Chlorine”.
22. www.aami.org. Normas y Documentos Técnicos.
23. www.acsmedioambiente.com. Documentos Técnicos.
24. www.millipore.com. Documentos Técnicos.
25. www.harvel.com. Documentos Técnicos.
26. www.usfilter.com Documentos técnicos.
27. Centro Metropolitano de Hemodiálisis - Lima. Normas Técnicas.
28. Sapag Chain Nasir, Sapag Chain Reinaldo, 2000. “Preparación y Evaluación de Proyectos”.

PLANOS Y ANEXOS

ANEXO A

TABLAS DE EQUIPOS DE FILTRACION MULTIMEDIA

GPZMS - 24

Materials of Construction:	Epoxy coated steel pressure vessel with carbon steel or PVC pipe.
Maximum Flow:	30 GPM
Maximum Pressure:	100 PSI
Minimum Flow:	6.0 GPM
Minimum Pressure:	30 PSI
Power Requirements:	115 VAC
	1 ph
	60 Hz
	5 Amps
Side Sheet Vessel :	48 Inches
Tank Diameter:	24 Inches

GPZMS - 20

Materials of Construction:	Epoxy coated steel pressure vessel with carbon steel or PVC pipe.
Maximum Flow:	21 GPM
Maximum Pressure:	100 PSI
Minimum Flow:	4.4 GPM
Minimum Pressure:	30 PSI
Power Requirements:	115 VAC
	1 ph
	60 Hz
	5 Amps
Side Sheet Vessel :	48 Inches
Tank Diameter:	20 Inches

GPZMS - 30

Materials of Construction:	Epoxy coated steel pressure vessel with carbon steel or PVC pipe.
Maximum Flow:	48 GPM
Maximum Pressure:	100 PSI
Minimum Flow:	10 GPM
Minimum Pressure:	30 PSI
Power Requirements:	115 VAC
	1 ph
	60 Hz
	5 Amps
Side Sheet Vessel	48 Inches
Tank Diameter:	30 Inches

GPZMS - 42

Maximum Flow:	94 GPM
Maximum Pressure:	100 PSI
Minimum Flow:	19 GPM
Minimum Pressure:	30 PSI
Power Requirements:	115 VAC
	1 ph
	60 Hz
	5 Amps
Side Sheet Vessel :	60 Inches
Tank Diameter:	42 Inches

GPZMS - 32

Maximum Flow:	69 GPM
Maximum Pressure:	100 PSI
Minimum Flow:	14 GPM
Minimum Pressure:	30 PSI
Power Requirements:	115 VAC
	1 ph
	60 Hz
	5 Amps

Fuente: USFilters.

ANEXO B

MODELOS DE ABLANDADORES (Tanque de fibra de vidrio)

Fuente: ACS MedioAmbiente s.a.

Modelo	Capacidad por unidad	Flujo (gpm) continuo / intermitente	Dimensiones pulgadas	Resina pie ³	Tubería puig.	Tanque salmuera Cap-lb
ES31ATC	30,000	11 16	9x48	1	1	400
ES61ATC	60,000	16(10) 24(20)	12x52	2	1	400
ES91ATC	90,000	21(15) 29(25)	14x65	3	1	400
ES91BTC	90,000	24(9) 36(16)	14x65	3	1.5	400
ES121BTC	120,000	32(11) 48(20)	17x58	4	1.5	450
ES151BTC	150,000	38(15) 52(25)	17x72	5	1.5	450
ES181BTC	180,000	36(15) 56(25)	17x72	6	1.5	1,000
ES211BTC	210,000	45(15) 60(25)	24x71	7	1.5	1,000
ES241BTC	240,000	45(15) 68(25)	24x71	8	1.5	1,000
ES271BTC	270,000	45(15) 60(25)	24x71	9	1.5	1,000
ES301BTC	300,000	45(15) 58(25)	24x71	10	1.5	1,000
ES121CTC	120,000	32(6) 48(10)	17x58	4	2	450
ES151CTC	150,000	40(9) 60(16)	17x72	5	2	450
ES181CTC	180,000	48(14) 72(23)	17x72	6	2	1,000
ES211CTC	210,000	56(8) 84(15)	24x71	7	2	1,000
ES241CTC	240,000	64(11) 96(20)	24x71	8	2	1,000
ES271CTC	270,000	72(13) 108(25)	24x71	9	2	1,000
ES301CTC	300,000	77(15) 107(25)	24x71	10	2	1,000
ES451CTC	450,000	87(15) 118(25)	30x72	15	2	1,500
ES601CTC	600,000	94(15) 125(25)	36x72	20	2	2,500
ES601ETC	600,000	160(14) 240(24)	36x72	20	3	2,500

ANEXO C

MODELOS DE FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO

Fuente: ACS MedioAmbiente s.a.

Modelo	Flujo (gpm)		Tubería (pulg.)	Dimensiones (pulg.)	Cantidad de media ft ³
	Min	Máx. ⁽¹⁾			
CC12P-MT	8 (6)	20 (25)	1	12X52	2
CC14P-MT	11 (7)	25 (25)	2	14X66	3
CC18P-MT	18 (3)	50 (13)	2	18X66	5
CC24P-MT	31 (4)	75 (25)	2	24X66	10
CC30P-MT	50 (8)	95 (25)	2	30X66	15
CC36P-MT	70 (14)	95 (25)	2	36X70	20
CC42P-MT	95 (5)	250 (18)	3	42X70	30
CC48P-MT	125 (6)	250 (16)	3	48X70	40

ANEXO D

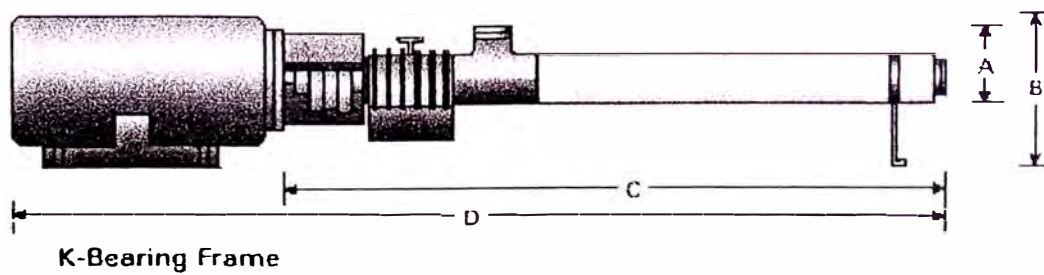
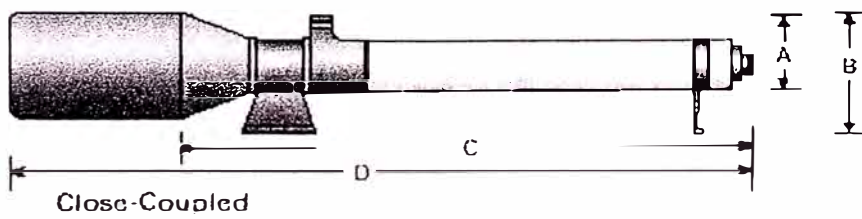
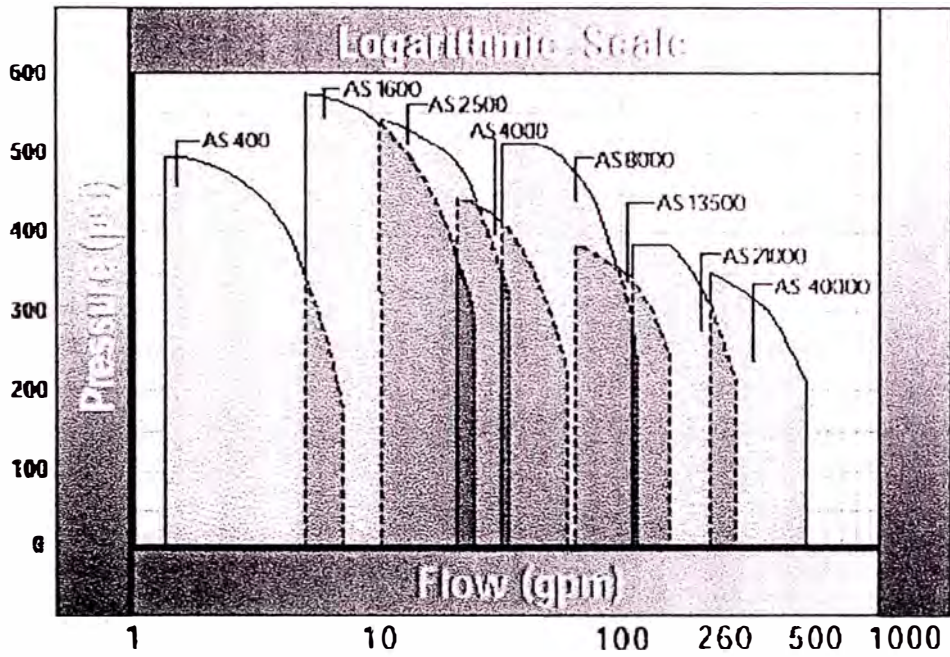
MODELOS DE EQUIPOS DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Fuente Osmonics

Model No.		UV-2	UV-4	UV-12	UV-24
Catalog No.	60 Hz	50374	50376	41402	40940
	50 Hz	50375	42970	42233	50377
Maximum Capacity- gpm (m ³ /h) Clear Fresh Water		2 (0.5)	3 (0.7)	10 (2.3)	20 (4.5)
Distilled/DI/RO Water-gpm (m ³ /h)		2 (0.5)	4 (0.9)	12 (2.7)	24 (5.5)
Shipping Weight- pounds (kg)		7 (3.2)	25 (11.3)	41 (18.6)	66 (29.9)
No. of U.V. Lamps		1	1	1	2
Total Watts		46	48	61	132
Total Amps		0.38	0.4	0.51	1.1
Inlet/Outlet Size- inches		0.375 FNPT	0.5 FLNG	1 FLNG	1.5 FLNG
Overall Dimensions		4x5x14	6x10x19	7x14x38	7x21x38
(WxHxL) inches (mm)		(90x130x356)	(152x254x483)	(178x356x965)	(178x533x965)

ANEXO E

EQUIPOS DE BOMBEO



Close-Coupled Pumps

Model		A	B	C	D
AS400	Inch (mm)	10.0 (101.6)	7.6 (193.0)	19.5-72.8 (495.3-1849.1)	29.0-87.3 (736.6-2217.4)
AS1600	Inch (mm)	4.0 (101.6)	7.6 (193.0)	19.5-64.5 (495.3-1638.3)	29.0-79.0 (736.6-2006.6)
AS2500	Inch (mm)	4.0 (101.6)	7.6-9.5 (193.0-241.3)	19.5-66.25 (495.3-1682.8)	29.0-83.5 (736.6-2120.9)
AS4000	Inch (mm)	4.0 (101.6)	8.2-9.5 (208.3-241.3)	29.0-101.3 (736.6-2573.0)	38.5-118.5 (977.9-3009.9)
AS8000	Inch (mm)	5.4 (137.2)	8.8-10.5 (223.5-266.7)	28.8-44.8 (731.5-1137.9)	42.8-66.3 (1087.1-1684.0)
AS13500	Inch (mm)	5.4 (137.2)	8.8-10.5 (223.5-266.7)	32.3-51.5 (820.4-1308.1)	46.8-73.0 (1188.7-1854.2)
AS21000	Inch (mm)	5.6 (142.2)	10.8 (274.3)	33.5-41.3 (850.9-1049.0)	50.8-62.8 (1290.3-1595.1)

K-Bearing Frames

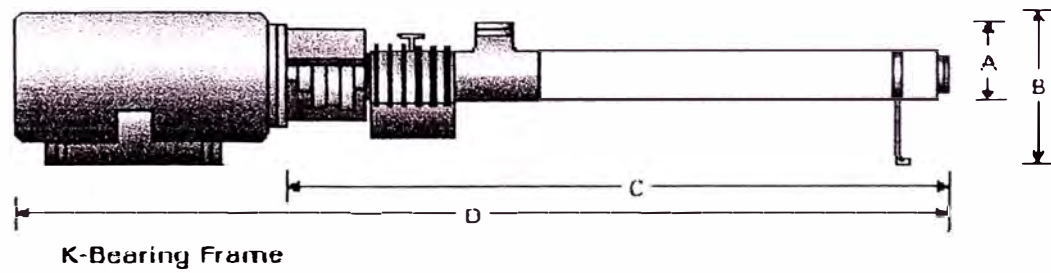
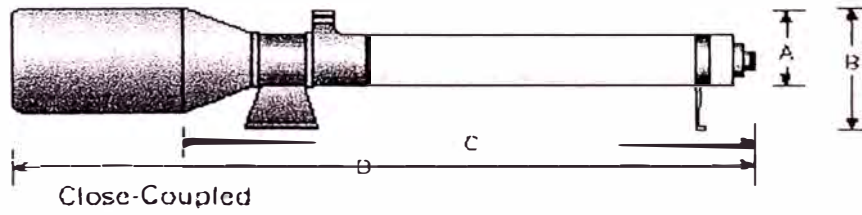
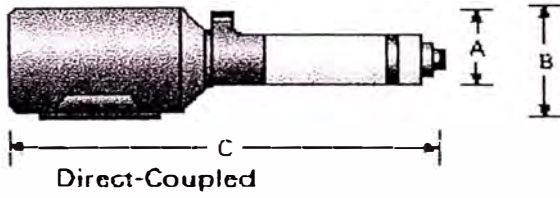
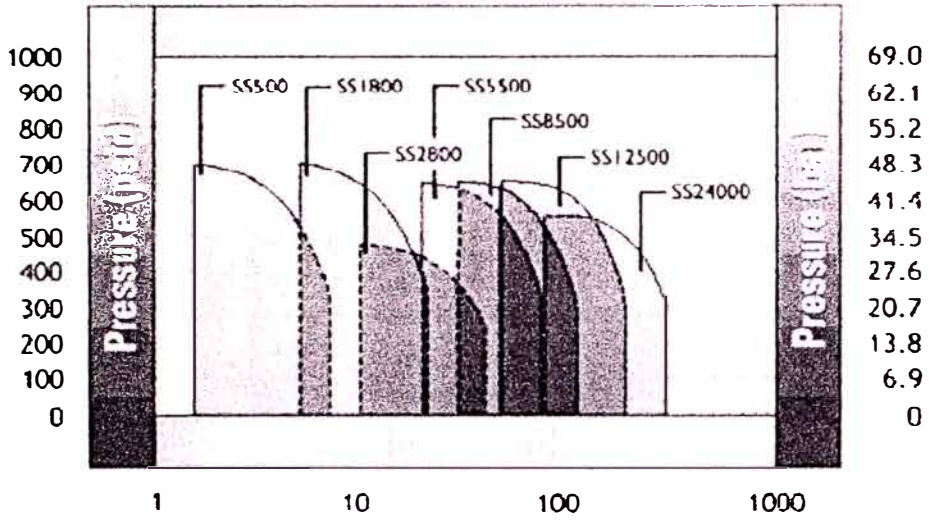
Model		A	B	C	D
AS800	Inch (mm)	6.0 (152.4)	10.5-11.3 (266.7-287)	57.6-71.2 (1463-1808.5)	78.2-94.8 (1986.3-2407.9)
AS13500	Inch (mm)	6.0 (152.4)	10.5-12.3 (266.7-312.4)	64.0-89.5 (1625.6-2273.3)	84.6-114.8 (2148.8-2915.9)
AS21000	Inch (mm)	6.3 (160)	11.5-13.5 (292.1-342.9)	51.2-102.1 (1300.5-2593.3)	73.3-129.0 (1861.8-3276.6)
AS3900	Inch (mm)	6.6 (167.6)	12.5-15.5 (317.5-393.7)	44.3-89.0 (1602.7-2260.6)	63.1-119.1 (1602.7-3025.1)

(Logarithmic Scale)

2.27

22.7

227



Direct-Coupled Pumps

Model		A	B	C
SS 500	Inch (mm)	3.6 (91)	5.8 (147)	19.1-46.6 (485-1184)
SS 1800	Inch (mm)	3.6 (91)	6.6 (168)	21.4-35.1 (544-892)

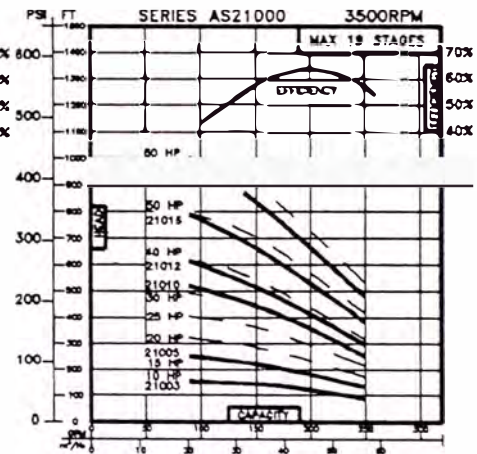
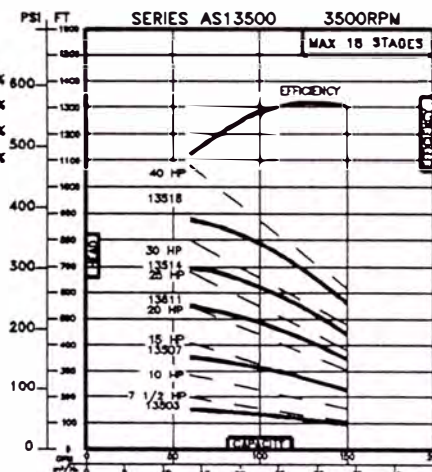
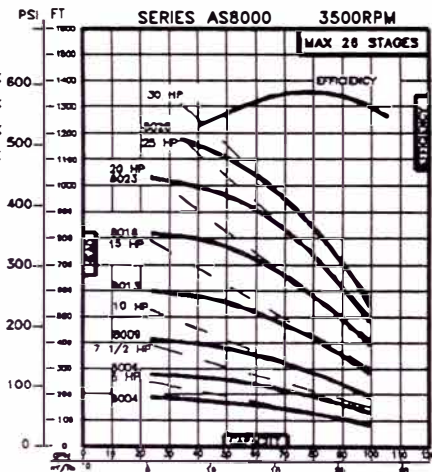
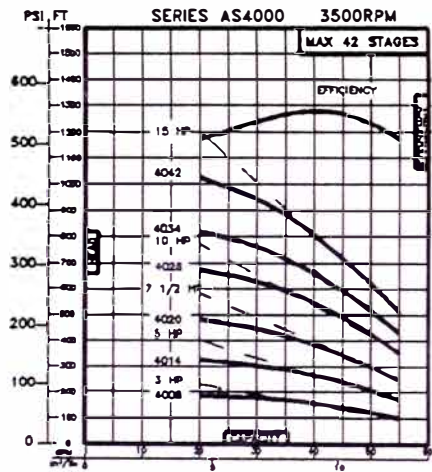
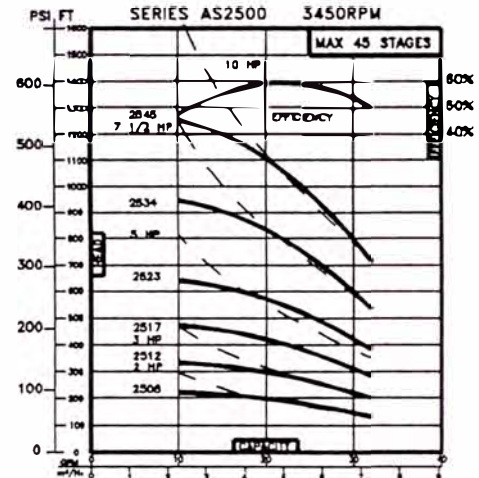
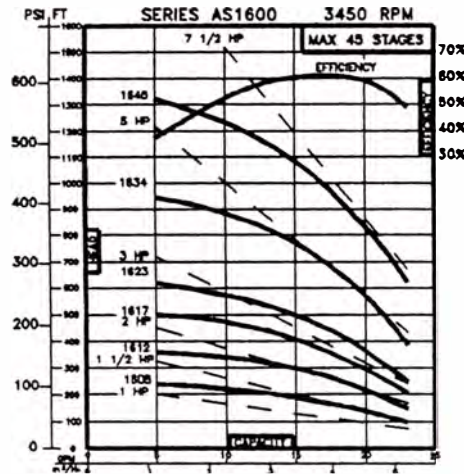
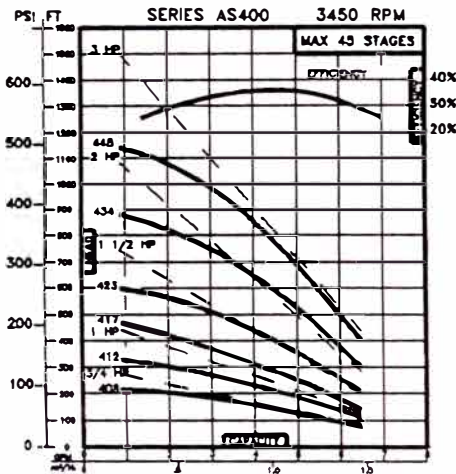
Direct-Coupled Pumps

Model		A	B	C	D
SS 500	Inch (mm)	3.6 (91)	6.8 (173)	38.6-61.7 (980-1567)	49.8-75.6 (1265-1920)
SS 1800	Inch (mm)	3.6 (91)	7.6-9.4 (193-239)	32-67.3 (813-1709)	46-82.8 (1168-2103)
SS 2800	Inch (mm)	3.6 (91)	7.6-9.4 (193-239)	34.8-88.9 (884-2258)	46-103.4 (1168-2626)
SS 5500	Inch (mm)	5.4 (137)	8.8-10.5 (224-267)	27.6-47 (701-1194)	41.5-62.5 (1054-1588)
SS 8500	Inch (mm)	5.4 (137)	8.8-10.5 (224-267)	29.6-47 (752-1194)	43.5-61.5 (1105-1562)
SS 12500	Inch (mm)	5.4 (137)	8.8-10.5 (224-267)	27.8-41.6 (706-1057)	41.7-56.1 (1059-1425)
SS 24000	Inch (mm)	5.4 (137)	10.8 (274)	30.8-39.4 (782-1001)	43.2-61.4 (1097-1560)

K-Bearing Frames

Model		A	B	C	D
SS 5500	Inch (mm)	5.4 (137)	10.5-11.3 (267-287)	49.4-101.3 (1255-2573)	64.2-125 (1631-3175)
SS 8500	Inch (mm)	5.4 (137)	10.5-12.3 (267-312)	45.4-102.1 (1153-2593)	60.2-127.4 (1529-3236)
SS 12500	Inch (mm)	5.4 (137)	10.5-13.3 (267-338)	50.0-122.7 (1270-3117)	70.6-149.6 (1793-3800)
SS 24000	Inch (mm)	5.4 (137)	11.5-13.5 (292-343)	49.8-96.6 (1265-2454)	71.9-123.5 (1826-3137)

TONKAFLO® Pumps STAINLESS STEEL STAGED PUMPS PERFORMANCE CURVES 60 HZ



HP CURVES INCLUDE BEARING FRAME

P/N 1123774 Rev B

TONKAFLO® Pumps

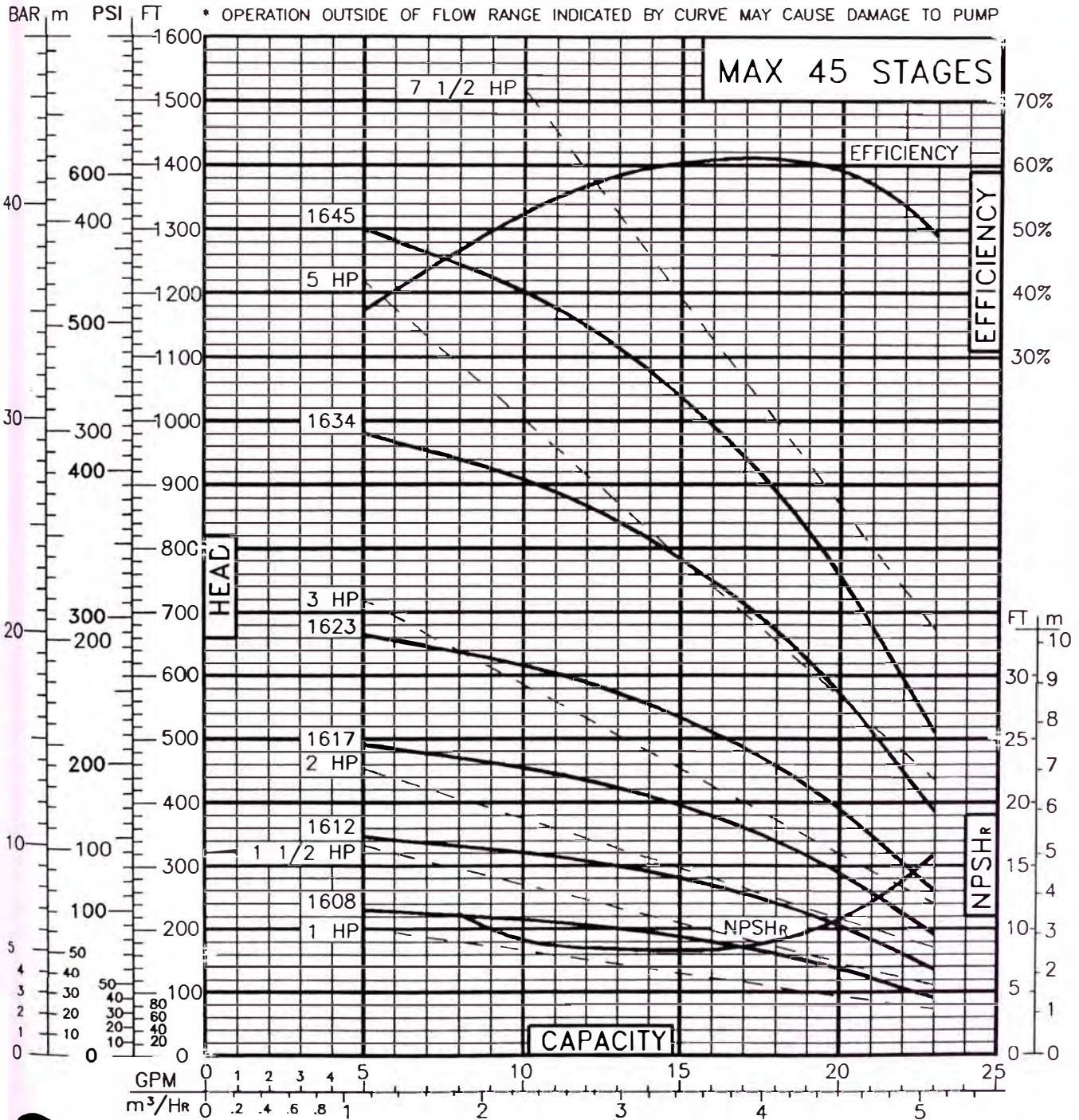
SERIES AS1600

STAINLESS STEEL STAGED PUMP PERFORMANCE CURVES – 3450 RPM

CUSTOMER _____

60 Hz

MODEL _____



OSMONICS

HP CURVES INCLUDE BEARING FRAME

5951 Clearwater Drive Minnetonka, MN 55343-8995 USA • Phone 800-848-1750 (812) 933-2277 • Fax (812) 933-0141

• www.osmonics.com

P/N 1122914 Rev D

TONKAFLO® Pumps

SERIES 1800

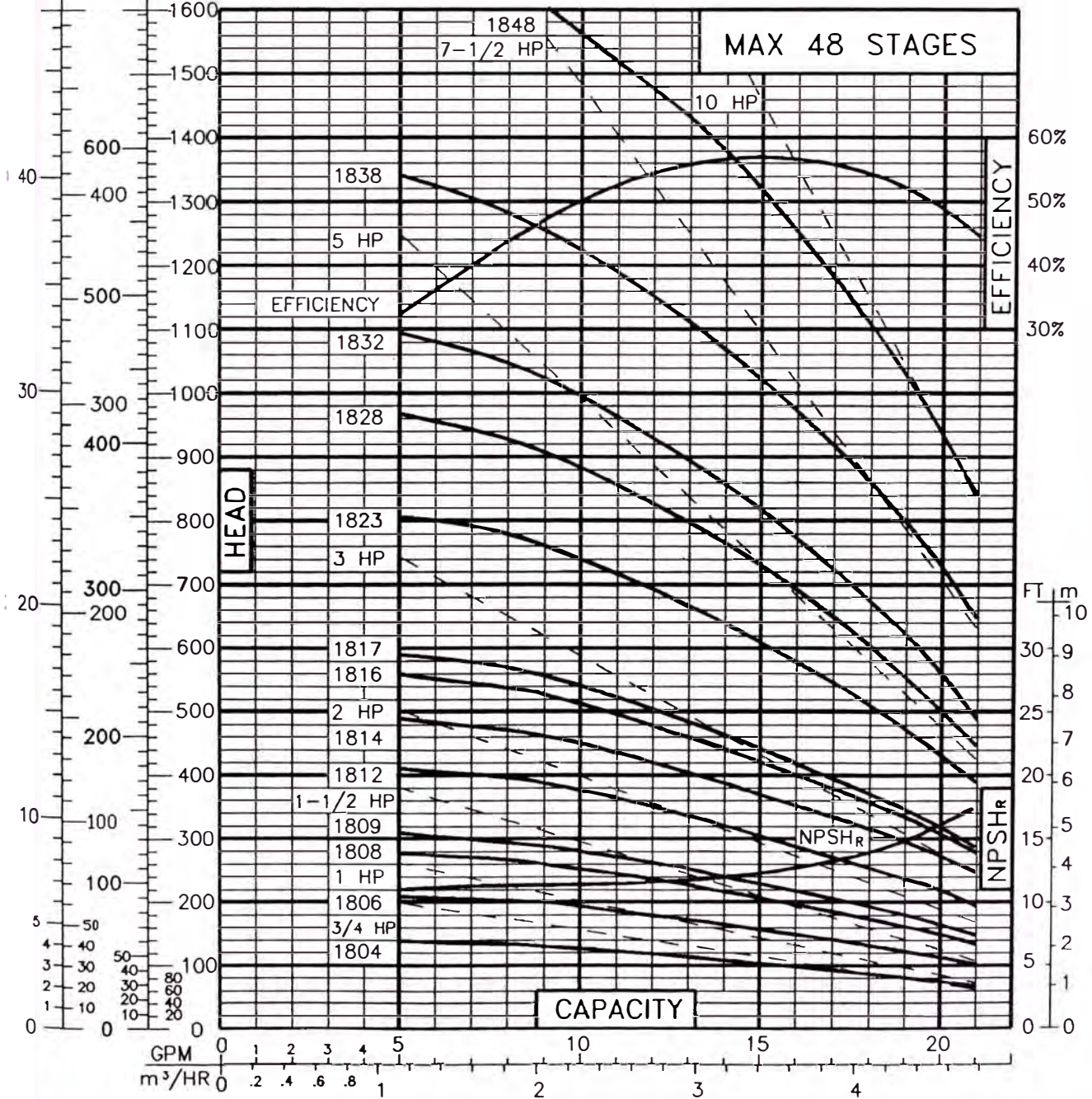
NORYL STAGED PUMP PERFORMANCE CURVES - 3450 RPM

CUSTOMER _____

60 HZ

MODEL _____

BAR, m, PSI, FT * OPERATION OUTSIDE OF FLOW RANGE INDICATED BY CURVE MAY CAUSE DAMAGE TO PUMP

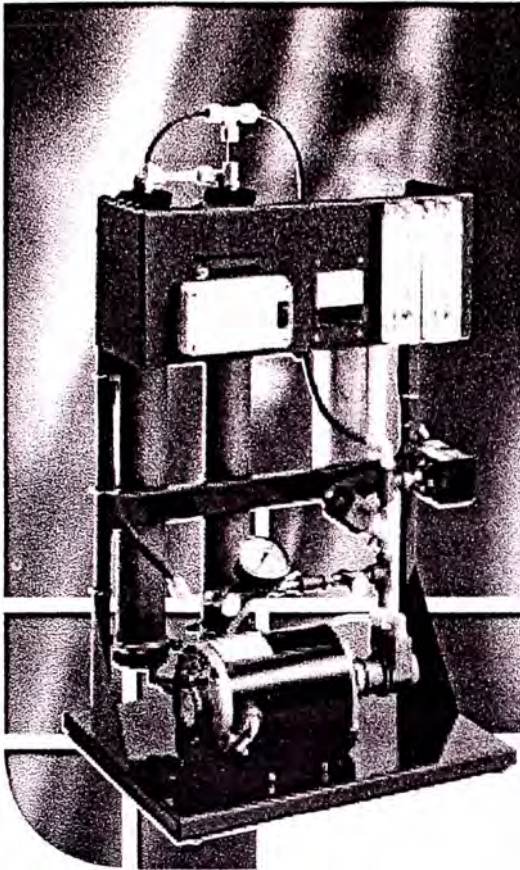


HP CURVES INCLUDE BEARING FRAME

5951 Clearwater Drive Minnetonka, MN 55343-8995 USA • Phone 800-848-1750 (612) 933-2277 • Fax (612) 933-0141

• www.osmonics.com

P/N 1114802 Rev 1



60 Hz

E-Series Reverse Osmosis Machine 375 to 2535 gallons per day

When you mention reverse osmosis (RO), Osmonics is the first name to come to mind. Our E-series RO machines are designed for durable operation, high quality product water production, easy installation and straightforward control.

Applications include (but not limited to):

- Process ingredient water
- Safe drinking water
- Spot free rinse water
- Ion exchange pre-treatment
- R & D lab use

Standard Economy Features

- 5-micron pre-filter
- Automatic inlet shut-off valve
- Remote machine on/off capability
- Operating pressure gauge
- Flow control center including concentrate and recycle valves

Operating Parameters

- Operating Pressure:.....200-220 psig
- Maximum Recovery:50%
- Nominal Rejection:95-98%
- Operating Temperature:.....55-85° F
- Minimum Inlet Pressure:.....30 psig
- Design Temperature:.....77°F

Materials of Construction

- Frame:.....Painted carbon steel
- Membrane Elements:Desal AG2521TF or AG2540TF
- Membrane Housing:.....Stainless Steel
- Tubing:.....Polyethylene

Pump and Motor

- Pump
Rotary Vane
- Motor
1-phase,ODP, 110 VAC

Deluxe (DLX) Features - In addition to ECN Features

- Low inlet pressure switch
- Conductivity meter
- Stainless steel pump
- Permeate and concentrate flow meters

E2 Specifications

60 Hz

Model		E2-0375	E2-0750	E2-1125	E2-1690	E2-2535
Part Number	ECN	1226251	1226259	1226261	1226269	1226274
	DLX	1226252	1226260	1226262	1226270	1226275
Recovery Range		33-50%	33-50%	33-50%	33-50%	33-50%
Permeate Rate	gpm	0.3	0.5	0.9	1.2	1.8
	(m ³ /h)	(0.07)	(0.11)	(0.20)	(0.27)	(0.40)
Concentrate Rate	gpm	0.3-0.2	0.5-0.3	0.9-0.6	1.2-0.8	1.8-1.2
	(m ³ /h)	(0.07-0.04)	(0.11-0.07)	(0.20-0.13)	(0.27-0.18)	(0.40-0.27)
Pump and Motor						
Pump		← Procon Series 2 or 3 →			Procon Series 4 or 5	
Motor	HP (KW)	0.5 (0.37)	0.5 (0.37)	0.5 (0.37)	0.75 (0.56)	0.75 (0.56)
Membrane Elements and Filters						
Number of Elements		1	2	3	2	3
Array		1	1-1	1-1-1	1-1	1-1-1
Membrane Element Model		AG2521TF	AG2521TF	AG2521TF	AG2540TF	AG2540TF
Piping						
Inlet, Permeate, & Concentrate	Inch (cm)	0.38 (0.95)	0.38 (0.95)	0.38 (0.95)	0.38 (0.95)	0.38 (0.95)
Approximate Overall Dimensions						
Height	Inch (cm)	30 (76)	30 (76)	30 (76)	51 (130)	51 (130)
Width	Inch (cm)	18 (46)	18 (46)	18 (46)	18 (46)	18 (46)
Depth	Inch (cm)	15 (38)	15 (38)	15 (38)	15 (38)	15 (38)
Approximate Weight						
	lbs	50	55	60	75	85
	(kg)	(20)	(25)	(30)	(35)	(40)

For More Information:

Call **Osmonics Process Water Group** at (952) 933-2277 or (888) 898-6766, or visit www.osmonics.com



OSMONICS

North American Sales
5951 Clearwater Drive
Minnetonka, MN
55343-8995
USA
(952) 933-2277 Phone
(952) 933-0141 Fax

Latin American Sales
Rua Pastuer, 463, 13 Andar
Centro Empresarial Jactoba
Curitiba - PR, CP 80250-080
BRAZIL
+55 41 312 1691 Phone
+55 41 312 1699 Fax

Euro/Africa Sales
230 rue Robert Schuman
ZA des Uselles
77350 Le Mée sur Seine
FRANCE
+33 1 64 10 2000 Phone
+33 1 64 10 3747 Fax

Asia/Pacific Sales
1044/8 SOI 44/2
Sukhumvit Road Prakanong
Bangkok 10110
THAILAND
+66 2 38 14213 Phone
+66 2 39 18183 Fax

Corporate Headquarters: 5951 Clearwater Drive, Minnetonka, MN 55343-8995 • (952) 933-2277 Phone

© Copyright 2001 Osmonics, Inc.
Printed in USA, P/N 1227116 Rev A

Element Specifications

Model	CE4040F
Permeate flow	2,100 GPD (7.94 m ³ /d)
NaCl rejection	97.5% average (95.0% minimum)
Active membrane area	90 ft ² (8.36 m ²)

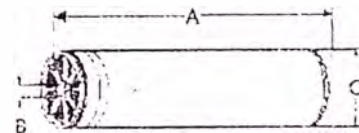
Based on a 2,000 mg/L NaCl solution at 425 cfm (1,167 kPa) operating pressure, 77 F (25°C), 15% recovery after 24 hours. Individual element flow may vary, 15%.

Design Parameters

Maximum pressure	450 psig (3,103 kPa)
Maximum temperature	86 F (30 °C)
pH for optimum rejection	5.0 - 8.5
Cleaning	3.0 - 8.0
Feed in TL	4:1
Feed SDI	≤ 5
Chlorine tolerance	1 ppm maximum continuous, 30 ppm for 30 minutes during sanitization.
Maximum Delta P:	10 psig (69 kPa) per element 60 psig (414 kPa) per vessel

Weight/Dimensions

12 lbs. (5.45 kg) dry/boxed
(A) 40 in. (101.6 cm)
(B) 0.625 in. (1.59 cm)
(C) 3.88 in. (9.86 cm)



OSMONICS
DESAL

760 Shadow Ridge Dr.
Vista, CA 92083-7986 USA
Phone (760) 598-3334, Fax (760) 598-3335

Toll Free 1-800-42-DESAL

Element Specifications	Model	AG4040FF
	Permeate flow	2,200 GPD (8.33 m ³ /d)
	NaCl rejection	99.5% average (99.0% minimum)
	Active membrane area	85 ft ² (7.90 m ²)

Based on a 2,000 mg/L NaCl solution at 225 psig (1,551 kPa) operating pressure, 77°F (25°C), pH 7.5, 15% recovery, after 24 hours. Individual element flow may vary 15%.

Design Parameters	Maximum pressure:	600 psig (4,137 kPa)
	Maximum temperature:	122 °F (50 °C)
	pH for optimum rejection:	7.0 - 7.5
	Operating:	4.0 - 11.0
	Cleaning:	2.0 - 11.5
	Feed NTU:	< 1
	Feed SDI:	< 3
	Chlorine tolerance:	1,000 ppm-hours Dechlorination recommended
	Maximum Delta P:	10 psig (69 kPa) per element 60 psig (414 kPa) per vessel

Element Performance

Feed Concentration

<u>Ion</u>	<u>mg/L</u>	<u>% Rejection</u>
Sodium	68.0	99.4
Calcium	80.0	99.8
Magnesium	21.0	99.8
Potassium	4.1	99.4
Sulfate	163.0	99.8
Bicarbonate		99.3
Chloride	51.0	99.5
Silica	9.3	
TDS	528.0	99.6

Based on a mixed salt feed solution at 225 psig (1,551 kPa) operating pressure, 77°F (25°C), pH 7.5, 15% recovery, after 24 hours.

CERTIFICATE OF QUALITY ASSURANCE

MEMTREX-PC PLEATED CARTRIDGE FILTERS

PRODUCT IDENTIFICATION

Model Number: MPC942AAS
Serial Number: 1188451
Production Number: 11136683

MATERIALS OF CONSTRUCTION

Support Media: Polycarbonate Track-Etch Membrane
Support Layers: Polypropylene Netting
Shell & Cage: Polypropylene
End Caps: Polypropylene
Connectors: Polypropylene
Elastomer: Silicone

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Size Rating: 0.45 Micron Absolute
Filtration Area: 33.00 ft² (3.060 m²)
Port Style: Gasket / Gasket
Nominal Length: 20.02 in. (508.51 mm)
Nominal Outer Diameter: 2.75 in. (69.85 mm)
Nominal Inner Diameter: 1.25 in. (31.75 mm)

OPERATIONAL LIMITS

Max. Forw. Diff. Pressure: 60 psi (4.1 bar) @ 70°F (21°C)
Max. Rev. Diff. Pressure: 30 psi (2.1 bar) @ 70°F (21°C)
Max. Oper. Temp.: 180°F (82°C) @ 10 psi (0.69 bar) in water.

RETENTION CHARACTERISTICS

Memtrex-PC filters used for this order typically exhibit a retention efficiency of 99.9% at 0.45 micron based on ASTM F795 and F661 test methods using fine test dust in high purity DI water at 70°F (21°C).

INTEGRITY TESTING

Subassemblies used to manufacture Memtrex-PC filters are integrity tested statically per MIL-STD-105A to confirm the manufacturing process is producing integral filters.

SERIALIZATION

Memtrex-PC filters are not provided sterile. The filters must be sterilized using compatible chemical agents. Memtrex-PC filters must not be autoclaved or steam sterilized.

FDA COMPLIANCE

The materials used to construct Memtrex-PC filters meet the requirements listed by the FDA as appropriate for use in articles intended for repeated food contact as specified in Title 21 CFR sections 174.5, 177.1500, 177.1520, 177.1630, 177.2440, and 177.2600 as appropriate. Memtrex-PC filters comply with Title 21 CFR sections 210.3(b)(6) and 211.72, for non-fiber releasing filters.

USP BIOSAFETY

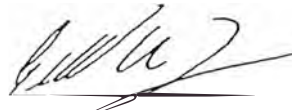
The materials used to construct Memtrex-PC filters are non-toxic and meet the requirements of the MEM Elution Cytotoxicity Test and USP24 Plastic Class VI 121°C Test.

EXTRACTABLES

The levels of bacterial endotoxins in aqueous extracts from Memtrex-PC filters are typically below the USP24 limits defined in Water for Injection. Memtrex-PC filters typically exhibit low levels of non-volatile residues.

QUALITY ASSURANCE

The Memtrex-PC filters of this batch were manufactured using current Good Manufacturing Practices under a quality management system that has been certified to meet ISO 9001 standards. Each Memtrex-PC filter is assigned a lot code to ensure traceability of the data and materials used in the manufacturing process.



Quality Assurance Manager

CREATING TOMORROW'S FLUID SOLUTIONS



OSMONICS

Corporate Headquarters
5951 Clearwater Drive
Minnetonka, MN 55343-8995 USA

Phone: (952) 933-2277
Fax: (952) 933-0141
Toll Free: (800) 848-1750

www.osmonics.com

CERTIFICATE OF QUALITY ASSURANCE

MEMTREX-PC PLEATED CARTRIDGE FILTERS

PRODUCT IDENTIFICATION

Model Number: MPC922AAS
Serial Number: 1188021
Production Number: 11136681

MATERIALS OF CONSTRUCTION

Membrane Media: Polycarbonate Track-Etch Membrane
Support Layers: Polypropylene Netting
Body & Cage: Polypropylene
Caps: Polypropylene
O-rings: Polypropylene
Elastomer: Silicone

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Filter Size Rating: 0.2 Micron Absolute
Filteration Area: 33.00 ft² (3.060 m²)
Filter Style: Gasket / Gasket
Filter Length: 20.02 in. (508.51 mm)
Filter Outer Diameter: 2.75 in. (69.85 mm)
Filter Inner Diameter: 1.25 in. (31.75 mm)

OPERATIONAL LIMITS

1. Forw. Diff. Pressure: 60 psi (4.1 bar) @ 70°F (21°C)
2. Rev. Diff. Pressure: 30 psi (2.1 bar) @ 70°F (21°C)
3. Oper. Temp.: 180°F (82°C) @ 10 psi (0.69 bar) in water.

PERFORMANCE CHARACTERISTICS

1. Memtrex-PC filters used for this order typically exhibit a retention efficiency of 99.9% at 0.2 micron based on ASTM F795 and F661 test methods using fine test dust in high purity DI water at 70°F (21°C).

INTEGRITY TESTING

1. Subassemblies used to manufacture Memtrex-PC filters are integrity tested statically per MIL-STD-105A to confirm the manufacturing process is producing integral filters.

STERILIZATION

1. Memtrex-PC filters are not provided sterile. The filters must be sterilized using compatible chemical agents.
2. Memtrex-PC filters must not be autoclaved or steam sterilized.

FDA COMPLIANCE

The materials used to construct Memtrex-PC filters meet the requirements listed by the FDA as appropriate for use in articles intended for repeated food contact as specified in Title 21 CFR sections 174.5, 177.1500, 177.1520, 177.1630, 177.2440, and 177.2600 as appropriate. Memtrex-PC filters comply with Title 21 CFR sections 210.3(b)(6) and 211.72, for non-fiber releasing filters.

USP BIOSAFETY

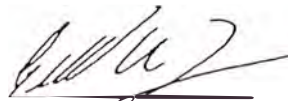
The materials used to construct Memtrex-PC filters are non-toxic and meet the requirements of the MEM Elution Cytotoxicity Test and USP24 Plastic Class VI 121°C Test.

EXTRACTABLES

The levels of bacterial endotoxins in aqueous extracts from Memtrex-PC filters are typically below the USP24 limits defined in Water for Injection. Memtrex-PC filters typically exhibit low levels of non-volatile residues.

QUALITY ASSURANCE

The Memtrex-PC filters of this batch were manufactured using current Good Manufacturing Practices under a quality management system that has been certified to meet ISO 9001 standards. Each Memtrex-PC filter is assigned a lot code to ensure traceability of the data and materials used in the manufacturing process.



Quality Assurance Manager

CREATING TOMORROW'S FLUID SOLUTIONS



OSMONICS

Corporate Headquarters
5951 Clearwater Drive
Minnetonka, MN 55343-8995 USA

Phone: (952) 933-2277
Fax: (952) 933-0141
Toll Free: (800) 848-1750

www.osmonics.com

FACTOR DE FRICCION

Tubos según material	Regimen de circulación de liquido	Comportamiento hidraulico de los tubos	FORMULA DEL FACTOR DE FRICCION	AUTOR
LISO	LAMINAR	LISO	$f = 64 / Re$	Hagen-Poiseuille
	TRANSICION	LISO	$f^{-0,5} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$	Nikuradse y Kármán
		LISO	$f_0 = 0,316 / Re^{-1/4} \rightarrow Re < 1 \times 10^5$ $1000 f_0 = 6,68 + 532 Re^{-0,33}$	Blasius Lebeau-Hanocq Todo valor de Re
RUGOSO	TRANSICION	SEMI-RUGOSO	$f^{-0,5} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{f}} + \frac{\epsilon}{3,71} \right]$	Colebrook
	TURBULENTO	RUGOSO	$f^{-0,5} = -2 \log \left[\frac{\epsilon}{3,71} \right]$	Nikuradse

El uso del cuadro anterior se puede resumir en :

$$f = 64 / \text{Re}$$

Ecuación de Hagen- Poiseuille.

Para el caso laminar. Y :

$$f^{-0,5} = -2 \log \left[\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} + \frac{\epsilon}{3,71} \right]$$

Ecuación de Colebrook

Para el caso de régimen de transición y el de turbulento

La ecuación de Colebrook requiere de un procedimiento de solución de prueba y error, no resulta conveniente para un cálculo automatizado del factor de fricción.

P.K. Swamee y A.K. Jain han desarrollado una ecuación que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} + \frac{\epsilon}{3,7} \right) \right]^2}$$

Esta ecuación produce valores para f que se encuentran entre $\pm 1,0\%$ del valor de los correspondientes a la ecuación de Colebrook, dentro del intervalo de rugosidad relativa (D/e) comprendido entre 1000 y 1×10^6 ; y para números de Reynolds que van de 5×10^3 hasta 1×10^8 . Esta es virtualmente la zona de turbulencia completa del diagrama de Moody.

RUGOSIDAD ABSOLUTA PARA DIFERENTES MATERIALES : e (mm)

		De	Hasta
Tuberías estiradas de vidrio, plomo, cobre y latón		0	0,0015
Tuberías de acero estiradas	Nuevas	0,05	0,1
	Después de largo uso limpiadas	0,15	0,2
	Moderadamente oxidadas o con ligera incrustación		0,4
	Con fuertes incrustaciones		1
Chapa de acero galvanizada	Lisa (tubería de ventilación)		0,07
Tuberías de acero	Nuevas	0,05	0,1
	Nuevas embetunadas		0,05
	Usadas, limpiadas	0,15	0,2
	Uniformemente oxidadas		0,4
	Con ligera incrustación	1	1,5
	Con fuerte incrustación	2	4
Tubería de acero remachadas		0,9	10
Tuberías fundidas	Nuevas	0,26	1
	Nuevas embetunadas	0,1	0,15
	Con oxidación	1	1,5
	Con incrustación	1,5	4
Tubería de hormigón	Alisadas	0,3	0,8
	rugosas	1,2	3
Tuberías de amianto, cemento		Eternit, Toschi	0,05
Tablas de madera	Sin cepillar		0,7
	Cepilladas		0,2
Obra de albañilería		ensamblada normal	1,3

VELOCIDADES RECOMENDABLES

Los valores que siguen pueden dar una idea para una primera estimación de las velocidades en tuberías.

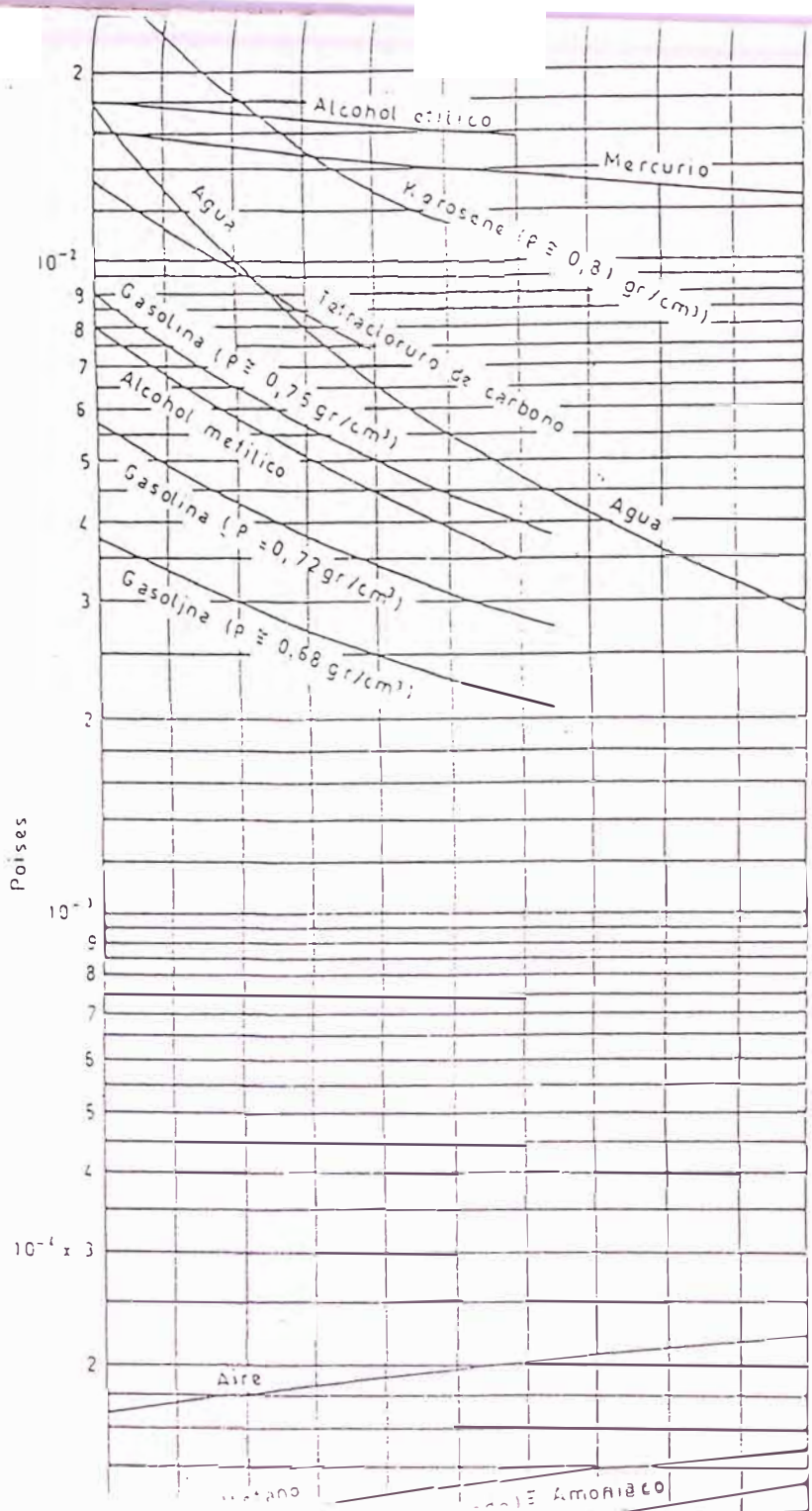
Fluido	Velocidad m/s
Petróleo	1 a 2
Agua :	
★ En tuberías largas	0.5 a 1.0
★ En tuberías cortas	1.0 a 3.0
★ Detrás de bombas de pistón	1.0 a 3.0
★ Detrás de centrifugas	1.5 a 3.0
★ Turbinas	2 a 7
★ Caliente	2 a 3
Gases:	
★ A baja presión	5 a 30
★ A mediana presión	5 a 20
★ A alta presión	3 a 6
Aire comprimido en tuberías:	
★ Tuberías	2 a 4
★ De 1 a 10 atmósferas	15 a 20
★ De 10 a 40	20 a 40
★ De 10 a 125	30 a 60
Descarga de bombas.	2.4 a 4.6
Aspiración de la bomba	1.2 a 2.1
Líneas de tuberías de desagüe	1.2 a 2.1
Colector a tubería principal	1.2 a 4.5
Tubo ascendente	1.5 a 3
Servicio general	1.5 a 3
Suministro de agua de ciudad	1 a 2.1
Aceites, alquitrán	1 a 2
Vapor saturado	10 a 25
Vapor recolectado	30 a 60
Para abastecimiento de agua: $V_{max} = 0.60 + 1.5 (D)$	
Para tuberías en edificios	$V_{max} = 15 D$ $V_{max} = 40 \text{ m/s}$

Sin embargo, la velocidad más favorable ha de determinarse en cada caso individual, a base de un cálculo económico donde frecuentemente las características de la instalación total son de frecuencia decisiva

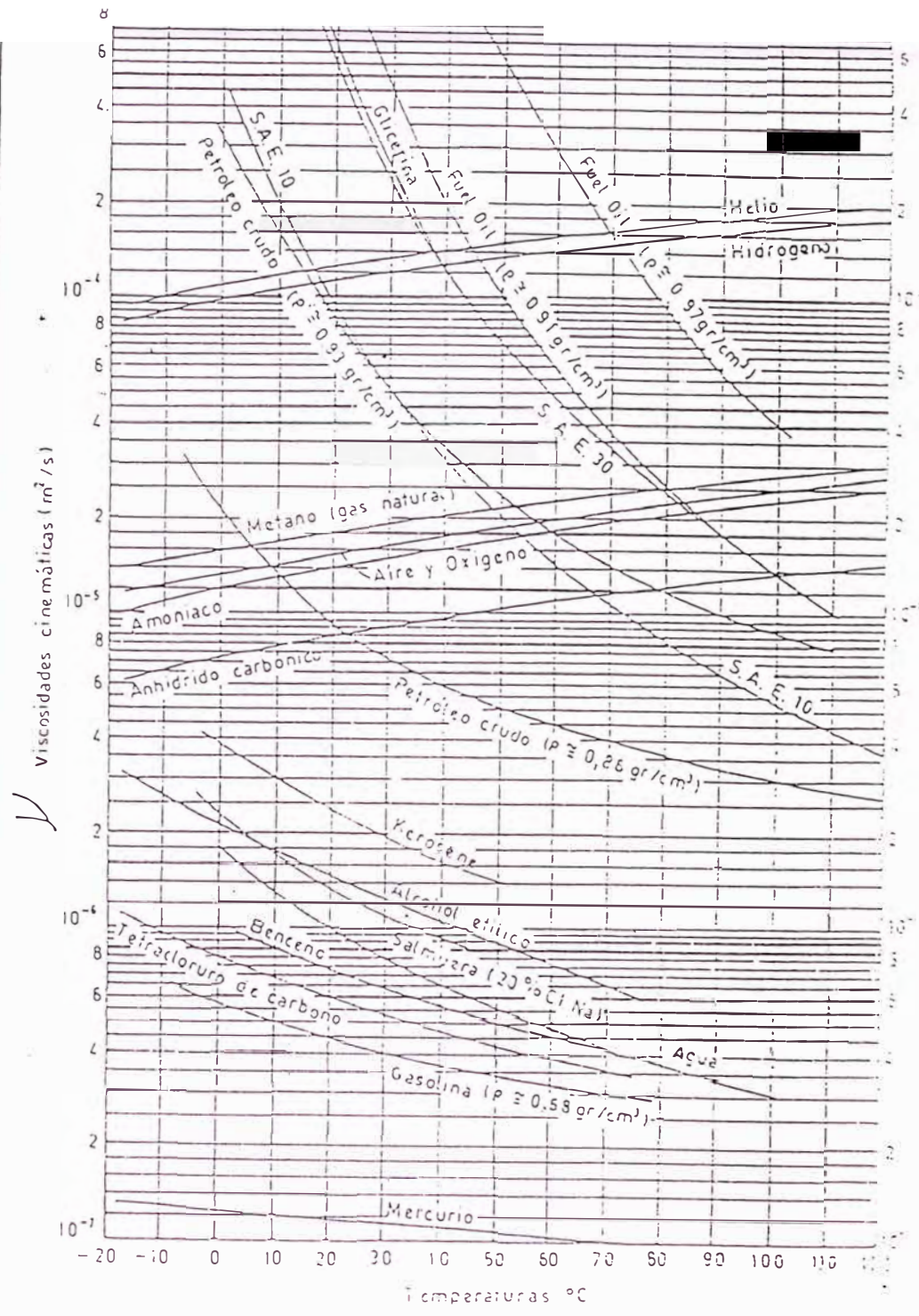
Recomendado

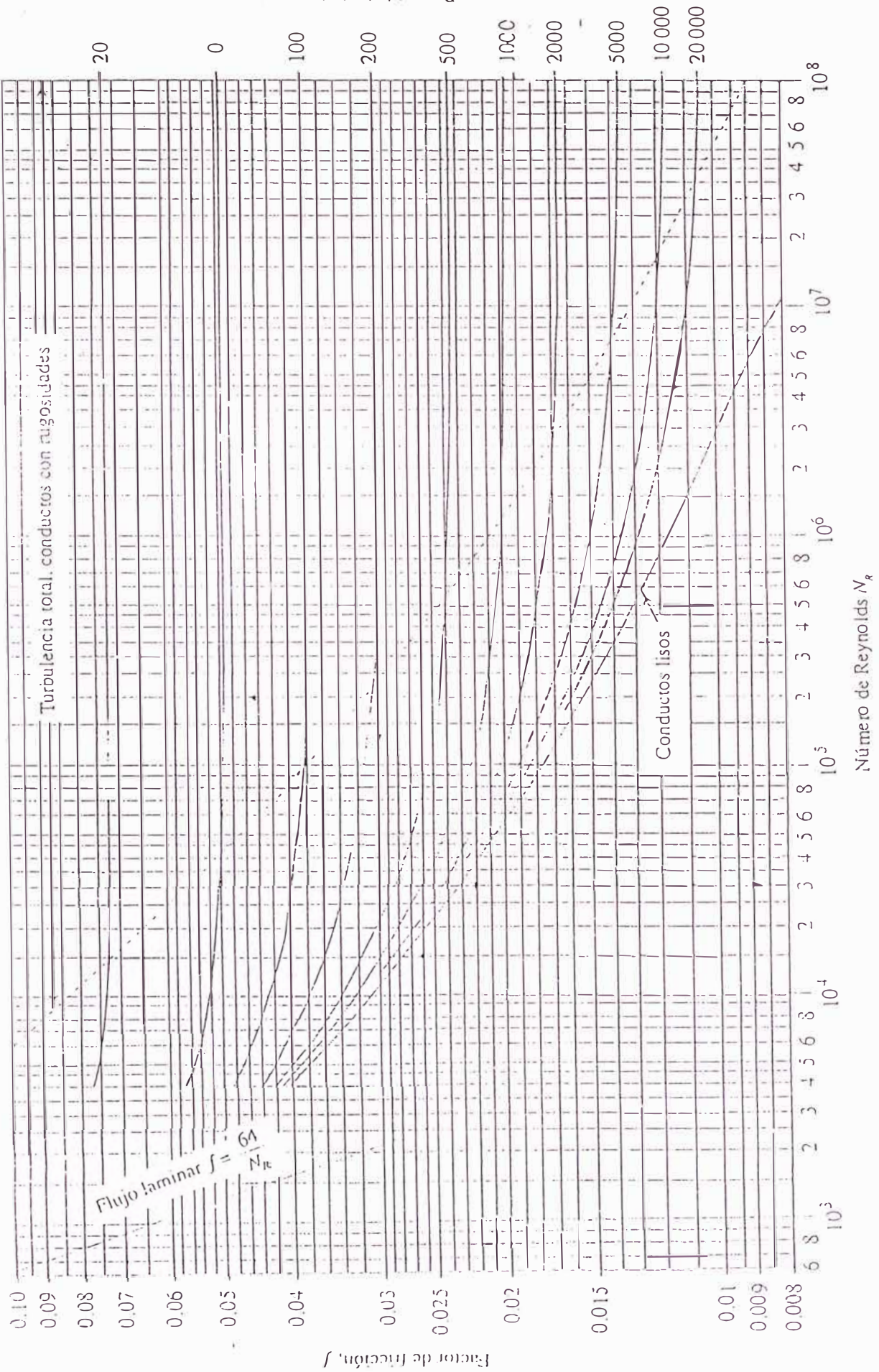
Viscosidades dinámicas

μ



ν





0.10

0.09

0.08

0.07

0.06

0.05

0.04

0.03

0.025

0.02

0.015

0.01

0.009

0.008

$$f = \frac{64}{N_r}$$

6 8

10³

2 3 4 5 6 8

10⁴

2 3 4 5 6 8

10⁵

2 3 4 5 6 8

10⁶

2 3 4 5 6 8

10⁷

2 3 4 5 6 8

10⁸

Número de Reynolds N_r

20

0

100

200

500

1000

2000

5000

10000

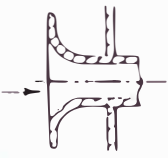

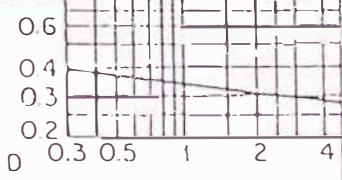
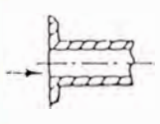
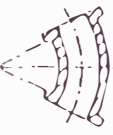
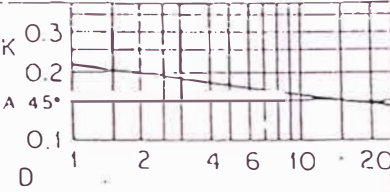
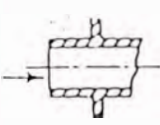

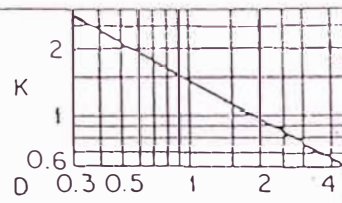

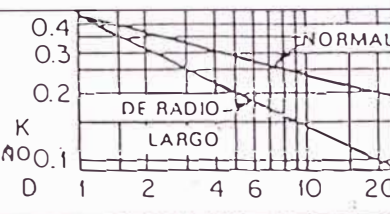
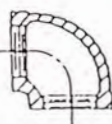
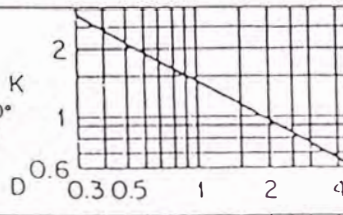
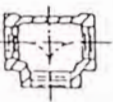

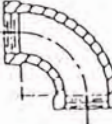
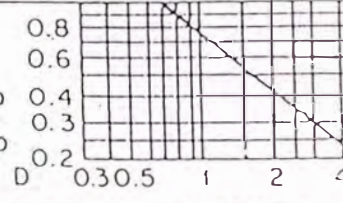

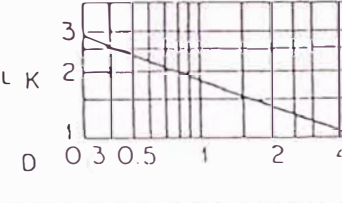
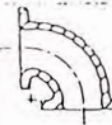
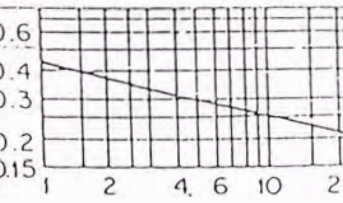

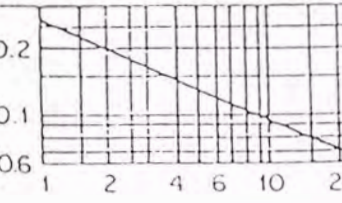
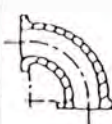
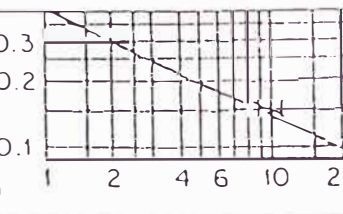

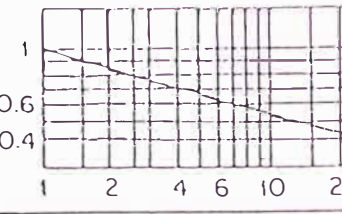
20000

donde K = coeficiente de resistencia, que depende del diseño y tamaño de la válvula o conexión

V = velocidad promedio dentro del tubo de diámetro equivalente, en pies por segundo

g = constante de la aceleración de la gravedad, que es aproximadamente 32.17 pies/s²

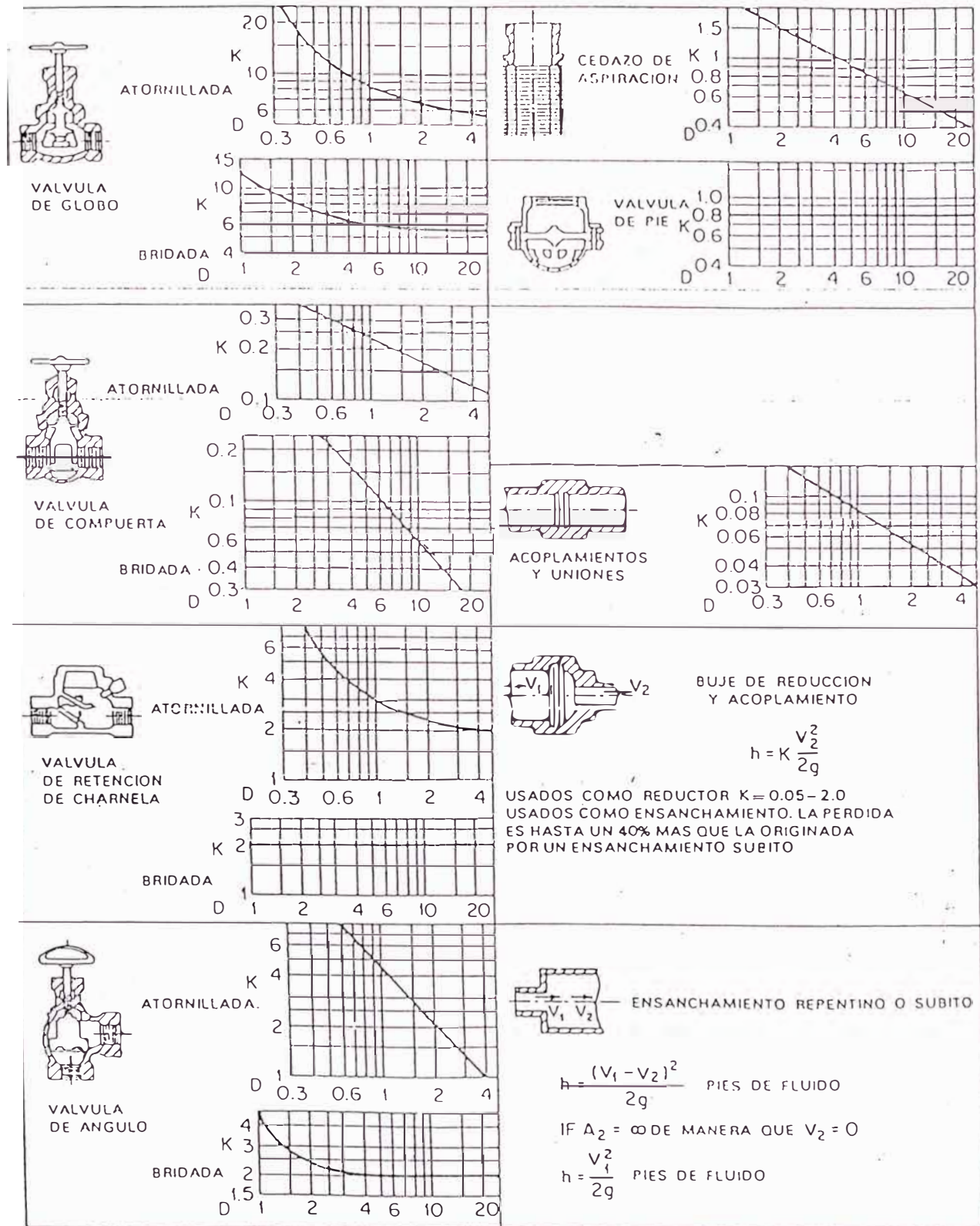
TABLA 4a Coeficientes de resistencia para válvulas y conexiones. (De "Pipe Friction Manual", 3a. ed. Copyright 1961 por Hydraulic Institute, Cleveland, Ohio.)

	<p>REDUCTOR O ENTRADA DE BOCA ACAMPANADA $K = 0.05$</p>	 <p>CODO NORMAL A 45° ATORNILLADO</p> 
	<p>ENTRADA CON BORDES CUADRADOS $K = 0.5$</p>	 <p>CODO BRIDADO A 45° DE RADIO LARGO</p> 
	<p>TUBERIA PROYECTADA HACIA ADENTRO $K = 1.0$</p>	 <p>DOBLEZ ATORNILLADO DE RETORNO</p> 
<p>NOTA: K DECEDE AL AUMENTAR EL ESPESOR DE LAS PAREDES DE LA TUBERIA Y EL REDONDEADO DE LOS BORDES</p>		 <p>DOBLEZ BRIDADO DE RETORNO</p> 
	<p>CODO NORMAL A 90° ATORNILLADO</p> 	 <p>LINEA DE FLUJO</p> 
	<p>CODO ATORNILLADO A 90° DE RADIO LARGO</p> 	 <p>T ATORNILLADA</p> <p>FLUJO DE RAMAL</p> 
	<p>CODO NORMAL A 90° BRIDADO</p> 	 <p>LINEA DE FLUJO</p> 
	<p>CODO BRIDADO A 90° DE RADIO LARGO</p> 	 <p>T BRIDADA</p> <p>FLUJO DE RAMAL</p> 

$$h = K \frac{V^2}{2g} \text{ PIES DE FLUIDO}$$

En la tabla 4c se muestran las grandes variaciones en los valores publicados de la constante K .

TABLA 4b Coeficientes de resistencia para válvulas y conexiones. (Del "Pipe Friction Manual", 3a. ed. Copyright 1961 por el Hydraulic Institute, Cleveland, Ohio.)



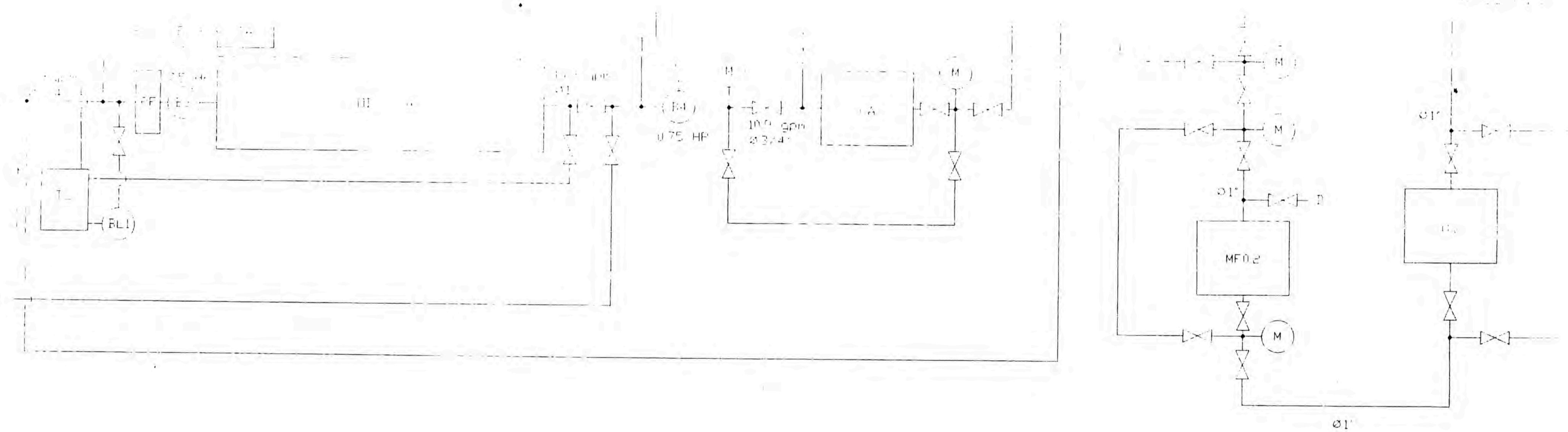
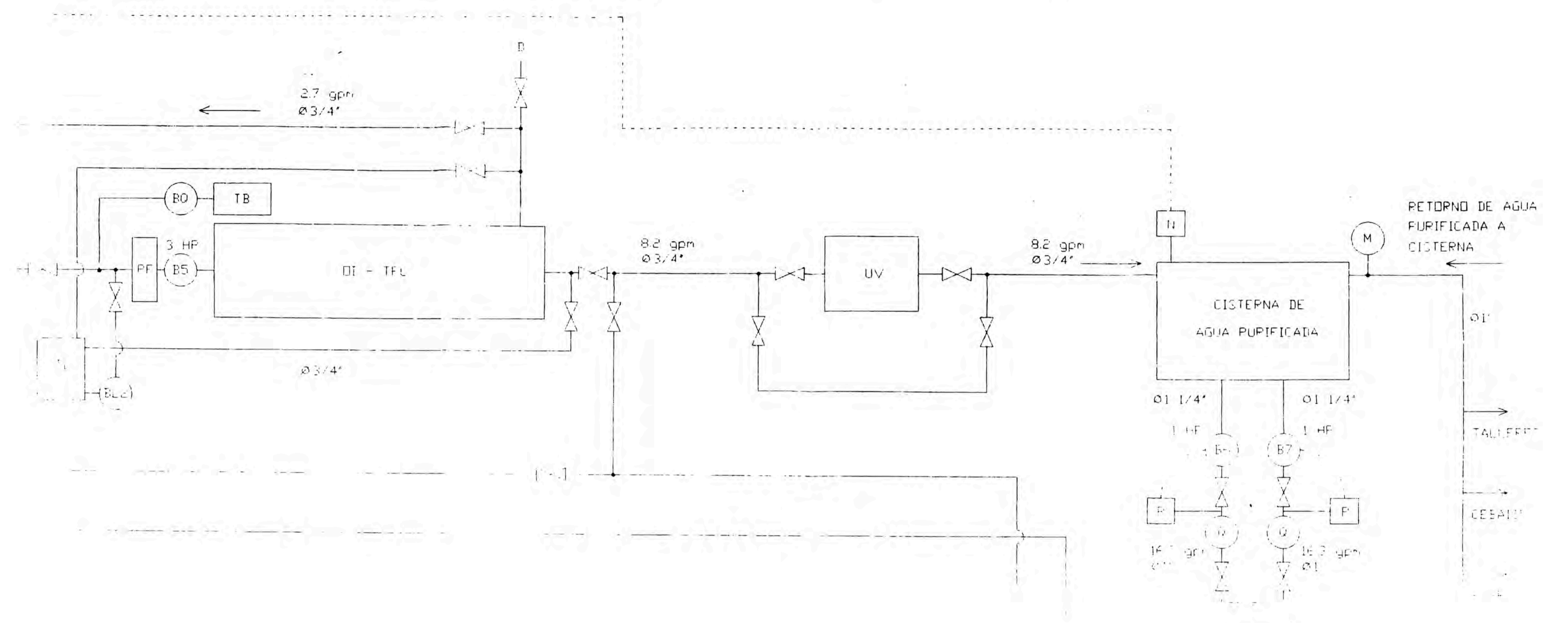
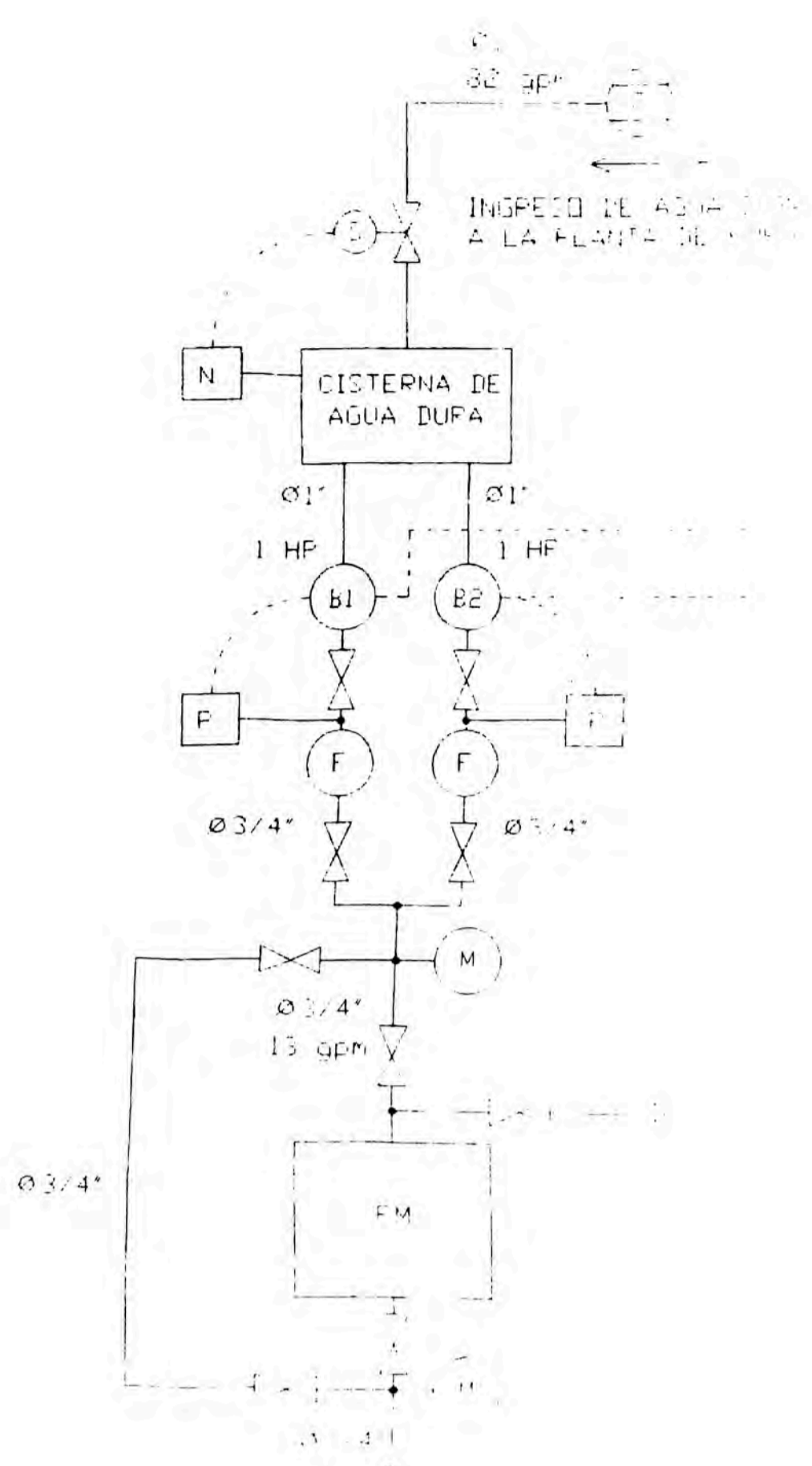
$$h = K \frac{V^2}{2g} \text{ PIES DE FLUIDO}$$

Al comparar la ecuación de Darcy-Weisbach, ecuación (16) y la ecuación (20) que se mencionó anteriormente, se sugiere que la relación $K = f(L/D)$ produce la misma caída de presión en tubo recto que dentro de la conexión o válvula de que se trate. Por lo tanto, la relación L/D , que se puede denominar *longitud equivalente expresada en diámetros de tubo* de forma recta, puede usarse como otro método para estimar las pérdidas que ocasionan las conexiones y válvulas. En pruebas de laboratorio se ha demostrado que mientras el valor de K disminuye a medida que se aumenta el tamaño de las válvulas y conexiones la relación L/D perma-

FACTOR DE CORRECCION DE LA TEMPERATURA (TCF)

TEMPERATURE		THIN-FILM	CA/CTA
^o C	^o F	TCF	TCF
1	33.8	3.64	2.23
2	35.6	3.23	2.15
3	37.4	3.03	2.08
4	39.2	2.78	2.00
5	41.0	2.58	1.93
6	42.8	2.38	1.87
7	44.6	2.22	1.80
8	46.4	2.11	1.74
9	48.2	2.00	1.68
10	50.0	1.89	1.63
11	51.8	1.78	1.57
12	53.6	1.68	1.52
13	55.4	1.61	1.47
14	57.2	1.54	1.42
15	59.0	1.47	1.38
16	60.8	1.39	1.33
17	62.6	1.34	1.29
18	64.4	1.29	1.25
19	66.2	1.24	1.21
20	68.0	1.19	1.17
21	69.8	1.15	1.13
22	71.6	1.11	1.10
23	73.4	1.08	1.06
24	75.2	1.04	1.03
25	77.0	1.00	1.00
26	78.8	0.97	0.97
27	80.6	0.94	0.94
28	82.4	0.91	0.91
29	84.2	0.88	0.89
30	86.0	0.85	0.86
31	87.8	0.83	0.83
32	89.6	0.80	0.81
33	91.4	0.77	0.79
34	93.2	0.75	0.76
35	95.0	0.73	0.74
36	96.8	0.71	0.72
37	98.4	0.69	0.71
38	100.4	0.67	0.68
39	102.2	0.65	0.66
40	104.0	0.63	0.65
41	105.8	0.61	
42	107.6	0.60	
43	109.4	0.58	
44	111.2	0.56	
45	113.0	0.54	
46	114.8	0.53	
47	116.6	0.51	
48	118.4	0.49	

ESQUEMA DE LA PLANTA DE PURIFICACION DE AGUA



DESCRIPCION	CANT
BOMBA DE AGUA	1
BOMBA QUIMICAMENTE FEELI (E.M.C)	1
BOMBA PARA LIMPIEZA DE DI	1
TANQUE DE LIMPIEZA Y DESINFECCION	2
FLOTANTE DE 5 INCHAS	2
TANQUE DE ACIDO SULFURICO	1
TANQUE DE LODA	1
FILTRO DE 0.45 MICR	1
VALVULA	1

DESCRIPCION	CANT
DIAPHRAGMATIC INVERT 1º PASO	1
DIAPHRAGMATIC INVERT 2º PASO	1
TANQUE DE LIMPIEZA Y DESINFECCION	2
FLOTANTE DE 5 INCHAS	2
TANQUE DE ACIDO SULFURICO	1
TANQUE DE LODA	1
FILTRO DE 0.45 MICR	1
VALVULA	1

DESCRIPCION	CANT
F	FLOTANTE
N	CONTROL DE NIVEL DE AGUA
C	SOLENOIDE DE CONTROL
Q	CANTIMETRO DE CAUDAL
D	MEDIDOR DE CAUDAL
M	MANOMETRO
M	MOTOR

FECHA	NOMBRE	
DISEÑADO 11/06/02	M. MUÑOZ	
REVISADO		
Vº Bº		
ESCALA		Nº PLANO
ESQUEMA DE LA PLANTA DE PURIFICACION DE AGUA		