

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES



**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA,
MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**

TEMA DE TESIS:

**SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POR INTERCAMBIO IONICO Y
OSMOSIS INVERSA**

TESISTAS:

ALVAREZ VALDEZ; FENANDO RENATO

RADO PARADA; ABEL JOSUE

2013



EL PRESENTE TRABAJO NO HUBIESE SIDO POSIBLE SIN LA GRACIA DE DIOS, EL ESFUERZO DE NUESTROS PADRES POR ORIENTARNOS Y ALENTARNOS PARA LA REALIZACION DE NUESTRAS METAS, SU GRAN DESEO DE FORMAR PERSONAS INTEGRAS Y ES POR ESTO QUE ES ESTAREMOS ETERNAMENTE AGRADECIDOS; TAMBIEN AGRADECEMOS DE FORMA ESPECIAL A TODOS LOS MENTORES QUE TUBIMOS DURANTE EL PRE-GRADO QUE CONTRIBUYERON A FORMAR EL CARÁCTER CUALIDAD QUE NOS SERVIRA DURANTE TODA NUESTRA VIDA PROFESIONAL, Y FINALMENTE Y NO MENOS IMPORTANTE AGRADECEREMOS POR TODO EL APOYO DE NUESTRAS FAMILIAS.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo entender el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de agua a través de intercambio iónico y osmosis inversa. Métodos vigentes en el ámbito industrial, esto con la finalidad de controlar la calidad de agua utilizada como sustancia de trabajo en generadores de vapor, intercambiadores de calor y maquinas térmicas.

Además de proporcionar un módulo de instrucción que permitirá comprender de forma practica el funcionamiento de los procesos planteados.



ABSTRACT

The present work aims to understand the operation of water treatment systems through ion exchange and reverse osmosis. Existing methods in industry, this in order to control the quality of water used as working fluid in steam generators, heat exchangers and thermal machines.

Besides providing a training module that will allow a practical way to understand the operation of the proposed processes.



Contenido

1. CAPITULO I	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3. OBJETIVOS:	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA:	3
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA:	3
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	3
2. CAPITULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. EL AGUA	4
2.2. CONDICIONES DEL AGUA	4
2.2.1. TURBIEDAD:	5
2.2.2. COLOR:	5
2.2.3. ALCALINIDAD:	6
2.2.4. DUREZA:	7
2.3. PROCESOS DE ACONDICIONAMIENTO	8
2.3.1. METODOS FISICOS	8
2.3.2. METODOS QUÍMICOS	10
2.3.3. TIPOS DE AGUA	12
2.3.4. OPERACIONES Y EQUIPOS:	14
3. CAPITULO III	15
METODOS SELECCIONADOS PARA TRATAMIENTO DE AGUA	15
3.1. METODO DE INTERCAMBIO IONICO (I.I.)	15
3.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES	15
3.1.2. DEFINICION DE INTERCAMBIO IONICO	15
3.1.3. FACTORES QUE AFECTAN EL INTERCAMBIO IONICO	16
3.1.4. APLICACIONES	17

3.1.5.	CLASIFICACION DE LOS INTERCAMBIADORES IÓNICOS.....	17
3.1.6.	DESCRIPCION DE SUSTANCIAS DE INTERCAMBI IONICO DE USO COMÚN	19
3.1.7.	MONTAJES EMPLEADOS PARA INTERCAMBIO IÓNICO	34
3.2.	METODO DE OSMOSIS INVERSA (OI)	46
3.2.1.	USO DE MEMBRANAS	52
3.2.2.	TIPOS DE MEMBRANAS.....	55
3.2.3.	CONFIGURACIONES DE LAS MEMBRANAS	58
3.2.4.	POR SU MORFOLOGÍA DE LA SUPERFICIE.....	64
3.2.5.	SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	64
3.2.6.	VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LAS MEMBRANAS.....	71
3.2.7.	ENSUCIAMIENTO DE MEMBRANAS	72
3.2.8.	ORIGEN DE ENSUCIAMIENTO	73
3.2.9.	CONSECUENCIAS DEL ENSUCIAMIENTO	74
3.2.10.	FORMAS DE ENSUCIAMIENTO	75
3.2.11.	MÉTODOS DE LIMPIEZA	80
4.	CALCULO DE ABLANDADOR.....	83
	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	94
	BIBLIOGRAFIA	97
	ANEXOS	100
	ANEXO 1: ESQUEMA CONCEPTUAL	101
	ANEXO 3: FUNCIONAMIENTO DE EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA	107
	ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS DE MONTAJE.....	112
	ANEXO 5: HOJA TECNICA RESINA CATIONICA.....	116
	ANEXO 6: INSTRUCCIONES REGENERACION DE EQUIPOS ABLANDADORES... ..	118
	ANEXO 7: CUARZO MALLA ¼”	119
	ANEXO 8: CUARZO MALLA 1/8”	122
	ANEXO 9: EQUIPO OSMOSIS INVERSA	125
	ANEXO 10: PROCEDIMIENTO DE ABLANDAMIENTO DE AGUA.....	130
	ANEXO 11: PRACTICA 1	135
	ANEXO 12: PRACTICA 2	137
	ANEXO 13: PRUEBA DE DUREZA AGUA DE POZO DE UCSM	139

ANEXO 14: ENSAYO DE DUREZA Y TDS AGUA DE RED UCSM	140
ANEXO 15: ENSAYO DE DUREZA Y TDS AGUA INTECAMBIO IONICO UCSM.....	142
ANEXO 16: ENSAYO DE DUREZA Y TDS AGUA OSMOSIS INVERSA UCSM.....	143
ANEXO 17: LAYOUT PLANO DE MODULO	144
ANEXO 18: PLANO DE ENSAMBLE DE MODULO	145
ANEXO 19: DISTRIBUSION DE EQUIPOS.....	146
ANEXO 20: TANQUE ABLANDADOR Y TANQUE SALMUERA.....	147



1. CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

TITULO DE LA TESIS:

“SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POR INTERCAMBIO IONICO Y OSMOSIS INVERSA”

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los problemas más grandes del uso del agua en el ámbito industrial es su adecuada preparación o acondicionamiento, pues requiere de un pre tratamiento para alcanzar una calidad adecuada. El control de la calidad del agua implica el establecimiento de criterios de calidad para definir los lineamientos y normas o requisitos mínimos que debe satisfacer un agua para que sea apropiada a un uso determinado, la presencia de impurezas con carga en el agua llamadas electrolitos pueden acarrear problemas para sistemas de enfriamiento y calefacción.

1.2.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El agua que abastece la caldera del laboratorio de maquinas térmicas de la Universidad Católica de Santa María, cuenta con sales disueltas lo cual fue determinado previamente por una prueba de laboratorio, puesto que es de origen freático. Por lo tanto para el uso del agua como sustancia de trabajo exige que esta cuente con una calidad de acuerdo con los estándares de trabajo de cada industria. Por lo que se presenta la necesidad de disminuir la cantidad de ciertas sales.

1.3.OBJETIVOS:

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

“Determinar si con la utilización de los métodos de intercambio iónico y osmosis inversa se logra la calidad de agua para su uso como sustancia de trabajo”

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la efectividad de ablandamiento del agua mediante el método de intercambio iónico
- Evaluar la efectividad de ablandamiento del agua mediante el método de Osmosis Inversa
- Dimensionamiento de equipo de intercambio iónico
- Selección de equipo de osmosis inversa
- Elaborar ensayos prácticos con el fin de evaluar los métodos de intercambio iónico y osmosis inversa.

1.4.JUSTIFICACIÓN

El problema a tratar en la presente investigación, la propuesta halla su justificación en los siguientes aspectos.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA:

Los métodos de intercambio iónico y osmosis inversa son utilizados para el acondicionamiento de agua y así lograr la calidad adecuada que permita que los equipos de calefacción y enfriamiento estén exentos de incrustaciones de sales de calcio y magnesio que son los principales causantes de disminución de transferencia térmica.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA:

Los métodos de intercambio iónico y osmosis inversa al acondicionar el agua para usos de calefacción y refrigeración reducen la formación de incrustaciones de sales las cuales actúan como aislantes en la transferencia de calor lo cual repercute en un mayor consumo de combustible en los procesos de calefacción o un mayor consumo de energía eléctrica en los sistemas de refrigeración, por otra parte, la programación del mantenimiento de estos sistemas utilizando sustancias químicas se puede prolongarse logrando una mayor eficiencia del equipo.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del trabajo se llevará a cabo mediante pruebas orientadas a cumplir específicamente los objetivos planteados.

Para realizar las pruebas se adquirirá equipos tanto de intercambio iónico como de osmosis inversa de proveedores locales.

2. CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. EL AGUA

El agua es una sustancia química formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula molecular es H₂O.

El agua cubre el 72% de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50% y el 90% de la masa de los seres vivos. Es una sustancia relativamente abundante aunque solo supone el 0,022% de la masa de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en las tres fases de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos. En forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en los lugares de la Tierra donde la temperatura baja por debajo de los cero grados Celsius. Y en forma gaseosa se halla formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

2.2. CONDICIONES DEL AGUA

Existen múltiples características que nos permiten medir las condiciones del agua entre las cuales tenemos:

- TURBIEDAD
- COLOR
- ALCALINIDAD
- DUREZA

2.2.1. TURBIEDAD:

Es una medida de la obstrucción óptica de la luz que pasa a través de una muestra de agua. La turbiedad es causada por materia insoluble de cualquier naturaleza en suspensión en el agua.

El tamaño de las partículas varía desde partículas coloidales hasta material arenoso, grueso, que solamente se mantiene en suspensión en fluido rápido y turbulento. El material más grueso que se separa rápidamente se denomina “sedimento”. La naturaleza de estos materiales puede ser:

- Inorgánica: Arcilla, sílice, carbonatos, etc.
- Orgánica: Materia vegetal o animal, grasas, microorganismos, etc.

La turbiedad es indeseable prácticamente para todos los usos de agua. Imparte mala apariencia al agua y a las bebidas, se deposita en las tuberías, equipos de proceso, equipos de refrigeración, calderas, etc.

2.2.2. COLOR:

El color en las aguas se debe especialmente a la presencia de materia orgánica, hierro o manganeso. En algunos casos el color puede deberse a la contaminación por desechos industriales.

El color del agua se clasifica como:

- Color Aparente: Debido a la presencia de sustancias solubles y suspendidas.
- Color Verdadero: Debido a la presencia de sustancias solubles.

El color se elimina por: coagulación y filtración, cloración, aireación y adsorción por carbón activado.

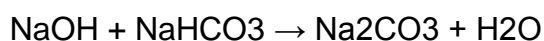
2.2.3. ALCALINIDAD:

En general, la alcalinidad es la medida de los constituyentes básicos del agua. La alcalinidad se presenta principalmente como hidróxidos, carbonatos o bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio. En menor grado como fosfatos y silicatos.

Simultáneamente sólo pueden existir:

- Carbonatos y Bicarbonatos.
- Carbonatos e hidróxidos.

Los hidróxidos y bicarbonatos nunca aparecen juntos puesto que reaccionan entre sí produciendo carbonato, de acuerdo con la siguiente reacción:



2.2.4. DUREZA:

El término “dureza” tiene su origen en las aguas con las cuales es “duro lavar” debido a que las sales de calcio y magnesio presentes, consumen el jabón y lo precipitan en forma de compuestos insolubles.

La dureza se constituye en la fuente principal de problemas de incrustaciones en la lavadora, calderas, tuberías, bombas, intercambiadores de calor.

Se elimina por ablandamiento, destilación, proceso cal-soda, tratamiento interno del agua de caldera.

2.2.4.1. HIERRO:

El hierro se encuentra en prácticamente todas las aguas naturales. Se puede presentar básicamente en cuatro formas:

- En forma de bicarbonato ferroso $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ incoloro, para aguas de pozos profundos.
- En forma de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ proveniente de la corrosión de las tuberías, para caso de “aguas rojas”.
- En forma de hierro soluble en forma orgánica o coloidal, en caso de aguas superficiales.
- Como sulfato ferroso FeSO_4 en aguas ácidas (contaminadas industrialmente).

2.2.4.2. ALUMINIO:

Se presenta en muy pequeñas cantidades en las aguas naturales.

2.2.4.3. ACIDEZ-PH:

La acidez de una agua es la medida de la cantidad total de sustancias ácidas (H+) presentes en ella.

2.3. PROCESOS DE ACONDICIONAMIENTO

2.3.1. METODOS FISICOS

2.3.1.1. FILTRACIÓN:

Se emplea para obtener una mayor clarificación y generalmente. Se aplica después de la sedimentación. Hay muchos tipos de filtros con características que varían de acuerdo con su empleo. La filtración más usual se realiza con un lecho arenoso de unos 100 por 50 metros y 30 centímetros de profundidad. En esta capa actúan bacterias inofensivas que descomponen la materia orgánica presente en el agua en sustancias inorgánicas inocuas. Para uso doméstico existen en el mercado unidades filtrantes pequeñas: algunas combinadas con sistemas de potabilización. Cuando se adquiere algún aparato de estos es muy importante recordar que la función principal de un filtro es la de eliminar materias en suspensión; pueden retener ciertas bacterias, quistes etc., pero por si solos no garantizan la potabilidad del agua. Para lograr esto último deben tener, además del filtro algún dispositivo de

potabilización. Los filtros más útiles en el medio rural son los que se construyen con grava y arena.

2.3.1.2. SEDIMENTACION:

Es el asentamiento por gravedad de las partículas sólidas contenidas en el agua. Se realiza en depósitos anchos y de poca profundidad. La sedimentación puede ser simple o secundaria. La simple se emplea para eliminar los sólidos más pesados sin necesidad de tratamiento especial mientras mayor sea el tiempo de reposo, mayor será el asentamiento y consecuentemente la turbiedad será menor haciendo el agua más transparente. El reposo prolongado natural también ayuda a mejorar la calidad del agua debido a la acción del aire y los rayos solares; mejor sabor y el olor, oxida el hierro y elimina algunas sustancias.

La secundaria se emplea para quitar aquellas partículas que no se depositan ni aun con reposo prolongado, y que es la causa principal de turbiedad. En este caso, se aplican métodos de coagulación con sustancias como el alumbre, bajo supervisión especializada.

2.3.1.3. AIREACIÓN.

Se efectúa haciendo caer el agua sobre una cascada para incrementar la proporción de oxígeno disuelto en el agua. Se reduce de este modo el contenido de dióxido de carbono hasta un 60% y mejora la purificación con bacteria aeróbicas.

Además existen varios métodos físicos y químicos para desinfectar el agua.

2.3.1.4. EBULLICIÓN.

Método excelente para destruir los microorganismos patógenos que suelen encontrarse en el agua: bacterias, quistes y huevos. Para que sea efectiva, debe ser turbulenta. El desprendimiento de burbujas a veces se confunde con la ebullición. Es conveniente hervir el agua en el mismo recipiente en que haya de enfriarse y almacenarse procurando usarlo exclusivamente para estos propósitos.

2.3.1.5. RAYOS ULTRAVIOLETA.

Las lámparas ultravioleta para uso germicida están diseñadas para generar radiación en la zona del espectro que produce daños en los ácidos nucleídos de los microorganismos y protozoos, lo cual inhibe la reproducción de los organismos. Su empleo es muy limitado, ya que se necesita de un aparato especial que requiere energía eléctrica para su funcionamiento. Su efectividad es muy reducida en aguas turbias.

2.3.2. METODOS QUÍMICOS

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

2.3.2.1. LA CORRECCIÓN DEL PH.

Puede hacerse agregando cal o carbonato de sodio, antes o después de la filtración. La reducción de la dureza, puede hacerse por métodos simples (cal, soda, Zeolita o resinas) o métodos compuestos (cal-soda; cal Zeolita, cal-resinas)

2.3.2.2. OZONO.

Es un oxidante poderoso. No deja olor pero sí sabor, aunque no desagradable. Es difícil regular su aplicación. No tiene acción residual.

2.3.2.3. YODO.

Muy buen desinfectante, necesita un tiempo de contacto de media hora. Es muy costoso para emplearse en abastecimientos públicos.

2.3.2.4. PLATA.

En forma coloidal o iónica es bastante efectiva; no da sabor ni olor al agua, tiene una acción residual muy conveniente. Su efectividad disminuye con la presencia de ciertas sustancias, como cloruros, que se encuentran a veces en exceso en el agua.

2.3.2.5. CLORO.

El cloro es EFECTIVAMENTE el elemento más importante que existe para la desinfección del agua. Se suele usar en una dosis de 0,0001% que destruye todos los microbios en cuatro minutos. Además se usa para:

- Eliminar olores y sabores.
- Decolorar.
- Ayudar a evitar la formación de algas.
- Ayudar a quitar el hierro y manganeso.
- Ayudar a la coagulación de materias orgánicas.

2.3.2.6. ABLANDAMIENTO:

El ablandamiento del agua es una técnica que sirve para eliminar los iones que hacen a un agua ser dura, en la mayoría de los casos iones de calcio y magnesio. En algunos casos iones de hierro también causan dureza del agua. Iones de hierro pueden también ser eliminados durante el proceso de ablandamiento. El mejor camino para ablandar un agua es usar una unidad de ablandamiento de aguas y conectarla directamente con el suministro de agua.

2.3.3. TIPOS DE AGUA

2.3.3.1. AGUA DURA:

Es aquella que contiene un alto nivel de minerales; posee cantidades variables de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas.

2.3.3.2. AGUA SUAVIZADA:

Es un producto libre de dureza de calcio o de magnesio, mediante procesos de filtrado y de resinas para así, darle la libertad de trabajar en sistemas de

enfriamiento, evitar incrustaciones y evitar deterioro de materiales en proceso. Agua suave es el agua que tiene pocos o ningunos minerales contenidos dentro del líquido.

2.3.3.3. AGUA DESTILADA:

Este producto cuenta con la característica primordial que la conductividad se encuentra en bajo rango, es especial para procesos directos con el material o la materia prima y en mezclas químicas.

2.3.3.4. AGUA BI DESTILADA:

En este tipo el proceso es doble dejando el agua en niveles óptimos para mezclas donde es necesario una homogenización perfecta en emulsiones base agua o con aceites solubles, en sistemas de enfriamiento nuevos, lavado electrolítico.

2.3.3.5. AGUA DESMINERALIZADA:

Este tipo en especial está totalmente libre de minerales por lo cual es cuenta con una conductividad menor a la unidad, es utilizada en procesos en calderas especiales para la producción de energía eléctrica como uso principal, para el contacto directo con piezas metálicas con emulsiones o pinturas, procesos tándem, cepillado, y galvanoplastia en la industria del acero. El agua desmineralizada es el agua a la cual se le quitan los minerales y las sales. Se utiliza cuando se requiere agua con bajo contenido en sal o baja conductividad. Agua desmineralizada: Agua que es tratada contra contaminantes, minerales y está libre de sal.

2.3.3.6. AGUA DES-IONIZADA:

Este tipo de agua es utilizado para evitar precipitaciones dentro de homogenizaciones muy especiales como en la industria metalúrgica, en procesos con rayo láser, tarjetas electrónicas, rayos infrarrojos y equipos especiales.

2.3.4. OPERACIONES Y EQUIPOS:

Distintos equipos utilizados para lograr la cristalinidad, pureza, insipidez, desinfección, etc., necesarias para lograr la potabilidad del agua. Elementos de control de variables del agua: pH metros, conductímetros, turbidímetro, etc. Sistemas de medición “on line”.

2.3.4.1. ABLANDADORES DE AGUA POR INTERCAMBIO IONICO:

El intercambio iónico se basa en la adsorción, el cual es un proceso de separación en la que ciertos componentes de una fase fluida se transfieren hacia la superficie de un sólido adsorbente. Generalmente las pequeñas partículas de adsorbente se mantienen en un lecho fijo mientras que el fluido pasa continuamente a través del lecho hasta que el sólido está prácticamente saturado y no es posible alcanzar ya la separación deseada, con lo cual el lecho se ha de regenerar.

3. CAPITULO III

METODOS SELECCIONADOS PARA TRATAMIENTO DE AGUA

3.1. METODO DE INTERCAMBIO IONICO (I.I.)

3.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La presencia de impurezas con carga en el agua llamadas electrolitos pueden acarrear problemas para sistemas de enfriamiento y calefacción. Los electrolitos son sales disueltas que le confieren a la solución la capacidad de conducir electricidad, en el agua pura suele encontrarse los cationes (carga positiva): calcio y magnesio. Estos cationes son los responsables de que determinada agua se denomine “dura”, de igual forma se encuentra también el sodio como catión. Para compensar y equilibrar cargas se encuentran los aniones (carga negativa), clasificados como dureza, sulfatos, cloruros y silicio, estas sustancias se retiran mediante intercambio iónico.

3.1.2. DEFINICION DE INTERCAMBIO IONICO

Las operaciones de intercambio iónico son básicamente reacciones químicas de sustitución entre un electrolito en solución y un electrolito insoluble con el cual se pone en contacto la solución. Es una reacción química en la que los iones móviles hidratados de un sólido no soluble, son intercambiados equivalentemente, por iones de igual carga en solución. El sólido tiene una estructura de red de pesca abierta y los iones móviles neutralizan eléctricamente a los grupos cargados, o potencialmente cargados, que están adheridos a la matriz sólida, conocido como intercambiador iónico. El intercambio catiónico es el desplazamiento de un

ion positivo por otro ion positivo; el intercambio aniónico es el desplazamiento de iones negativos o aniones por otros iones negativos. La naturaleza de esta reacción implica que hasta cierto punto sea reversible. Al proceso de retornar el intercambiador iónico a su estado original se denomina regeneración de lecho.

Pese a que el intercambio es una reacción “reversible”, con cada regeneración del lecho, se pierde cierta capacidad de intercambio, bien sea por la pérdida de sitios de intercambio superficiales, sometimiento a condiciones rigurosas de pH y temperatura y/o por acción de oxidantes severos.

3.1.3. FACTORES QUE AFECTAN EL INTERCAMBIO IONICO

- pH: ya que el intercambio iónico está relacionado con la solubilidad y esta con el pH.
- Temperatura: se relaciona con la viscosidad.
- Tiempo de contacto: tiempo mínimo de contacto para asegurar remoción deseada.
- Tamaño de partícula del adsorbente.
- Naturaleza de los cationes: tamaño, carga iónica, forma.
- Concentración de los cationes en solución.
- Aniones asociados con los cationes en solución.
- Solvente, (agua, solventes orgánicos).
- Estructura de la zeolita, topología de la red, densidad de carga de la red.

3.1.4. APLICACIONES

El intercambio iónico sirve para ablandar agua, controlar la alcalinidad, eliminación de materia orgánica, eliminación de nitratos, eliminación de amonio, deionización, tratamiento de residuos nucleares, desmineralización de jarabes azucarados, catálisis, agricultura, hidrometalurgia, cromatografía de intercambio iónico, análisis de constituyentes traza.

3.1.5. CLASIFICACION DE LOS INTERCAMBIADORES IÓNICOS

3.1.5.1. INTERCAMBIADORES IÓNICOS INORGÁNICOS

3.1.5.1.1. Naturales: Son aluminosilicatos, arcillas minerales, feldspatos y zeolitas.

3.1.5.1.2. Sintéticos: sus propiedades de intercambio se debe a la sustitución isomorfa de átomos de silicio de su estructura cristalina por otros átomos. Generalmente se pueden subdividir en las siguientes categorías:

- Óxidos metálicos hidratados, Ej. Óxido de titanio hidratado, ácido poliantimónico
- Sales insolubles de metales polivalentes, Ej. Fosfato de titanio
- Sales insolubles de heteropoliácidos, ej. molibdofosfato amónico
- Sales complejas basadas en hexaciano ferratos insolubles
- Zeolitas sintéticas.

3.1.5.2. INTERCAMBIADORES IÓNICOS ORGÁNICOS

3.1.5.2.1. Resinas orgánicas naturales: Existen varios polímeros naturales que actúan como intercambiadores iónicos, como celulosa, ácido algínico, chitina, hitosan, extrano y agarosa, y también derivados de éstos.

3.1.5.2.2. Resinas orgánicas sintéticas: Tipos de resinas de intercambio iónico según su estructura de red:

- *Tipo gel*
- *Resinas macro porosas*
- *Resinas isoporosas*

Tipos de resinas de intercambio iónico según el grupo funcional:

- *Resinas catiónicas de ácido fuerte*
- *Resinas catiónicas de ácido débil*
- *Resinas aniónicas de base fuerte*
- *Resinas aniónicas de base débil*
- *Resinas quelatantes (selectivas)*

3.1.5.2.3. Resinas impregnadas: Constan de un soporte polimérico que se impregna con una disolución orgánica que contiene a un extractante selectivo a un metal en concreto. Estas resinas tienen un grave inconveniente que es la pérdida de disolvente durante su uso, lo cual reduce su aplicabilidad.

3.1.6. DESCRIPCIÓN DE SUSTANCIAS DE INTERCAMBIO IÓNICO DE USO COMÚN

3.1.6.1. SINTÉTICAS

Usualmente se emplean resinas sintéticas, las cuales tienen una amplia capacidad para concentraciones bajas de electrolitos, son regenerables y estables, además de ser muy versátiles. Se fabrican mediante isomerización de suspensión, empleando estireno y divinilbenzeno (DVB). Se mezclan las dos sustancias en soluciones, con agitación constante hasta formar pequeños glóbulos de alrededor de un milímetro, en ese momento se adiciona peróxido de benzoilo el cual hace que el estireno/DVB formen plástico polimerizándose, resultando insoluble en agua. Para fabricar resinas para suavización, se emplean una resina catiónica fuerte, con una proporción de estireno/DVB de 92% y 8% respectivamente, encontrándose en el mercado resinas con contenidos de entre 2% y 20% de DVB. Las esferas son activadas para que tengan la capacidad de retener iones, es algo así como “magnetizarlas”. Las resinas catiónicas fuertes (poseen cargas negativas para retirar cationes) se activan con un baño en solución concentrada de ácido sulfúrico. Las resinas aniónicas fuertes (poseen cargas positivas para retirar aniones), se activan mediante cloro metilación seguido de animación (usualmente trimetilamina). En este caso se emplea menos DVB para fabricar las esferas a fin de que queden más porosas. Las esferas de resina deben de tener un tamaño adecuado, ser estables y resistentes a la fractura. Las resinas pueden ser porosas o gelatinosas, siendo las últimas, las más eficientes. Las resinas están húmedas con alrededor de un 50% de peso en

agua. Las primeras resinas sintéticas fueron obtenidas por reacción de la mezcla de silicato de sodio o aluminato de sodio, o mezcla de ambas, con sulfato de aluminio.

A continuación se muestra las mejoras progresivas en la capacidad de los materiales de intercambio catiónico (gr de CaCO_3 / lt de resina):

- Arena verde americana 6.90-9.15
- Arena verde australiana 11.45-12.60
- Silicato de aluminio-sodio (sintético) 18.30-27.50
- Carbón sulfonado 16.00-22.90
- Resina de base fenol-formaldehído 16.00-34.00
- Resina de base estireno 57.00-80.00

En el proceso de fabricación de la matriz polimérica, estireno y divinilbenceno, que son insolubles en agua, se mezclan mediante un agitador a una velocidad que rompe la mezcla en pequeñas esferas. Estas esferas a medida que transcurre la reacción se endurecen formando perlas esféricas, que es la forma en la que se suelen presentar estas resinas. En este punto, el copolímero no está funcionalizado.

Hay dos formas de obtener una resina de intercambio iónico funcionalizada:

- Incorporar el grupo funcional durante la polimerización, por ejemplo empleando monómeros ya funcionalizados.

- Primero se lleva a cabo el proceso de polimerización y después de introducen los grupos funcionales sobre la matriz polimérica mediante las reacciones químicas oportunas, como sulfonación o cloración-aminación.

Al producirse el intercambio iónico, la capacidad de la resina comienza a decrecer, debido a que posee una capacidad limitada para la remoción de iones de las soluciones y debido a esto, en un momento dado habrá cedido la mayoría de sus iones de sustitución y se producirá un cierto pase de iones no deseados en el agua producida y se dice que esta resina está "agotada" o saturada de los iones que ha atrapado.

Por este motivo, cuando se diseña una columna de intercambio iónico, se establece a priori la concentración máxima admisible de iones indeseables en la salida del proceso. Cuando se llega a la concentración pre-establecida, se debe proceder a regenerar la resina, para poderla utilizar en un nuevo ciclo.

CLASIFICACION DE LAS RESINAS

- Las resinas catiónicas contienen una red orgánica, R, y diferentes grupos funcionales que se pueden representar así:

Grupo sulfónico R-SO₃H

Grupo fenólico R-OH

Grupo carboxílico R-COOH

Grupo fosfórico R-PO₃H₂

Forma de sodio o forma de cloro se refiere al tipo de catión que tiene la resina para intercambiar, bien sea Na^+ o H^+ , respectivamente.

- Las resinas aniónicas contienen radicales orgánicos como el CH_3 , R' , y grupos funcionales que se pueden representar así:

Amina primaria R-NH_2

Amina secundaria $\text{R-R}'\text{NH}$

Amina terciaria $\text{R-R}'^2\text{N}$

Amina cuaternaria $\text{R-R}'^3\text{NOH}$



Figura 1. Aspecto de resinas sintéticas.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia



Resina monoesfera. Se aprecia como el tamaño de las esferas es similar.



Resina no monoesférica. El tamaño de las esferas es irregular.

Figura 2. Aspecto de resinas sintéticas.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

En la imagen se muestran tres tipos de resina: Izquierda resina catiónica, derecha resina para lecho mixto e inferior resina aniónica. Las resinas aniónica y catiónica son monoesfera y de color uniforme, la resina de lecho mixto existen diferentes tamaños y colores.

Tipo de resina	Sustancia Activante	Grupos Activos	Retira	Tipo	Regenerante	Aplicación	Observaciones
Cationicas	Acido Fuerte	Sulfonico	Cationes	Forma de sodio	Solución de NaCl.	Casintodas las aplicaciones de suavizado y desmineralización, gran cantidad de refrigerante	cualquier PH
				Forma de hidrogeno	Solución de Acido fuerte como el sulfurico o cloridrico		
Cationicas	Acido Debil	Carboxilico	Cationes	Forma de sodio	Solución de NaOH	Manejo de cationes asociados a alcalinidad y dureza. Menor capacidad de intercambio, menos acido para regenerar	Regeneración eficiente, no ph ni altas temperaturas
				Forma de hidrogeno	Solución de Acido fuerte como el sulfurico o cloridrico		
Anionicas	Base Fuerte	Amonio Cuaternario	Aniones	Tipo 1: tres grupos metilo	Forma Cl: Solución NaCl o HCl. Forma H: Solución NaOH	Eliminación total de iones, ablandamiento y desmineralización.	No para altos ph ni altas temperaturas-
				Tipo 2: Dos grupos metilo y uno etanol	Forma Cl: Solución NaCl o HCl. Forma H: Solución NaOH		
Anionicas	Base Debil	Poliamina	Aniones	Forma de colro	Solución de HCl	Acidos fuertes, altas concentraciones de sulfatos y cloruros.	NO para 1ph altos, se oxidan y ensucian.
				Forma de hidrogeno	Solución de NaOH, NH, OH o Na2CO3		

Tabla 1. Clasificación de resinas sintéticas.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del cauca Popayan, Cauca, Colombia

INTERCAMBIADOR CATIONICO DE ÁCIDO FUERTE:

Estas resinas fijan los cationes que están unidos a los iones cloruros, nitratos, sulfatos y silicatos, quedando en el agua los ácidos de las sales inicialmente presentes en el agua, de acuerdo al siguiente detalle:

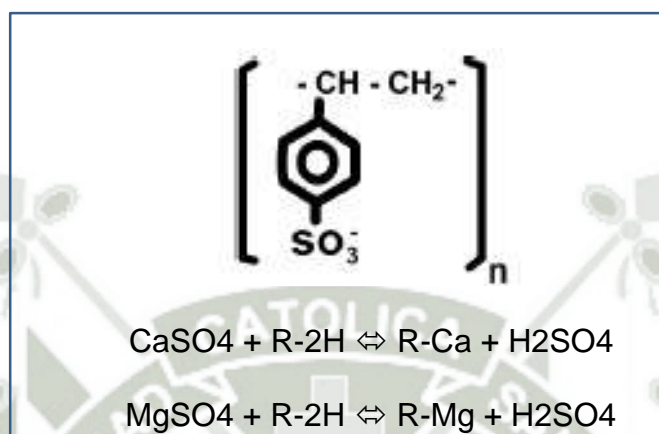


Figura 3. Estructura de la resina de intercambio iónico catiónico de ácido fuerte.

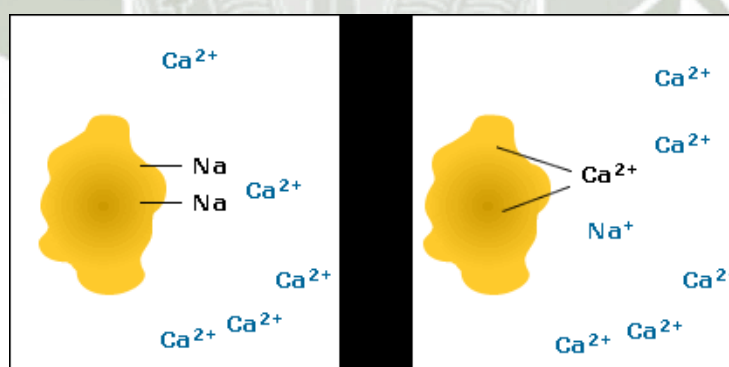


Figura 4. Esquema de remoción de calcio.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

INTERCAMBIADOR CATIONICO DE ÁCIDOS DÉBILES:

Estas resinas fijan los cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio de los bicarbonatos, y liberan ácido carbónico; los cationes unidos a los aniones sulfatos, cloruros y nitratos no son intercambiados. Si consideramos a las resinas de intercambio catiónico como R-2H, con R como radical fijo y H como ión de sustitución, tendremos las siguientes reacciones (de acuerdo a los cationes presentes).

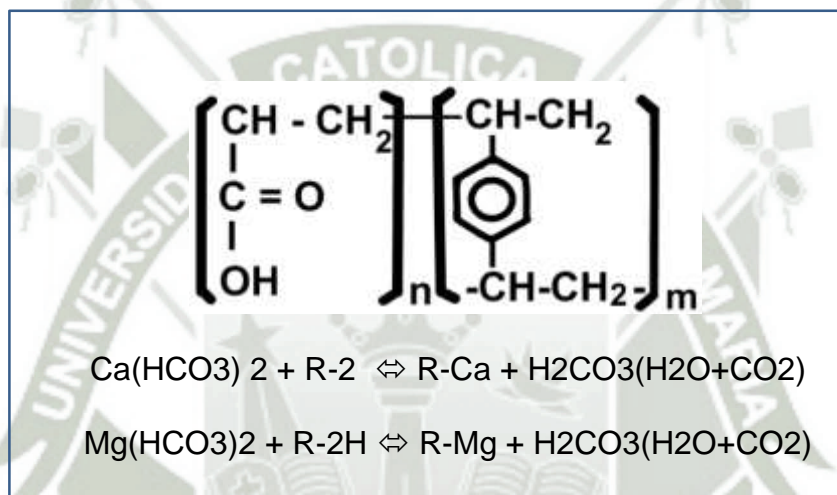
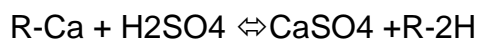


Figura 5. Estructura de la resina de Intercambio iónico catiónico de ácido débil.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

Regeneración de resinas de intercambio catiónico: cuando cualquiera de las resinas de intercambio catiónico débiles o fuertes ya no tienen iones hidrógeno para intercambiar (en la forma de hidrogeno), a estas resinas se

les regenera haciendo pasar una solución de ácido (normalmente ácido sulfúrico), produciéndose las siguientes reacciones:



La regeneración se realiza normalmente en serie y la solución de ácido sulfúrico atraviesa sucesivamente la resina fuertemente ácida y la resina débilmente ácida. El exceso de ácido proveniente de la regeneración de la resina fuertemente ácida es suficiente para regenerar completamente la resina débilmente ácida.

La cantidad de sal para regenerar el material cambiador de iones (En la forma de sodio), excede gradualmente al requisito teórico de 75,82 gramos por 1 Kg. de dureza removida. En el uso de arena verde natural y zeolitas sintéticas para suavizar agua, fue común durante muchos años emplear 0,227 Kg. de sal por Kg. de dureza removido.

La regeneración de las resinas de intercambio iónico es el proceso inverso del proceso de intercambio iónico y tiene por finalidad devolverle a la resina de intercambio iónico su capacidad inicial de intercambio. Hay dos tipos de regeneración: regeneración de corriente y regeneración de contracorriente. Los factores que influyen en los consumos de sal durante la regeneración dependen de:

1. El tipo de material de intercambio.
2. El grado de dureza: las aguas más duras requieren para su regeneración, un consumo mayor de sal de la necesidad de aguas de baja o dureza media.
3. La efectividad de la distribución de la sal en el lecho.
4. Procedimiento para economizar sal, aplicables a algunos tipos de materiales de zeolita.
5. Ablandamiento y regeneración incompletas, sistemas conocido como "restricción de sal".

INTERCAMBIADOR ANIÓNICO DE BASES FUERTES:

Este intercambiador fija los aniones de los ácidos débiles tales como el ácido carbónico y el ácido silícico. Las reacciones serían:

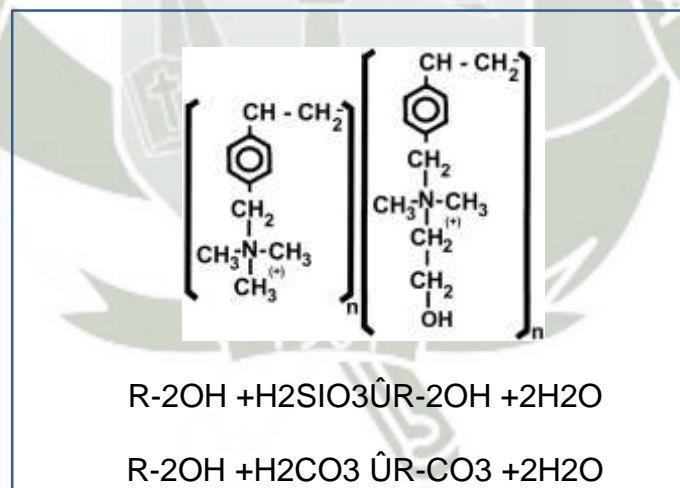


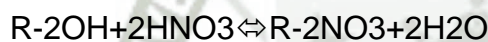
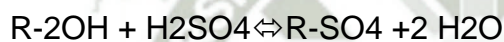
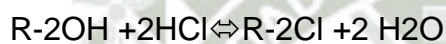
Figura 6. Estructura de la resina de intercambio iónico aniónico de base fuerte

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

INTERCAMBIADOR ANIÓNICO DE BASES DÉBILES:

Fija los aniones de los ácidos fuertes como sulfatos, cloruros y nitratos, pero no los aniones débiles del ácido carbónico (H_2CO_3), ni del ácido silícico (H_2SiO_3).

Si consideramos a las resinas de intercambio aniónico como $R-2OH$, compuestas de un radical fijo R y de un ion móvil constituido por el grupo OH , de acuerdo a los aniones presente, tendremos las siguientes reacciones:



Regeneración de resinas de intercambio aniónico: una vez que las resinas de intercambio aniónico débilmente y fuertemente básicas no tienen más iones OH^- que intercambiar con los aniones del agua, estas deben ser regeneradas. Su capacidad de intercambio les es devuelta haciendo pasar una solución de base fuerte (generalmente se emplea hidróxido de sodio, carbonato de sodio o hidróxido de amonio), la cual atraviesa primero el intercambiador de las resinas aniónicas de base fuerte y luego el intercambiador de las resinas aniónicas de base débil.

El exceso de soda proveniente de la regeneración de las resinas aniónicas de base fuerte es suficiente para regenerar completamente las resinas

aniónicas de base débil. Se producirán las siguientes reacciones:



Las resinas y sus aplicaciones comunes de reducción / remoción		
Problema	Resina	Regenerante
Alcalinidad	ABF II	NaCl o KCl
Arsenico	ABF I	NaCl o KCl
Cianuro	ABF I	NaCl o KCl
Cobre	CAF	NaCl o KCl
Hierro	CAF	NaCl o KCl
Nitrato	ABF II	NaCl o KCl
Selenio	ABF I	NaCl o KCl
Radio	CAF	NaCl o KCl
Sulfatos	ABF II	NaCl o KCl
Uranio	ABF II	NaCl o KCl
Fluoruro	ABF II	NaCl o KCl
Donde		
CAF : Intercambiador cationico de caido furte		
ABF I : anión de base fuerte Tipo I		
ABF II : anión de base fuerte Tipo II		

Tabla 1: Resinas y sus aplicaciones comunes de reducción / remoción.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

3.1.6.2. NATURALES

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos. Su estructura cristalina forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible; están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. El armazón estructural está constituido por tetraedros de Si-O (SiO_4^{4-}) y Al-O (AlO_4^{5-}). La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con SiO_4 , en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes. Dado que el silicio presenta típicamente valencia 4 (Si^{4+}) y el aluminio valencia 3 (Al^{3+}), las zeolitas se encuentran “descompensadas eléctricamente” por lo que necesitan incorporar cationes para mantener la neutralidad (de ahí sus propiedades de intercambio). Dichos cationes (del tipo Na^+ , K^+ o NH_4^+), agua, u otras moléculas se acomodan en las estructuras tipo túnel. Estos cationes son móviles y susceptibles de ser intercambiados por otros. Una reacción típica de intercambio iónico sería la siguiente:



Casi todos los depósitos minables de zeolitas en el mundo están como alteraciones vitricas de rocas volcánicas. Las zeolitas naturales presentan redes principalmente de una relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, entre menor sea esta relación, mayor será la capacidad de intercambio iónico. Desde el punto de

vista del control ambiental mediante la eliminación de contaminantes se considera que las zeolitas naturales poseen más ventajas con respecto a las artificiales debido a que tiene bajo costo de extracción y acondicionamiento, se dispone de ellas en grandes volúmenes, son estables para reactivarlas, pues resisten varios procesos químicos y térmicos y son empleables en varios ciclos.

No obstante las sintéticas por su pureza y su fabricación a la medida hacen que sean cada vez más empleadas.

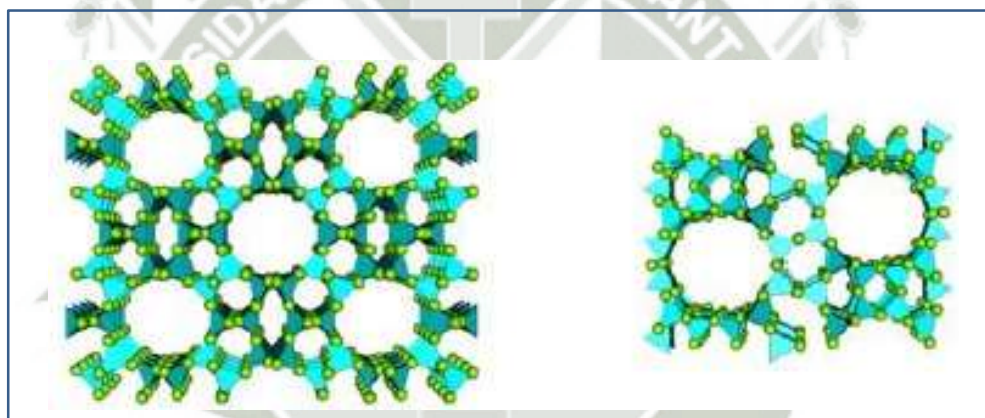


Figura 7. Estructura tridimensional de algunas zeolitas.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

Se emplean en tratamiento de aguas residuales de la industria metalúrgica y galvánica, minería e industria, siendo eficientes en la remoción de metales pesados. Entre las zeolitas naturales se destacan los siguientes minerales:

Phillipsita , Chabacita, Clinoptilolita, Mordenita y Ferrierita.

Las zeolitas están presentes en la naturaleza como minerales, y pertenecen al grupo de los tectosilicatos. Existen unas 40 zeolitas naturales y más de 150 sintéticas. Algunas zeolitas naturales incluyen:

Mineral	Fórmula
Natrolita	$\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Chabazita	$(\text{Ca}, \text{Na})_2 (\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Analcima	$\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)\cdot \text{H}_2\text{O}$
Stilbita	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18})\cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Heulandita	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18})\cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Laumontita	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12})\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Mesolita	$\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Thompsonita	$\text{NaCa}_2(\text{Al}_2\text{Si})_{10}\text{O}_{20}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Tabla 2. Algunas zeolitas naturales

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

Pese a que el intercambio iónico es “reversible”, para algunos metales pesados, resulta ser marcadamente irreversible, como en el caso del cromo.

Para completar el proceso de remoción de metales pesados y radionúclidos, no se considera la etapa de recuperación o restauración de las zeolitas, por el contrario, se anula dicha posibilidad mediante ceramización-vitrificación para hacer disposición final.

Se investiga sobre órgano-zeolitas, creándolas mediante modificación de zeolitas naturales con surfactantes en la superficie de los cristales, dichas sustancias son materia de estudio, pues presentan propiedades antisépticas y microbicidas.

Un grupo de intercambiadores iónicos se pueden fabricar mediante la sulfonación de carbón, lignita o turba.

3.1.7. MONTAJES EMPLEADOS PARA INTERCAMBIO IÓNICO

3.1.7.1. INTERCAMBIO IÓNICO EN DISCONTINUO (COCHADA O LOTES)

Es una operación en discontinuo. Se mezcla el intercambiador y la disolución en un recipiente hasta que el intercambio de iones alcanza el equilibrio. Es útil cuando el ion cedido es OH^- , H^+ , es de fácil remoción o precipita en el reactor.

Esta configuración no puede aplicarse para devolver el intercambiador a su forma iónica original, ya que el proceso de regeneración en discontinuo no es químicamente eficiente. Es necesario recuperar el intercambiador por decantación y transferirlo a una columna para proceder a su regeneración.

Este método, a pesar de ser muy eficiente, tiene pocas aplicaciones industriales.

3.1.7.2. INTERCAMBIO IÓNICO EN COLUMNA (FLUJO CONTINUO)

Esta configuración es la que se emplea más a menudo en los procesos de intercambio iónico. El intercambiador se coloca en el interior de una columna vertical, a través de la cual fluye la disolución a tratar. Es más eficiente que el método de cochadas, pues a medida que el fluido atraviesa el lecho empacado, va alcanzando concentraciones progresivamente menores. Cada operación puede considerarse como una serie de operaciones por lotes en secuencia, entrando en contacto el cambiador iónico fresco con una solución progresivamente más agotada, hasta que se completa finalmente el intercambio. El proceso global consta de varias etapas que a continuación se describen.

ETAPAS DEL PROCESO DE INTERCAMBIO IÓNICO EN COLUMNA

- **Empaquetamiento de la columna:** Consiste en introducir el intercambiador en el interior de la columna evitando la formación de bolsas de aire entre sus partículas para así obtener un lecho uniforme. Esta operación se realiza habitualmente lavando el intercambiador con agua destilada, que además resulta útil para eliminar posibles impurezas y para provocar el fenómeno de swelling (expansión de lecho.). El swelling puede causar graves problemas si tiene lugar una vez el intercambiador se

encuentra confinado en la columna y no se ha dejado espacio suficiente para alojarlo una vez ha incrementado su volumen.

- Acondicionamiento del intercambiador: Muchas resinas comerciales se venden en una forma iónica que puede no ser la adecuada para el tratamiento que se desea realizar. Por ejemplo, una resina básica fuerte que tenga como contraion un grupo OH⁻ y que, por necesidad del proceso, sea deseable tener un ion Cl⁻.

En la etapa de acondicionamiento se procede a cambiar el contraion de la resina poniéndola en contacto con una disolución concentrada del ion que se desea tener. Una vez se ha conseguido este objetivo y la resina está en la forma iónica deseada, debe eliminarse el exceso de esta disolución lavando la resina con agua destilada.

- Etapa de carga: En esta etapa tiene lugar el intercambio de iones entre la disolución a tratar y el intercambiador. La disolución a tratar se introduce en la columna y fluye gradualmente a través del intercambiador. Las condiciones de operación (velocidad de flujo, pH de la disolución, entre otros), dependerán del tipo de intercambiador utilizado, y es importante optimizarlas para obtener un buen rendimiento en cuanto a capacidad y selectividad.

Cuando el intercambiador comienza a estar saturado con los iones de la disolución que entra, se observa un aumento de la concentración de dichos

iones en la disolución que sale de la columna. Esta descarga de iones se conoce como breakthrough, e indica que el tratamiento de la disolución por el intercambiador ya no está siendo efectivo. Una vez la concentración de estos iones en la disolución de salida iguala a la de la concentración de entrada, el intercambiador ha agotado toda su capacidad de intercambio en las condiciones de operación.

- Etapa de regeneración: La etapa de regeneración consiste en devolver el intercambiador saturado a su forma iónica inicial, empleando una disolución concentrada en el ion originariamente asociado al intercambiador (por ejemplo, un ácido mineral para una resina ácida fuerte). Esta etapa es importante en el proceso de intercambio iónico ya que el buen funcionamiento del intercambiador en sucesivos procesos de carga depende de una regeneración eficiente.

Para obtener el máximo rendimiento de esta etapa es importante optimizar parámetros como la concentración y volumen de disolución regenerante así como la velocidad de flujo.

La regeneración tiene dos inconvenientes importantes:

- El gasto económico en regenerante. Puede reducirse reutilizándolo hasta que pierda su eficiencia aunque esta opción tampoco es del todo económica ya que implica establecer unas condiciones para su almacenamiento.

- La generación de residuos, ya que después de regenerar el intercambiador se obtienen disoluciones altamente ácidas o básicas generalmente muy concentradas en metales que deben ser tratadas o eliminadas.

MODOS DE OPERACIÓN EN EL INTERCAMBIO IÓNICO EN COLUMNA

En los procesos de intercambio iónico en columna se puede trabajar de dos modos:

1. Las disoluciones de carga y de regeneración se introducen siempre por la parte superior de la columna.
2. El regenerante se introduce en dirección opuesta a la disolución de carga, es decir, por la parte inferior de la columna. Este proceso se denomina proceso en contracorriente.

El procedimiento más habitual es el primero, ya que supone un equipamiento más barato que el segundo. No obstante, este modo de operación utiliza el regenerante menos eficientemente que el proceso en contracorriente. En éste, al pasar el regenerante de abajo a arriba, se fluidiza el lecho de intercambiador, de manera que se aumenta la superficie de contacto, la regeneración es más rápida y se necesita menos volumen de regenerante.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE I.I. EN COLUMNA

Las instalaciones constan generalmente de dos lechos idénticos, de forma que si por uno de ellos circula la disolución que contiene los iones que se desea intercambiar, el otro se está regenerando.

Al inicio de la operación de un lecho, la mayor parte de la transferencia de materia tiene lugar cerca de la entrada del lecho donde el fluido se pone en contacto con intercambiador fresco. A medida que transcurre el tiempo, el sólido próximo a la entrada se encuentra prácticamente saturado y la mayor parte de la transferencia de materia tiene lugar lejos de la entrada. Debido a la resistencia que opone el sistema a la transferencia de iones desde el seno del líquido a los centros de intercambio, se establece un gradiente de concentración en el lecho. La región donde ocurre la mayor parte del cambio de concentración es la llamada zona de transferencia de materia, esta zona separa la zona virgen de la resina y la de saturación y sus límites frecuentemente se toman como $C/Co = 0,95$ a $0,05$.

A medida que progresa el intercambio iónico la zona de transferencia de materia se traslada en el lecho hasta alcanzar su extremo inferior, instante a partir del cual la disolución de salida contendrá cantidades crecientes de los iones que se desea intercambiar.

El tiempo transcurrido desde el comienzo de la operación en el lecho hasta que los iones de la disolución aparecen en la corriente de salida o más

concretamente, cuando se alcanza la máxima concentración permisible en el efluente, se denomina Tiempo de ruptura (t_R). En este momento, la corriente se desviaría a un segundo lecho, iniciando el proceso de regeneración del primero. La curva que representa la evolución de la concentración del efluente que abandona el lecho recibe el nombre de Curva de ruptura.

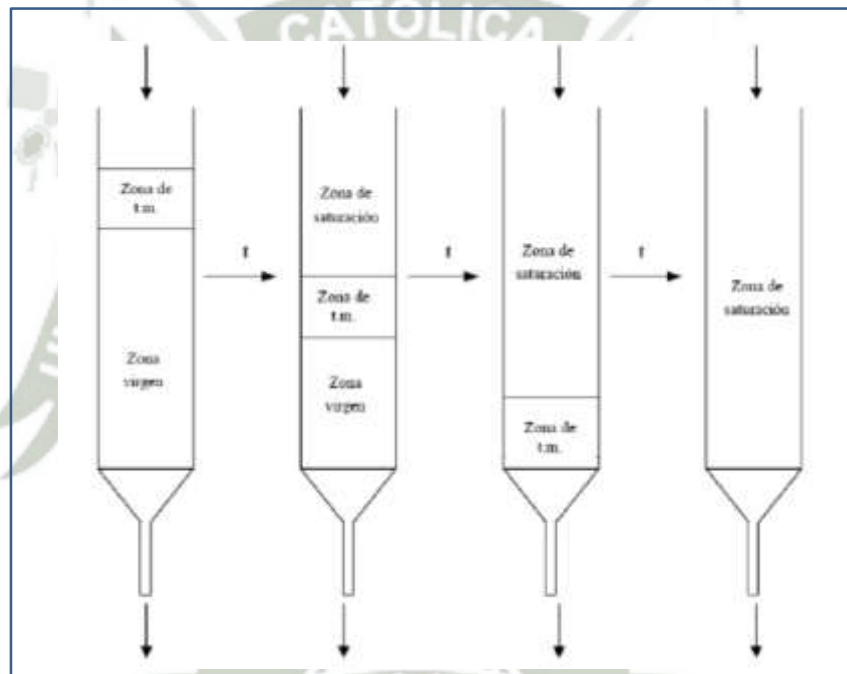


Figura 8. Evolución de la concentración en un lecho de intercambio iónico:

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

El conocimiento de la curva de ruptura, es fundamental para el diseño de un lecho fijo de intercambio iónico, y en general debe determinarse experimentalmente, dada la dificultad que entraña su predicción.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RESINA (CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO)

La capacidad de la resina es un parámetro fundamental para la selección del intercambiador ya que generalmente se requieren capacidades altas para la separación o purificación a realizar.

La determinación de la capacidad máxima de una resina catiónica se realiza intercambiando ésta con una disolución básica: se produce una reacción irreversible entre el catión saliente de la resina con los iones OH^- de la disolución de tal forma que si existe suficiente concentración de soluto llega a agotarse la capacidad total de la resina.

Para el cálculo de la capacidad de la resina en lecho fijo en unas condiciones determinadas es necesario conocer cuál es la cantidad total de soluto retenido por la misma. Este valor se puede determinar a partir de la curva de ruptura del sistema en función del volumen eluído, calculando el área de la zona comprendida entre la curva de ruptura y la línea recta horizontal correspondiente a la concentración de la disolución de entrada. Dividiendo este valor entre el peso total de resina contenido en la columna, se determinará la capacidad de la resina utilizada en ciertas condiciones.

FRACCIÓN DE LECHO UTILIZADO

La fracción de lecho utilizado en el punto de ruptura o a cualquier tiempo de la operación se puede determinar a partir de la cantidad de soluto retenida en ese punto y la capacidad de la resina.

La cantidad de soluto retenida a un tiempo dado se calcula determinando el área de la zona comprendida entre el tramo correspondiente de la curva de ruptura y la línea recta horizontal que corresponde a la concentración de la disolución de entrada.

LONGITUD DE LECHO NO UTILIZADO

Una vez iniciada la operación de intercambio, el perfil de en la zona de transferencia de materia adquiere pronto su forma característica y una anchura que no varía al desplazarse a través del lecho. Por tanto, si se utilizan diferentes longitudes de lecho, manteniendo constante el resto de las condiciones, se obtendrán curvas de ruptura de la misma forma. En lechos de gran longitud la zona de transferencia representa una fracción menor de forma que se utiliza una mayor fracción y longitud de lecho. La longitud de lecho no utilizado en un punto determinado se puede calcular a partir de la fracción del lecho utilizado y la longitud del lecho.

PASOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO

1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REGENERACIÓN

Se selecciona entre las dos alternativas posibles, regeneración en contracorriente o regeneración a favor de la corriente.

2. SELECCIÓN DE LAS CAPAS Y EL TIPO DE RESINA

Se selecciona la resina de acuerdo con las necesidades, teniendo en cuenta las características suministradas en la tabla 1. El concepto de capas de resina se aplica a lechos en los cuales se pondrán diferentes tipos de resinas de acuerdo con las necesidades.

3. EFICIENCIA QUÍMICA PARA DIFERENTES TIPOS DE CONFIGURACIONES DE RESINA

Específicamente la eficiencia química de regeneración, la cual es la cantidad de regenerante necesario con respecto a la capacidad de intercambio de la resina.

$$\text{Eficiencia química de regeneración} = \frac{\text{Cantidad de regenerante adicionado} * 100}{\text{Capacidad de I.I. teórica de la resina}}$$

Como el regenerante y/o proceso de regeneración no es ideal, la eficiencia química de regeneración será superior al 100%. En la siguiente tabla se ilustra la eficiencia química de regeneración usual para diferentes tipos de resina:

TIPO DE RESINA	SISTEMA DE REGENERACION	EFICIENCIA TIPICA DE REGENERACION (%)
Cationica de acido fuerte	Corriente HCL	200-250
	Contracorriente HCL	120-150
	Corriente H ₂ SO ₄	250-300
	Contracorriente H ₂ SO ₄	150-200
Cationica de acido débil		105-115
Mezcla de las anteriores		105-115
Aniónica de base fuerte tipo I	Corriente	250-300
	Contracorriente	140-220
Aniónica de base fuerte tipo II	Corriente	150-200
	Contracorriente	125-140
Aniónica de base débil		120-150
Aniónica en capas		120-130

Tabla 3. Eficiencias químicas de regeneración típicas.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

4. DESGASIFICADOS ATMOSFÉRICO

Se instala principalmente por economía, pues al remover el dióxido de carbono disuelto se reduce el consumo de NaOH como regenerante, compensando el costo del desgasificador. Para plantas pequeñas no es rentable (menor a 10 m³/h).

5. CAPACIDAD DE OPERACIÓN DE LA RESINA Y CONCENTRACIONES DE REGENERANTE

Dependiendo del tipo de resina se aconsejan determinadas concentraciones de regenerante. La concentración del regenerante y la composición del agua a tratar define la capacidad de operación de la resina. A continuación se listan las concentraciones de regenerante y las capacidades típicas de operación:

SISTEMA DE REGENERACIÓN	CONCENTRACIÓN DE REGENERANTE	CAPACIDADES TÍPICAS DE OPERACIÓN
	g/L	eq/L
A favor de la corriente		
HCL	80 - 120	0.8 - 1.2
H ₂ SO ₄	150 - 200	0.5 - 0.8
NaOH	80 - 120	0.4 - 0.6
A contra corriente		
HCl	40 - 55	0.8 - 1.2
H ₂ SO ₄	60 - 80	0.5 - 0.8
NaOH	30 - 45	0.4 - 0.6

Tabla 4. Concentraciones de regenerante y capacidades de operación.

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

6. NUMERO DE LÍNEAS O ETAPAS

Se refiere a la cantidad de columnas que se deben usar pues se tiene en cuenta que el sistema estará operando en continuo, sin detenerse, de manera que para regenerar una columna es necesario que otra esté funcionando, de manera que el número de líneas o etapas. La más simple que se tiene es un sistema de dos columnas, mientras una está funcionando,

la otra se está regenerando y funcionan alternamente. El número mínimo de unidades con mínima redundancia se puede calcular así:

$$\text{Numero de unidades} = \frac{\text{Tiempo de trabajo} + \text{tiempo de regeneración}}{\text{tiempo de regeneración}}$$

7. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE CAMAS MIXTAS

Empleadas en plantas des mineralizadoras principalmente. Se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. La relación de resina catiónica a aniónica es del orden de 40:60 a 60:40
- b. La tasa de flujo debe ser de 20-40 veces el volumen del lecho, por hora
- c. Los niveles de regenerante deben ser de: 80 – 100 g HCL/L o 120 – 160 g H₂SO₄/L para resinas catiónicas y 80 – 100 g NaOH/L para resinas aniónicas
- d. El máximo tiempo de operación debe de estar por debajo de 4 semanas continuas
- e. El mínimo espesor de la cama de resina catiónica debe de ser de por lo menos 45 cm.

3.2. METODO DE OSMOSIS INVERSA (OI)

El fenómeno de la Ósmosis está basado en la búsqueda del equilibrio. Cuando se ponen en contacto dos sustancias con diferentes concentraciones de sólidos disueltos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Si estas sustancias están separadas por una

membrana permeable (la cual permite el paso a través de uno de las sustancias), la sustancia que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración de tal forma que pasa la de mayor concentración. La ósmosis inversa es un proceso inventado o creado por el hombre que invierte el fenómeno de la osmosis natural, es uno de los procesos de separación con membranas, cuya fuerza de impulsión es la presión, pero a diferencia de la UF y la MF, en la RO la separación del soluto no es debida al tamaño del mismo, el objetivo de la ósmosis inversa es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua que está relativamente impura o salada. Esto se logra al separar de este caudal de agua contaminada con sales, un caudal menor de agua pura. En el proceso de ósmosis inversa, se le aplica presión a la solución que tiene más alta concentración de sales y así se fuerza un caudal inverso a través de la membrana semipermeable. No se trata de un proceso de filtración sino de un mecanismo de disolución-difusión. Las sustancias que pueden disolver y difundir pasan, retiene casi todo menos los compuestos orgánicos pequeños. (Los aldehídos se disuelven muy bien en las membranas).

La técnica de ósmosis inversa es la que tiene el mayor poder de retención, que alcanza hasta el no permitir el paso de las sales monovalentes disueltas, del orden de hasta los 10 Å. En el caso del Mal Ilega hasta el 99,9% de retención, y en la retención de compuestos de bajo peso molecular dependerá de la naturaleza y estructura de la membrana.

En general del 95 al 99% de los materiales disueltos en el agua pueden ser eliminados, dependiendo del abastecimiento del agua de entrada. El agua limpia producida puede estar entre 25,000 y 500,000 ohm/cm de conductividad. El agua residual o concentrada es entonces enviada al drenaje. Las membranas no se ensucian, y sólo necesitan ser limpiadas sobre una base anual, dependiendo de las condiciones del agua de entrada. La forma de retener estas sustancias se relacionan directamente con el peso molecular que posean y la geometría básicamente, con una capacidad de captar cerca del 99% de compuestos disueltos. Este proceso se utiliza por lo general en aguas salubres y de mar, en la que funciona con un rendimiento del 40 – 50 % y a una presión de unos 70 bares. En aguas salubres el rendimiento es del 75 – 85 % y la presión de funcionamiento es de unos 20 bares.

La Osmosis Inversa, encuentra una alta eficacia en tratamientos de deshidratación, concentración separación de sustancias de bajo peso molecular en solución o tratamientos de desecho, este sistema también es utilizado para purificar las aguas potables. En este caso se funciona a muy baja presión (7bares) y se consigue un 85 – 90 % de rendimiento. Los equipos de osmosis inversa eliminan contaminantes de hasta $0,001\mu$. El agua es bombeada por las bombas de alimentación que será llevado al filtro activo para eliminar residuos de cloro, olores, sabores extraños, así como algunas trazas de turbidez, seguidamente es sometida a una filtración por cartuchos de una micra que son la seguridad de las membranas de alguna incrustación pro sólidos suspendidos, posteriormente se somete a la

elevación de la presión del agua de acuerdo a la presión requerida por la membrana del tipo de agua que ingresa a las membranas donde se lleva a cabo el proceso de osmosis inversa, al extremo de los porta membranas se tiene una válvula que regula el producto y el rechazo de sales, este proceso es continuo y rápido, ya que al momento de que ingresa el agua a la membrana también sale el producto.

Algunos de los motivos por lo que selecciona un proceso de osmosis inversa

- a) Este método elimina todas las sales en general y no necesita de otro tratamiento adicional
- b) La calidad del agua es mejor que otros métodos.
- c) No hay pérdidas por paradas ya que es un proceso continuo.
- d) Su operación es completamente automática y sencilla.
- e) El tiempo de tratamiento del agua cruda es muy corto (segundos para obtener el producto).
- f) Los costos de producción son relativamente bajos, dependiendo del agua fuente.

Equipo

La RO utiliza membranas densas. Las unidades típicas incluyen bombas agua de alimentación, filtros y módulos de membrana, seleccionadas según tipo y tamaño de poro, entre los 2 y los 12 Å, y que pueden ir secuencialmente en serie. Se deberá contar además con medidores de presión, temperatura y caudal.

Este equipo puede operar en continuo, ya que el ensuciamiento de las membranas se puede producir después de muchas horas de operación, dependiendo de la naturaleza del agua de alimentación.

Las presiones aplicadas van de 10 hasta 50 bar, con membranas poliméricas (celulosa/poliamida).

Aplicaciones

- Desalinización de aguas
- Obtención de agua ultra pura.
- Tratamiento de aguas.

Ventajas

- a) Permiten la eliminación de todos los iones contaminantes inorgánicos y la mayoría de los iones disueltos. Poco o nada de los residuos de agua en comparación con el proceso de destilación.
 - Son relativamente insensibles a flujos y niveles de sólidos disueltos totales (TDS), y así, apropiado para sistemas pequeños con alto grado de fluctuación estacional en la demanda de agua.
 - La RO opera sin interrupciones y en continuo
 - Se eliminan también bacterias y partículas.
 - La simplicidad en la operación y en la automatización permite la menor atención del operador y hace a la RO adecuada para aplicaciones en sistemas pequeños.

- b) Físicamente el agua producida por el método de osmosis inversa tiene la ventaja de tener un color y olor aceptable, en cuanto al sabor este por la acidez tiene ciertas características que puede ser corregida con un post-tratamiento (desgasificación). El agua físicamente tiene características aceptables.
- c) No se agrega ningún producto químico para purificar el agua producto, el agua obtenida es de menor contenido de agentes químicos (sales, metales pesados etc.)
- d) Biológicamente el método de osmosis permite obtener agua microbiológicamente pura debido al alto rechazo de bacterias y virus que permite las membranas, la reducción de estas bacterias y virus es al 99%.
- e) El costo de producción de agua producto de osmosis es bajo con respecto a otros métodos de eliminación de nitratos por intercambio iónico, además con respecto al agua potabilizada por métodos convencionales; El sistema no consume energía muy alta y por lo tanto el costo y el ahorro de energía.
- f) Filtrar los minerales nocivos como el manganeso, el hierro plomo, y otras sales nocivas.
- g) Más ventajoso para aplicaciones comerciales.

Desventajas

- Las membranas son propensas al ensuciamiento.
- Alta inversión de capital y costes de operación.
- Importancia de la presión osmótica que se opone a la presión aplicada.

- Manejo de aguas residuales (solución de salmuera) es un problema potencial.
- En algunos casos se requiere un alto nivel de pre-tratamiento.
- Umbral de corte de las membranas no muy bien definido.
- El porcentaje de recuperación que oscila entre 60% y 80% según sea el agua fuente rechazando el resto.
- Utilización de altas presiones en el somatizado.
- También elimina algunos minerales útiles con la eliminación de sustancias nocivas.
- La acidez del agua es más alta que en algún momento puede ser perjudicial para la salud.
- En algún momento se puede sentir el agua sin sabor, si no se utilizan para con agua muy purificada.
- Se requiere gran cantidad de agua que otros sistemas. El despilfarro de agua es poco alto.
- El proceso es lento en comparación con otras alternativas de tratamiento de agua.

3.2.1. USO DE MEMBRANAS

3.2.1.1. DEFINICIÓN DE MEMBRANA

Una membrana se puede considerar que es una barrera o película permeo selectiva entre dos medios fluidos, que permite la transferencia de determinados componentes de un medio al otro a través de ella y evita o restringe el paso de otros componentes, siendo su principal característica

de las membranas, es de separar las fases y permite a través de ella algunos solutos y no permiten el paso de otros de modo selectivo.

Las membranas constituyen un amplio campo y se pueden clasificar según la fuerza de impulsión que utilizan, esto dependerá del tipo de fluido que se requiere tratar, Siendo en algunos casos esta fuerza de impulsión por presión hidráulica, también una diferencia de concentración entre las soluciones en contacto con la membrana, una diferencia de potencial eléctrico o una diferencia de presión parcial. (Alvarez, 2000, Luque, 2000)

En el ámbito industrial, una de las principales aplicaciones de las membranas es en la producción de agua potable a partir del agua de mar, se utiliza en el tratamiento de aguas residuales urbanas, descontaminación de efluentes industriales y también en la recuperación de productos de elevado valor añadido, (Groves, 1983, Perry, 1989, Mulder, 1991, Luque, 1995).

El transporte de componentes a través de la membrana se realiza siempre aplicando una fuerza impulsora. Esta fuerza impulsora puede ser debida a gradientes de concentración, presión, temperatura o potencial eléctrico.

Las membranas, para ser efectivas en los procesos de separación y filtración, han de ser resistentes químicamente (tanto con el alimento como con los productos de limpieza), mecánica y térmicamente estables, y tener una permeabilidad elevada, alta selectividad y resistencia a las operaciones.

La membrana, de acuerdo con el tamaño de las partículas del soluto que va a atravesar se clasifican, y valiéndose para ello, del denominado umbral de corte, que es un parámetro referido al peso molecular medido en Dalton, del producto más pequeño el cual es retenido por una membrana en un 90 o 95%, aunque en la retención influyen otros factores como la forma y carga de las moléculas, otros solutos, etc., (Cheryan, 1986, Mulder, 1991). Estas técnicas con membranas, cuya fuerza impulsora es la presión son Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF), Nanofiltración (NF) y Ósmosis inversa (OI).

La Microfiltración retiene partículas en suspensión con un diámetro medio de una micra, con tamaños que van de 0,05 a 10 micrómetros. Utiliza membranas porosas y el mecanismo de exclusión. Las presiones que se aplican van de 0,5 a 3 bares y se dispone de membranas con un amplio rango de materiales.

En las industrias actualmente es muy común emplear la microfiltración en la esterilización de fármacos, en la clarificación de vinos, cerveza y zumos de frutas, concentración de células, así como pre tratamiento para procesos posteriores de nanofiltración y ósmosis inversa, y en el tratamiento de aguas residuales utilizadas para remplazar filtros prensa, decantadores, etc.

La Ultrafiltración retiene macromoléculas, pero utiliza el peso molecular como índice de rechazo, ya que por tamaño de las moléculas no se puede determinar el umbral de corte. El intervalo está entre 1000 y 50000 Dalton, o

de 2 a 100 nanómetros. Utiliza como principio el mecanismo de exclusión mediante membranas porosas, de material polimérico o inorgánico. Presentan el problema del ensuciamiento. Las aplicaciones de la ultrafiltración se dan en la concentración y purificación empleadas en la industria lechera y de alimentos, en la metalurgia, textiles y automóviles y en el tratamiento de aguas residuales y otros efluentes.

3.2.2. TIPOS DE MEMBRANAS

3.2.2.1. CLASIFICACIÓN DE MEMBRANAS

Las membranas se pueden clasificar según su estructura, naturaleza, forma, composición química, carga superficial, morfología de la superficie, presión de trabajo y técnica de fabricación. (Fariñas, 1999), las membranas simétricas son microporosas y densas.

Naturaleza	Biológicas	Vivas (Bicapas lipídicas)
		No vivas (Arcillas)
		Inorgánicas
		Metálicas
		Vitreas
		Cerámicas
	Poliméricas	Polímeros funcionalizados
		Polímeros no funcionalizados
	Sintéticas	
	Líquidas	De Volumen
		De Emulsión
		Soportadas
	Compuestas	Por capas superpuestas
		Por inclusión
		Por mezclas de polímeros

y 200 nm, que sirve solamente como soporte. Estas son las más utilizadas en el ámbito industrial, especialmente en RO y UF.

Las membranas según su naturaleza son integrales y compuestas de capa fina. Son membranas compuestas de capa fina cuando la capa activa y el lecho microporoso de soporte corresponden a materiales diferentes. Y Se consideran integrales cuando hay continuidad entre la capa activa y el lecho poroso de soporte, y ambos son del mismo polímero, la misma composición química, y no hay una clara separación pero si un aumento progresivo de la porosidad.

En cuanto a la composición química las membranas pueden ser sintéticas y biológicas. Las sintéticas son poliméricas e inorgánicas. (Luque, 2000); Poliméricas cuando su capa activa se ha hecho utilizando un polímero o copolímero orgánico. A pesar de que hay muchos polímeros, copolímeros y mezclas, siendo éstas naturales o sintéticas, muy pocas son aptas para membranas como las de ósmosis inversa. (Fariñas, 1999)

Para la ósmosis inversa los compuestos orgánicos que han servido para fabricar membranas son acetato de celulosa (CA), triacetato de celulosa (CTA), poliamidas aromáticas (AP), Poliéter-urea, poliacrilonitrilo, polibencimidazola, polipiperacidamidas, polifurano sulfonado y polisulfona sulfonada.

Las membranas inorgánicas surgieron debido a las limitaciones de estabilidad química y resistencia a la temperatura de las poliméricas. Estas membranas inorgánicas se clasifican en cuatro grandes grupos que son cerámicas, vidrios, fosfacenos y carbonos.

3.2.3. CONFIGURACIONES DE LAS MEMBRANAS

3.2.3.1. Por el material de construcción

En la mayoría de los procesos de membranas los materiales utilizados pueden ser muy diferentes, ya que tanto el material como las configuraciones ofrecen muchas posibilidades. Debido a esto, se puede clasificar de varias formas, y según el elemento de referencia una de ellas, puede ser la naturaleza de la membrana: biológica o sintética. Siendo muy diferentes en estructura y funcionalidad.

3.2.3.2. Membranas Simétricas

En el caso de necesitar suficiente fuerza mecánica, el espesor de estos sistemas por lo general es considerable, siendo esta una desventaja a la hora de conseguir flujos elevados, que exigen capas de separación delgadas. La solución a este problema son las estructuras.

3.2.3.3. Membranas Asimétricas

Estas consisten en un sistema soporte que lleva poros grandes (provoca la baja resistencia al flujo) de resistencia mecánica suficiente, sobre esta se depositan capas delgadas con tamaño de poro gradualmente decreciente. Mediante tratamientos adicionales, tanto el diámetro de poro como la naturaleza físico-química de las paredes de los poros pueden cambiar. El espesor de la película microporosa varía desde unas pocas decenas de nanómetros hasta unas pocas micras.

3.2.3.4. En función a su forma

Estas configuraciones son las de módulos de placas, tubulares, espirales y de fibra hueca.

3.2.3.5. Membranas del tipo Placas

Las del tipo placas se utilizó en un principio, estas se constituían por un grupo de membranas planas, de forma rectangular o circular las cuales se apoyan en mallas de drenaje o placas porosas. Estas membranas son separadas con espaciadores cercanos a los 2 mm. Figura.; Con estas membranas, la membrana sirve como barrera selectiva, la cual es suficientemente grande para poder resistir las presiones de filtración. Debido a esto, el flujo que va a través de las membranas puede ser, tanto desde adentro hacia afuera, o desde afuera hacia adentro. El diámetro de las membranas es mucho más pequeño que el de las membranas tubulares, concretamente de 0.5 a 5mm.

Por este diámetro menor es que las probabilidades de obstrucción con una membrana capilar son mucho mayores. Y una ventaja es que la densidad de empaquetamiento es mucho mayor.

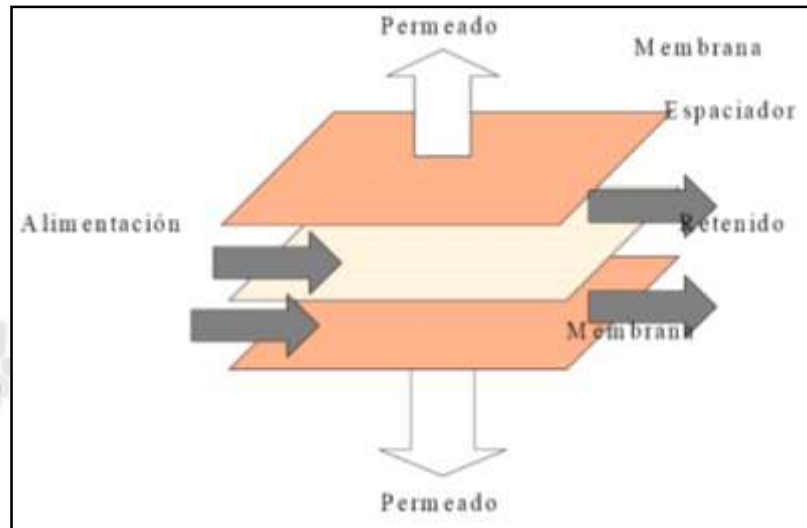


Figura 9: Membranas del tipo placas

Fuente: Módulo de Placas (Fariñas, 1999)

3.2.3.6. Membranas Tubulares

Las del tipo tubular, se fabrican utilizando como soporte un tubo perforado o poroso, dentro de este se alojan las membranas tubulares. Figura; Estas no son membranas autosuficientes; Están situadas dentro de un tubo, hechas de un tipo especial de material. Este material es la capa que sostiene a la membrana. Debido a que las membranas tubulares se localizan dentro de un tubo, el flujo en una membrana tubular es generalmente del revés. La causa principal de esto es que la unión de la membrana a la capa que la sostiene es muy débil. Las membranas tubulares tienen un diámetro de 5 a

15 mm. Debido al tamaño de la superficie de la membrana, siendo poco probable que estas membranas puedan obstruirse

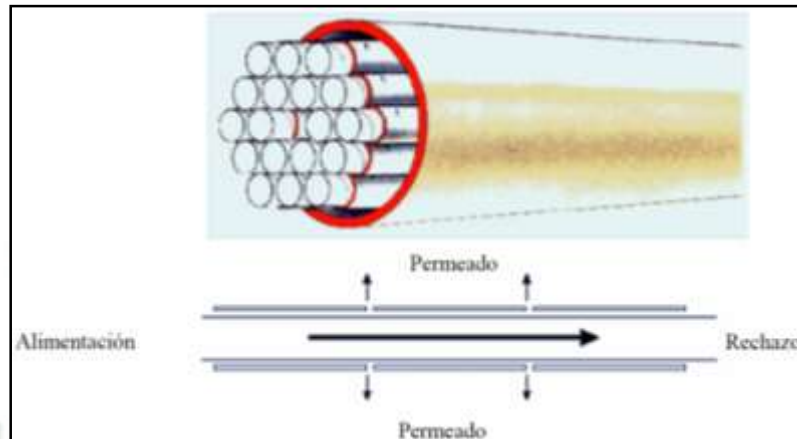


Figura 10: Membranas Tubulares

Fuente: Módulo Tubular. (P.C.I. Membranes).

3.2.3.7. Membranas en forma de Espiral

Aquellas del tipo espiral se constituyen por membranas planas, las que se enrollan en espiral en torno a un tubo central de plástico, los que tienen orificios. Como se muestra en la Figura 10. En este tipo, el permeado discurre por el tubo el cual está ubicado en el centro de la membrana. El módulo se forma a partir de una lámina rectangular de membrana semipermeable que se dobla por la mitad, así forma la capa activa que va en su exterior. Entre las dos mitades se coloca un espaciador que permite que el permeado de la membrana circule y se colecte en el tubo central.

Sobre la capa activa de la membrana se coloca una malla la cual tiene canales de distribución, con la intención de repartir uniformemente sobre la membrana el flujo de alimentación a tratar.

La estanqueidad entre el flujo de alimentación y el permeado se mantiene sellando con un fijador en los laterales, al tejido colector de permeado y la membrana, de tal manera que el adhesivo penetre perfectamente en los tejidos. Estos laterales del tejido colector de permeado también se pegan al tubo central, como se ve en la Figura. Todo el paquete va envuelto alrededor del tubo central formando un cilindro, que finalmente va recubierto con una capa de resina epoxi que se refuerza con fibra de vidrio.

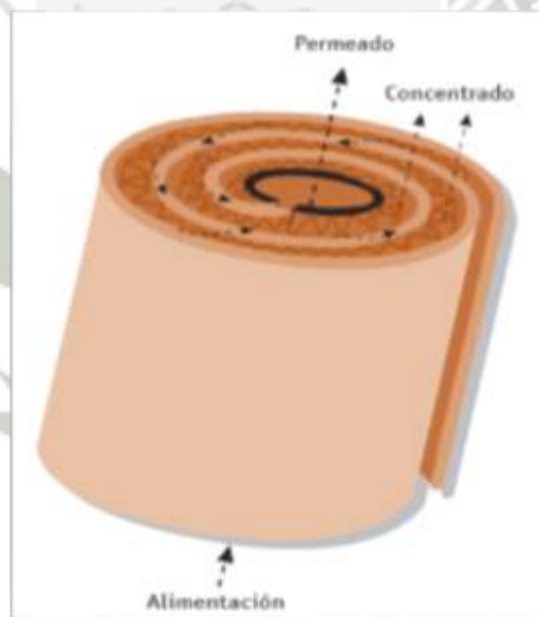


Figura11: Membrana en espiral.

Fuente: Sección Transversal de membrana (Fariñas, 1999)

3.2.3.8. Membranas de Fibra Hueca

Los equipos de se constituyen por fibras huecas se caracterizan por llevar varias membranas de fibra hueca instaladas en forma paralela a un tubo central. Estas membranas se sujetan en ambos extremos con resina epoxi, que permite darle estabilidad al haz formado; Estos módulos de fibra hueca pueden configurarse también en forma de U, con lo que solamente un extremo está pegado con resina epoxi. Las membranas de fibras huecas tienen un diámetro inferior a $0.1\mu\text{m}$. Por lo que las posibilidades de obstrucción de una membrana de fibras huecas son muy elevadas. Estas membranas solo pueden ser usadas para el tratamiento de agua con un bajo contenido de sólidos suspendidos. La densidad de empaquetamiento de una membrana de fibras huecas es muy alta. Las membranas de fibras huecas son casi siempre usadas solamente para nanofiltración y ósmosis inversa (RO), El porcentaje de rechazo de las membranas de fibra hueca suele ser ligeramente menor a las de arrollamiento en espiral, aunque siempre mayor del 99%.

Las de fibra hueca necesitan mayor presión para operar que las de espiral, con lo que su consumo de energía es también mayor; La mayor compactación de las membranas de fibra hueca presupone una mayor posibilidad de ensuciamiento de las mismas, y lo que esto representa (mejor pre tratamiento y sistemas de limpieza); Las membranas de fibra hueca tienen más capacidad ya que ocupan mucha más superficie en el mismo volumen de módulo, aunque sean menos permeables.

3.2.4. POR SU MORFOLOGÍA DE LA SUPERFICIE

3.2.4.1. Membranas Densas

En estas membranas el mecanismo de transporte depende de la solubilidad y de la difusividad de la molécula transportada a través del material. Y en cuanto a la permeabilidad está controlada por el espesor de la membrana y por las propiedades físicas y químicas del polímero: cristalinidad, estructura de la cadena, humedad, etc. Comparando con las de superficie lisa, a la membrana de poliamida de superficie rugosa, propensa a ensuciarse, pero esto le dará mayor retención.

3.2.4.2. Membranas Lisas

Es el caso de la membrana de acetato de celulosa, con su superficie lisa es menos propensa a ensuciarse.

3.2.5. SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

Si se habla de composición química se toma a las Orgánicas e inorgánicas; Dentro de las membranas orgánicas, la más usada es la de celulosa y sus derivados. Cuando hablamos de tratamiento de agua se utilizan las de di y tri acetato, las cuales son relativamente resistentes al cloro y se utilizan en desalación, desendurecimiento, desinfección y clarificación. Entre las que son también importantes son las de poliamida por su estabilidad térmica química e hidrofílica, pero son sensibles a la degradación oxidativa (cloro). Las de poliamida retienen más trazas orgánicas que las de acetato de celulosa; Ambas membranas de origen polimérico son sustancias formadas por la repetición ordenada de los monómeros orgánicos que da lugar a sustancias de alto peso molecular con estructuras más o menos complejas.

Para seleccionarlas se toma en cuenta el tamaño y la dispersión de los poros, lo cual está determinado casi exclusivamente por el método de fabricación de la membrana, sin embargo la naturaleza del polímero en estas membranas microporosas solo afectaran a propiedades como la absorción física y química y a la estabilidad física, química y térmica; entre tanto las Membranas Inorgánicas, poseen mayor estabilidad química, mecánica y térmica en comparación con las orgánicas. Por sus costos es la más utilizada en la industria química, principalmente para tratamiento de fluidos agresivos o de alta temperatura y donde se precisa esterilización térmica. Tenemos las de tipo: Metálicas, Cerámica, Vidrios.

Las Membranas Metálicas se obtienen principalmente por sinterizados de polvo metálico de wolframio, molibdeno, níquel, hierro, aluminio, platino, cobre, plata, oro, etc. Su principal aplicación es la purificación o la separación de gases con alta difusividad, principalmente hidrogeno, no obstante también se fabrican membranas de track etched de microfiltración bombardeando (por una cara o por los lados) láminas de aluminio o silicio, si lo que se quiere es membrana de ultrafiltración lo que se hace es recubrir las paredes de los poros con oxido de aluminio. Estas membranas se producen tanto en láminas planas como en módulos de espiral, se han comercializado también membranas tubulares de acero inoxidable con tamaño de poro entre 0.001 y 1.0 μ m.

Las Membranas de Vidrio Se preparan a partir de óxido de silicio (SiO_2) y en función a los aditivos añadidos en su preparación (boro, fósforo, sodio, etc.) las propiedades pueden ser distintas, aunque la estructura: silica no es muy resistente químicamente, se puede mejorar parcialmente con un tratamiento

superficial de la estructura interna de los poros haciendo a la superficie una hidrofobia. Las membranas metálicas o de vidrio pueden soportar temperaturas superiores a 1000°C propiedad fundamental en su principal aplicación, la separación de gases o la catálisis de reacciones gaseosas a altas temperaturas si analizamos la estabilidad mecánica de estas membranas encontramos ventajas como desventajas aunque poseen un módulo de tensión muy alto, sin embargo son materiales frágiles de ahí que puedan soportar altas presiones pero se rompen fácilmente por golpes o vibraciones.

Las membranas cerámicas son las más desarrolladas ya que poseen un campo de aplicación mucho más amplio se fabrican por combinación de un metal (normalmente aluminio, titanio, zirconio) con un no metal formando óxidos metálicos principalmente óxidos de aluminio (Al_2O_3) y las de óxido de zirconio (ZrO_2) los métodos de fabricación de estas membranas son muy diversos, sinterizados, procesos de deshidratación de geles anodinados sobre una capa de metal. Las membranas cerámicas son capaces de soportar temperatura hasta 800 °C limite por encima de las membranas orgánicas las cuales como mucho pueden llegar a 300°C esta resistencia térmica aumenta las posibilidades de trabajo con estas membranas el lavado a elevadas temperaturas es mucho más eficaz pudiéndose esterilizar con el paso de vapor de agua, estas membranas son más estables frente a variaciones de pH, siendo capaces de soportar casi todos los disolventes orgánicos.

Las Membranas mixtas están compuestas en una de las dos capas por un polímero mientras que la otra es un material inorgánico, generalmente

cerámico, la razón de emplear este último son sus características de resistencia térmica, mecánica y química por otra parte, al tener materiales cerámicos porosidades elevadas y pocos problemas de absorción y ensuciamiento, contribuirán poco al valor total de la resistencia de la membrana. La capa fina será un material polimérico que se elegirá en función de la aplicación que se quiere dar a la membrana.

Cuando hablamos de tratamiento de agua por el método de Osmosis Inversa, los tipos más importantes de membranas que se usan en la industria de la purificación del agua por ósmosis inversa son la de acetato de celulosa y de poliamida, las cuales se mencionaran a continuación

El acetato de celulosa, como membrana semi-permeable en la purificación de aguas por osmosis inversa, es un polímero hidroxílico, hecho en largas cadenas de glucósido beta (de 30,000 a 60,000 unidades) que han sido acetilados con anhídrido acético y luego hidrolizado para reducir la acetilación a 40%. El polvo de acetato, es aprovisionado y moldeado para la membrana de Osmosis inversa, que es semi-permeable, es decir permeable al agua pero no a las sustancias disueltas.

PROPIEDADES DE LA MEMBRANA DE ACETATO DE CELULOSA

- Moderada tolerancia a oxidantes incluyendo cloro libre.
- Son Biodegradables.
- Superficie lisa, menos propensa al ensuciamiento.
- Carga superficial neutra.
- Rápido incremento del paso de sales.
- Tendencia a compactación.

- Pérdida de flujo permeado.
- Sensible a hidrólisis por pH.
- Límite de temperatura 35°C.

Es un sólido blanco, inodoro, insípido y atóxico, se fabrica con sustituciones que varían desde 2.3. a 3.0 o sea 60 a 62.5% de ácido acético combinado, no ha tenido mucha aplicación, a causa de su poca solubilidad.

Con respecto a su utilidad, diremos que las propiedades principales son su solubilidad en disolventes baratos como la acetona, la transparencia y el poco color de sus soluciones y plásticos, su termo plasticidad a temperaturas menores que su punto de carbonización, su excelente estabilidad y la propiedad de poder hilar en filamentos finos. Su buena resistencia en película y plástico, es una propiedad que está en relación con su alto promedio en longitud en cadena así como su bastante uniformidad de distribución de longitud de cadena, que caracteriza a todos los derivados de celulosa.

En comparación con otros derivados y polímeros sintéticos es limitada su compatibilidad con buenos plastificantes y resinas, sin embargo, es lo bastante buena en éste respecto, para su vasta aplicación en películas y plásticos.

La membrana de poliamida se constituye por un grupo de fibras sintéticas formadas por un ácido dicarboxílico y una diamina.

PROPIEDADES DE LA MEMBRANA DE POLIAMIDA

- Material plástico, no biodegradable muy sensible a oxidante.
- Superficie áspera, más propensa al ensuciamiento.
- Carga superficial negativa.
- Incremento del paso de sales progresivo ilimitado con el tiempo.
- Muy baja o ausente compactación.
- Amplio aspecto de pH.
- Límite de temperatura hasta de 45°C

Las condiciones de trabajo de la membrana de poliamida para la alimentación del agua, como la membrana es sensible a los oxidantes como el cloro, bromo y ozono, igualmente es sensible a la actividad biológica por ello es necesario un pre tratamiento antes que ingrese el flujo a la membrana, mencionamos unos puntos que se deben tener en cuenta:

- Oxidación de materia orgánica (dosificación de oxidante).
- Filtración de partículas (filtro de arena).
- Filtración para la retención de oxidantes (filtro de carbón activo).
- Filtración de seguridad (microfiltración).
- Adición del antiescalante (dosis de acuerdo al tipo de agua).

DIFERENCIAS ENTRE MEMBRANA DE POLIAMIDA Y ACETATO DE CELULOSA

MEMBRANA DE POLIAMIDA
CELULOSA

MEMBRANA ACETATO DE

<p>Actividad biológica</p> <p>Debe estar controlada durante la operación de manera que la cantidad y calidad del agua producto no sea afectada</p> <p>Cloro /Bromo</p> <p>El contenido total debe ser inferior a 0,1mg/lit.</p> <p>Químicos</p> <p>El agua de alimentación debe estar libre de oxidantes fuertes como H_2O_2, O_3, $KMnO_7$, $NaSO_4$, CH_3CO_3H.</p>	<p>Actividad biológica</p> <p>Debe estar controlada durante la operación de manera que la cantidad y calidad del agua producto no sea afectada.</p> <p>Cloro</p> <p>El contenido en el agua de alimentación debe ser inferior e igual a 1 mg/l. se recomienda que se mantenga siempre un residual, dentro de los límites aconsejados.</p> <p>Químicos</p> <p>El agua de alimentación debe estar libre de oxidantes fuertes como</p>
---	--

<p>PH</p> <p>En operación continua debe ser mayor a 2 y menor a 11 a 45°C (11 a 40°C)</p>	<p>H₂O₂, O₃, KMnO₇, NaSO₄, CH₃CO₃H.</p> <p>PH</p> <p>En operación continua debe ser mayor a 4 y menor a 7. (11 a 35°C)</p>
--	--

Tabla 5: Diferencias entre membrana de poliamida y acetato de celulosa

Fuente: Propuesta de laboratorio de procesos unitarios Revisión bibliográfica y propuestas metodológicas Universidad del Cauca Popayan, Cauca, Colombia

De las diferencias de membranas de acetato de celulosa y la de poliamida se ve claramente la versatilidad y mejor adaptabilidad la membrana de poliamida.

3.2.6. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LAS MEMBRANAS

Las principales ventajas de usar membranas en que son de menor costo entre las tecnologías de objetivos similares, se tiene una alta selectividad, de diseño simple, son de trabajo en continuo y en condiciones poco forzadas, son de fácil cambio de escala, y tienen una alta flexibilidad para ser ajustada a diferentes procesos y fácil de ser combinada en procesos híbridos. Lo más importante es que puede ser combinada con un proceso tradicional, puesto

que hay procesos que no son suficientemente eficaces, pero al trabajar conjuntamente con membranas pueden dar muy buenos resultados, por último se considera como una de las mejores tecnologías medioambientales disponibles por su gran selectividad para efluentes.

Las principales limitaciones, se basan en la polarización de la concentración, en su ensuciamiento de las membranas, y en el bajo tiempo de vida de las membranas.

3.2.7. ENSUCIAMIENTO DE MEMBRANAS

Cuando se habla de ensuciamiento, es necesario distinguir entre polarización de la concentración y ensuciamiento, aunque estos dos fenómenos no son completamente independientes, ya que el ensuciamiento es favorecido por la polarización por concentración. (Mulder, 1991).

Si la concentración del flujo de alimentación aumenta y se produce la adsorción, o interacción química de sustancias en la superficie de la membrana o al interior de los poros, entonces aumenta la polarización de la membrana, puesto que los depósitos sobre las mismas retrasan la retro difusión de los solutos hacia la corriente principal, ocasionando una disminución de la productividad y un aumento en el paso de esos solutos, y por consiguiente una mayor concentración del permeado.

Es por eso que aparece el ensuciamiento de la membrana, que ya constituye un estado permanente mientras no se le limpie debidamente, para lo que se

puede utilizar sustancias químicas, y ya no simplemente con agua, como se afirmaba para el caso de polarización de la concentración.

El ensuciamiento se debe a las interacciones soluto-soluto y soluto – membrana, pero para cada aplicación tiene un origen determinado, de acuerdo con el material de la membrana y la solución a tratar.

3.2.8. ORIGEN DE ENSUCIAMIENTO

El ensuciamiento de las membranas se puede deber a los siguientes agentes

Físico-químicos: adsorción de moléculas sobre la superficie de la membrana o su interior.

Químicos: poca solubilidad en la capa de polarización o insolubilización por cambio de condiciones. Precipitación sobre la superficie de la membrana de sales minerales y óxidos metálicos.

Mecánicas: depósitos en los poros de la membrana, bloqueándolos.

Hidrodinámicos: irregularidad en el reparto del flujo, que acelera la concentración por polarización y el ensuciamiento en zonas de la membrana que trabajan con conversiones elevadas, y la existencia de zonas muertas, que tienen muy poco flujo.

Otros: ensuciamientos extraños, como el de azufre coloidal, cuando en un pozo de captación de agua, hay H₂S, y se inyecta cloro o entra aire en el

pozo, se puede llegar a formar azufre coloidal por oxidación del H₂S por parte del oxígeno o del cloro. Este azufre coloidal es muy difícil de eliminar.

3.2.9. CONSECUENCIAS DEL ENSUCIAMIENTO

La consecuencia es la reducción del tamaño aparente de los poros e incremento de la selectividad con el paso del tiempo, pero con reducción de la velocidad de permeación, (flux). No obstante esta disminución aparente de los poros es de acuerdo a la estructura inicial de ellos, y del tamaño de las sustancias que causan ensuciamiento.

La disminución de la velocidad de permeación tiene una influencia negativa sobre la economía de una operación con membranas, y por consiguiente la medida a tomar es la de reducir su ocurrencia, lo cual se recomienda mediante el pretratamiento del flujo de alimentación, del que se espera sirva como método preventivo de este ensuciamiento, y preserve la membrana de sustancias o elementos agresivos.

Es conveniente que la solución de alimentación se haya sometido previamente a un pre-tratamiento, para un funcionamiento adecuado de las membranas y poder retener sustancias que se puedan depositar sobre la membrana, ya que es mejor evitar ese ensuciamiento, que pensar en protocolos de limpieza, puesto que estos van reduciendo su vida útil

En general los sistemas de membranas tienen una instalación de pre tratamiento, este pre tratamiento es un punto de análisis económico

importante, puesto que se evalúa frente a sus beneficios al evitar el ensuciamiento y la limpieza de la membrana.

3.2.10. FORMAS DE ENSUCIAMIENTO

El principal problema de los procesos de filtración por membranas es el ensuciamiento, el cual reduce el flujo y la capacidad de rechazo de las sales y aumenta el consumo energético y la presión de alimentación. El ensuciamiento se controla con un adecuado pre tratamiento, como la adición de productos químicos y un manejo adecuado. Los cuales se pueden presentar de cuatro formas: coloidal, incrustación, biológico o químico.

3.2.10.1. ENSUCIAMIENTO COLOIDAL

Esto sucede en todos los procesos de filtración por presión, independiente del origen de las aguas. El ensuciamiento coloidal se origina por los sólidos en suspensión que quedan atrapados en los poros de las membranas. Los coloides las arcillas, sílice, hidruros e hidróxidos metálicos y restos orgánicos. Estos contaminantes pueden eliminarse utilizando varios tipos de filtración antes del proceso de membranas.

3.2.10.2. ENSUCIAMIENTO POR INCRUSTACIONES

Se presenta cuando se precipitan las sales pocos solubles y metales. Las incrustaciones son generalmente debidas a carbonato cálcico y sulfatos de

bario, de calcio o de estroncio. Menos frecuentes son las incrustaciones de sílice, fluoruro cálcico y fosfato cálcico. En los sistemas de OI precipitan a veces hierro y manganeso como resultado de su oxidación con oxígeno u otros oxidantes químicos. Las incrustaciones pueden controlarse eficazmente añadiendo anti-incrustantes al agua de entrada o reduciendo el pH.

3.2.10.3. ENSUCIAMIENTO BIOLÓGICO

Ocurre en las membranas cuando se ha eliminado la cloración del agua de entrada o cuando el agua de entrada es biológicamente activa. El ensuciamiento biológico afecta a las membranas de varias maneras. Cuando las bacterias colonizan las membranas y se multiplican producen una mucosidad que supone un importante factor contaminante. El control del ensuciamiento biológico se realiza con la adición del cloro, productos químicos específicos.

3.2.10.4. ENSUCIAMIENTO QUÍMICO

Esto sucede cuando compuestos orgánicos solubles se adhieren a la superficie de las membranas o reaccionan con otros aditivos o constituyentes presentes en el agua de entrada. El ensuciamiento químico puede controlarse con una selección cuidadosa de los aditivos químicos, el tipo de membranas y con limpiezas a las mismas

Todos estos parámetros anteriormente citados y constantes dependen del tipo de membrana empleada. Las membranas que se fabrican actualmente se montan dentro de tubos horizontales de diámetros normalizados llamados módulos, para mejorar su rendimiento y la limpieza, minimizar la polarización, hacerlos más compactos y facilitar su sustitución. Existen dos tipos de membranas contenidas en estos módulos: de fibra hueca y de arrollamiento en espiral, diseñados ambos para contener el fluido en alta presión en el menor volumen para una superficie de membrana dado.

3.2.10.5. LIMPIEZA PREVENTIVA

Al hablar de limpieza preventiva se debe considerar que en algunos casos, como en plantas pequeñas, esta limpieza permite al sistema operar sin dosificación de ácidos, inhibidores de incrustaciones o ablandamiento. Se trata de sistemas que operan con una recuperación hasta el 25 %, y los elementos de membranas son reemplazados después de 1 o 2 años.

El método más simple de limpieza es un lavado rápido y abundante a baja presión, por apertura de la válvula del concentrado. Debe hacerse en intervalos cortos; así es más efectivo que largos periodos: por ejemplo 30 segundos cada 30 minutos.

En síntesis, para sistemas como los de plantas pequeñas, (hasta 380 m³/día, Ray, R.J.,1992), una baja recuperación combinado con un programa de limpieza preventiva es una forma recomendada para controlar las incrustaciones.

3.2.10.6. LIMPIEZA DE MEMBRANAS

Al hablar de limpieza de membranas, primero se debe considerar la detección del ensuciamiento, el requerimiento de limpieza se convierte en una urgencia cuando se reduce la velocidad de permeación en forma significativa, con problemas tan difíciles de resolver como el ensuciamiento al interior de los poros, dificultando la recuperación total de la membrana a pesar de que se use agentes químicos a elevadas temperaturas.

Se recomienda la limpieza de la membrana cuando sea más económico limpiarla que remplazarla. Las pequeñas membranas de agua potable generalmente son remplazadas más que limpiadas. La frecuencia de la limpieza de las membranas más grandes depende del pre tratamiento del agua de alimentación y la composición del agua de alimentación. La obstrucción de las membranas está asociada con una disminución en la productividad y en la calidad, así como en un incremento en la caída de la presión a través de los elementos. Una reducción del 10-15% ya sea en la productividad o en la calidad del agua es indicativo de que se requiere la limpieza.

Es importante recordar que un cambio en la temperatura del agua de alimentación, en el contenido mineral o en la presión, afectara también la alimentación, calidad del agua

Si las membranas se ensucian en un corto periodo de operación del sistema, la recuperación de membranas es muy factible. Sin embargo cuando una membrana sucia sigue trabajando, puede llegar a un estado irreversible

totalmente, por atascamiento, creando caminos preferenciales, que evitan que el agente de limpieza llegue donde se le requiere.

En un sistema de ósmosis inversa los parámetros más importantes son su pérdida de carga, su producción (caudal de permeado) y el porcentaje de rechazo de sales. (Fariñas,1999). las cuales dependerán de algunas variables, como: Presión de funcionamiento, Temperatura del sistema, Salinidad, Porcentaje de recuperación.

El ensuciamiento o precipitación en las membranas se puede detectar por el seguimiento de los parámetros en el tiempo, bajo condiciones estacionarias. Por ejemplo, una primera señal de ensuciamiento es la pérdida de carga a través de los módulos, que suele suceder antes de que el porcentaje de rechazo de sales o la velocidad de permeación comiencen a disminuir; El paso de sales es también un buen indicador, el cual cuando la membrana está limpia, no varía en un lapso importante de tiempo; también se puede considerar para saber cuándo limpiar la membrana son la variación del caudal de rechazo y de permeado, y la necesidad de incrementar la presión de operación.

Se recomienda realizar limpiezas preventivas periódicamente, ante la sospecha de que hay ensuciamiento, verificando antes que esta situación no sea atribuible a otros motivos.

3.2.11. MÉTODOS DE LIMPIEZA

Para poder elegir un método específico depende del agente que provoca el ensuciamiento, pero en principio se hace un enjuague con agua para que la suciedad no se quede adherida a su superficie. Luego se hacen unos tratamientos, hasta que recupere sus condiciones iniciales. Mulder, 1991, distingue los siguientes métodos de pre tratamiento: Limpieza hidráulica, Limpieza mecánica, Limpieza química; Limpieza eléctrica

3.2.11.1. Limpieza Hidráulica. Incluye el lavado con permeado a presión y retroalimentación, que solo es aplicable a membranas de microfiltración y ultrafiltración. Se utiliza normalmente durante las paradas, a fin de:

- a. Disminuir el retorno de solvente por ósmosis natural.
- b. Eliminar completamente la solución a tratar, del interior de las tuberías y de los módulos del sistema, evitando corrosión de partes metálicas y precipitación posible de sales.

Lo anterior también se realiza para desplazar reactivos del interior de la planta, cuando esta se somete a limpieza química. Son limpieza hidráulica también la presurización y despresurización, y el cambio en la dirección del flujo con una frecuencia dada.

3.2.11.2. Limpieza Mecánica. Solo se puede aplicar a sistemas tubulares, donde se utiliza un cepillo o una esponja para retirar la suciedad de las

membranas. También haciendo circular bolas de esponja, como se acostumbra a hacer con los condensadores de las centrales térmicas.

Esta limpieza mecánica no es posible en los módulos espirales ni de fibra hueca, por no tener acceso a su superficie activa. Pero debido a lo delicado de la superficie activa no se recomienda este método de limpieza, en general.

3.2.11.3. Limpieza Química. Es el método más importante para reducir el ensuciamiento, con diversos químicos que se utilizan separados o en combinación, que se hacen recircular por los módulos para disolver las precipitaciones o remover depósitos de las membranas.

Los pasos recomendados a seguir para realizar la limpieza química son: Identificación del problema; Selección del sistema de limpieza; Formulación para el tipo de ensuciamiento.

La siguiente tabla muestra los diferentes químicos que se utilizan para limpieza y los contaminantes que son removidos de la membrana.

QUIMICO PARA LIMPIEZA	CONTAMINANTE
<p>Tripolifosfato de Sodio + Duodecibenceno sulfonado de Sodio</p>	

<p>Ajustar el pH a 7.5 con ácido sulfúrico (H_2O_4)</p> <p>-Mezclar 17.0 lbs de Tripolifosfato de Sodio y 2.3 lbs de Duodecilbenceno sulfonado de Sodio y 100 gals de agua producto de OI</p>	<p>Bacterias</p>
<p>Hidróxido de Sodio + Acido etileno diamino tetracético de Sodio (EDTA)</p> <p>Mezclar 0.1% por peso de Hidróxido de Sodio ($NaOH$) con 0.1% por peso de Acido etileno diamino tetracético de Sodio (EDTA) ($Na-EDTA$). Corregir el pH a 12.0, 86°F (30°C) máx.</p>	<p>Sílice</p> <p>Películas</p> <p>Biológicas- Orgánicas</p>

TABLA 3: Soluciones químicas para limpiar contaminantes pegados a la membrana

Fuente: Manual de Ingenierías/Tratamiento de Aguas revista opflow, Mayo 2002 American Waterworks Association.

Nota: Los criterios arriba citados fueron tomados de información suministrada por Hydranautics, Desal y Filmtec

CAPITULO IV

4. CALCULO DE ABLANDADOR

El presente cálculo se realiza utilizando el procedimiento de la norma
BMS 5634

Datos de la caldera

Potencia de la caldera 6.8 BHP

Presión de trabajo 75 psig

Calculo de flujo másico

$$m_v = \frac{6.8 * 34.5}{2.2} * \frac{1}{3.875 * 60}$$

$$m_v = 0.46 \text{ gpm}$$

$$m_v = 220 \text{ gpd}$$

Sales disueltas en la red

$$M_{CaCO_3} = 145 \text{ ppm}$$

$$M_{MgCO_3} = 13 \text{ ppm}$$

CALCULO DEL VOLUMEN DEL ABLANDADOR

$$\text{Cap. Especif.} = 2 \frac{\text{gpm}}{\text{pie}^3}$$

$$\text{Volumen} = \frac{0.46}{2} * 0.02832$$

$$\text{Volumen} = 0.0064 \text{ m}^3$$

DIÁMETRO DEL ABLANDADOR

$$d = \sqrt[3]{\frac{\text{volumen}^2}{3.1416}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{0.0064^2}{3.1416}}$$

$$d = 0.160 \text{ m}$$

ALTURA DEL ABLANDADOR

$$h = 2d$$

$$h = 2 * 0.160$$

$$h = 0.32 \text{ m}$$

CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA

$$v_{res} = \frac{0.6 * volumen}{0.02832}$$

$$v_{res} = \frac{0.6 * 0.0064}{0.02832}$$

$$v_{res} = 0.14 \text{ pie}^3$$

CALCULO DE GRANOS POR GALÓN

$$1 \text{ Grano } \frac{\text{CaCO}_3}{\text{gln}} = 17,1 \text{ ppm CaCO}_3$$

$$1 \text{ ppm CaCO}_3 = 0,84 \text{ ppm MgCO}_3$$

$$\text{Cap. Inter.} = 2500$$

$$\text{Cant. gran.} = \frac{\text{CaCO}_3}{17.1}$$

$$\text{Cant. gran.} = \frac{145}{17.1}$$

$$\text{Cant. gran.} = 8.5 \frac{\text{grano}}{\text{gln}}$$

VOLUMEN DE AGUA TRATADA

$$volumen_{h2o} = \frac{Cap. Inter. * v_{res}}{Cant. gran.}$$

$$volumen_{h2o} = \frac{2500 * 0.14}{8.5}$$

$$volumen_{h2o} = 406 \text{ gln}$$

TIEMPO DE SATURACION DE RESINA

$$t_{sat} = \frac{volumen_{h2o}}{m_v}$$

$$t_{sat} = \frac{406}{0.46}$$

$$t_{sat} = 886 \text{ min}$$

TIEMPO DESEADO DE SATURACION DE RESINA

$$t_{sat} = 10080 \text{ min} = 7 \text{ días}$$

VOLUMEN DE AGUA TRATADA

$$t_{sat} = \frac{\text{volumen}_{h_2o}}{m_v}$$

$$10080 = \frac{\text{volumen}_{h_2o}}{0.46}$$

$$\text{volumen}_{h_2o} = 4623 \text{ gln}$$

CALCULO DEL VOLUMEN DE RESINA

$$\text{volumen}_{h_2o} = \frac{\text{Cap. Inter.} * v_{res}}{\text{Cant. gran.}}$$

$$4623 = \frac{2500 * v_{res}}{8.5}$$

$$v_{res} = 1.57 \text{ pie}^3$$

VOLUMEN DE ABLANDADOR

$$v_{res} = \frac{0.6 * \text{volumen}}{0.02832}$$

$$1.57 = \frac{0.6 * \text{volumen}}{0.02832}$$

$$\text{volumen} = 0.07 \text{ m}^3 = 2.61 \text{ pie}^3$$

DIÁMETRO DEL ABLANDADOR

$$d = \sqrt[3]{\frac{\text{volumen}^2}{3.1416}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{0.07^2}{3.1416}}$$

$$d = 0.36 \text{ m}$$

ALTURA DEL ABLANDADOR

$$h = 2d$$

$$h = 2 * 0.36$$

$$h = 0.72 \text{ m}$$

CALCULO DE VOLUMEN DE SALMUERA

$$W_{ClNa} = 10 * v_{res}$$

$$W_{ClNa} = 15.65 \text{ lb}$$

Asumiendo una concentración del 10% de la salmuera

$$W_{Sal} = \frac{100 * W_{ClNa}}{2.2 * 10}$$

$$W_{Sal} = \frac{100 * 15.65}{2.2 * 10}$$

$$W_{Sal} = 71.14 \text{ Kg}$$

$$v_{Sal} = \frac{1.1 * W_{Sal}}{1000}$$

$$v_{Sal} = \frac{1.1 * 71.14}{1000}$$

$$v_{Sal} = 0.08 \text{ m}^3$$

CALCULO DE DIMENSIONES DE TANQUE DE SALMUERA

$$d = \sqrt[3]{\frac{8 * v_{sal}}{3 * 3.1416}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{8 * 0.8}{3 * 3.1416}}$$

$$d = 0.4 \text{ m}$$

$$h = 1.5 * d$$

$$h = 1.5 * 0.4$$

$$h = 0.61 \text{ m}$$

CALCULO DE FLUJO DE REGENERACION

$$flujo = 1 \frac{gpm_{sal}}{pie^3_{res}}$$

$$flujo_{reg} = flujo * v_{res}$$

$$flujo_{reg} = 1 * 1.57$$

$$flujo_{reg} = 1.57 gpm_{sal}$$

TIEMPO DE REGENERACIÓN

$$t = \frac{1000 * v_{sal}}{3.875 * flujo_{reg}}$$

$$t = \frac{1000 * 0.8}{3.875 * 1.57}$$

$$t = 13 \text{ min}$$

CALCULO DEL AREA DE LA TUBERIA DE REGENERACION

Velocidad recomendada en tuberías 3 m/s

$$A_{Tub} = \frac{flujo_{reg} * 3.875}{180000}$$

$$A_{Tub} = \frac{1.57 * 3.875}{180000}$$

$$A_{Tub} = 3.4 * 10^{-5} m^2$$

$$A_{Tub} = 3.4 * 10^{-5} * 1550$$

$$A_{Tub} = 5.2 * 10^{-2} pulg^2$$

$$D_{aprox} = \sqrt{\frac{A_{Tub} * 4}{3.1416}}$$

$$D_{aprox} = 0.26 pulg$$

$$D_{aprox} = \frac{1}{2} pulg$$

CALCULO DE VOLUMEN DE AGUA DE LAVADO

Recomendado 60 glns H₂O/ pie³ resina

$$v_{lav} = 60 * volumen$$

$$v_{lav} = 60 * 2.61$$

$$v_{lav} = 93.9 gln$$

CALCULO DE FLUJO DE REGENERACION

$$flujo = 1 \frac{gpm_{H_2O}}{pie^3_{res}}$$

$$flujo_{lav} = flujo * v_{res}$$

$$flujo_{lav} = 1 * 1.57$$

$$flujo_{lav} = 1.57 \text{ gpm}_{H2O}$$

TIEMPO DE LAVADO

$$t = \frac{flujo_{lav}}{v_{lav}}$$

$$t = \frac{1.57}{93.9}$$

$$t = 60 \text{ min}$$

CALCULO DEL AREA DE LA TUBERIA DE LAVADO

Velocidad recomendada en tuberías 3 m/s

$$A_{Tub} = \frac{flujo_{reg} * 3.875}{180000}$$

$$A_{Tub} = \frac{1.57 * 3.875}{180000}$$

$$A_{Tub} = 3.4 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{Tub} = 3.4 * 10^{-5} * 1550$$

$$A_{Tub} = 5.2 * 10^{-2} \text{ pulg}^2$$

$$D_{aprox} = \sqrt[2]{\frac{A_{Tub} * 4}{3.1416}}$$

$$D_{aprox} = 0.26 \text{ pulg}$$

$$D_{aprox} = \frac{1}{2} \text{ pulg}$$



CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

- Se comprobó la efectividad del ablandamiento del agua mediante el método de intercambio iónico
- Se comprobó la efectividad del ablandamiento del agua mediante el método de Osmosis Inversa
- Se realizó el dimensionamiento de equipo de intercambio iónico
- Se concretó la selección de equipo de osmosis inversa
- Se elaboraron los respectivos ensayos prácticos con el fin de evaluar los métodos de intercambio iónico y osmosis inversa.



OBSERVACIONES

- Se observó que el método de intercambio iónico es totalmente efectivo para ablandamiento de agua con contenido de sales de calcio.
- Se observó que el método de osmosis inversa es totalmente efectivo para ablandamiento de agua con contenido de sales de calcio.



CONCLUSIONES

- El intercambio iónico es efectivo debido a que se realizó la cuantificación de sales mediante el método de titulación obteniéndose como resultado 0ppm de CaCO_3 .
- Los resultados deseados para el flujo másico del caldero a alimentar confirman que el dimensionamiento del equipo de intercambio iónico.
- La selección del equipo de osmosis inversa es el adecuado tomando como referencia el cálculo del flujo másico del caldero, el cual no excedía los 100 galones por día
- Se elaboraron los ensayos prácticos para el módulo de instrucción en los cuales se detalla el procedimiento correcto para logra la cuantificación de sales utilizando el método de titulación.
- La dureza de las muestras de agua tratada por los métodos de intercambio iónico y osmosis inversa son menores al 0.01mg/L CaCO_3 (0.01 ppm CaCO_3), lo que indica que el tratamiento por cualquiera de los métodos es el correcto, debido a que la presión de trabajo de la caldera permite hasta un máximo de 20 ppm (según empresa SISTEAGUA).

BIBLIOGRAFIA

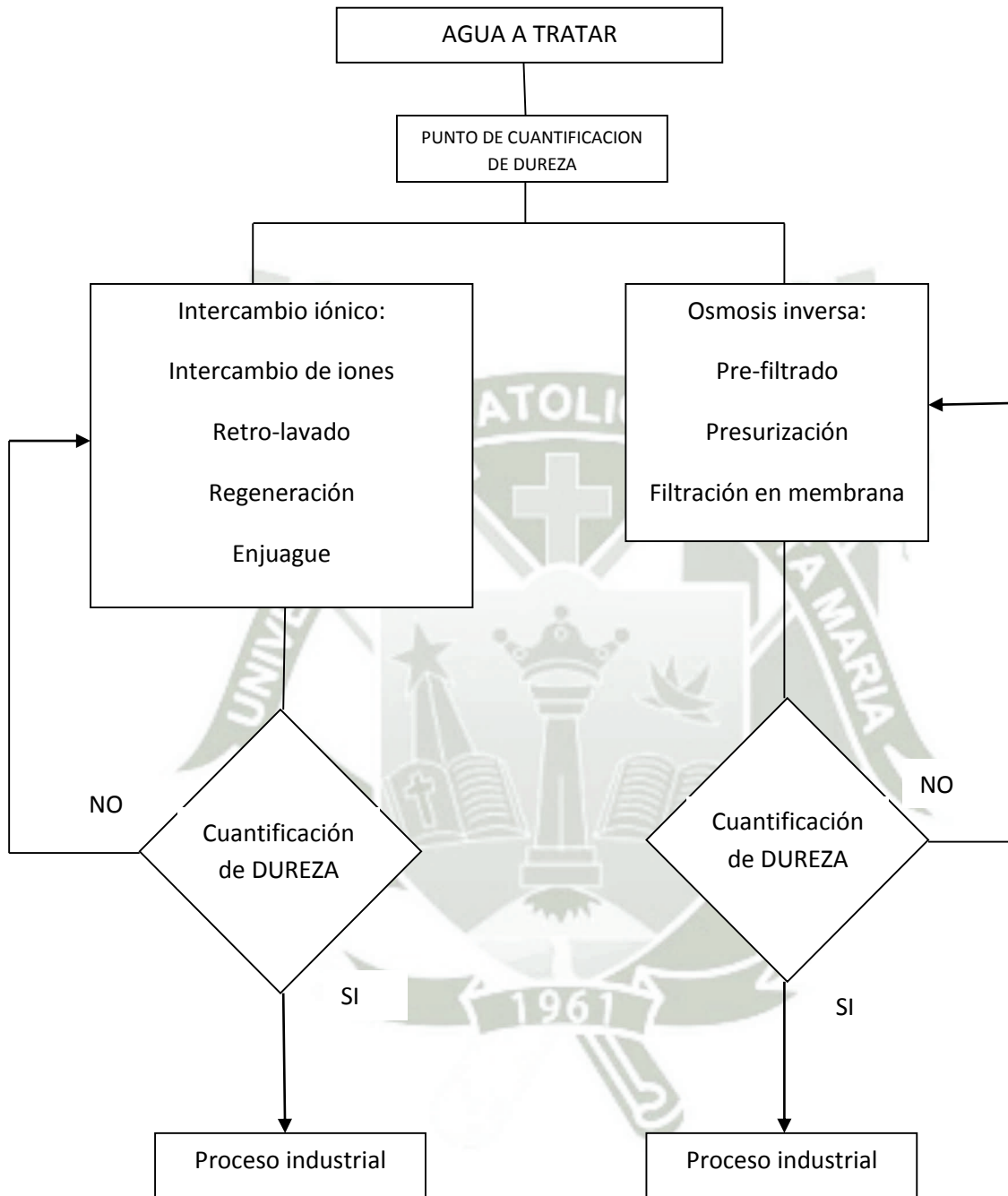
- PERRY, Robert H. Perry's Chemical Engineers' Handbook 7 ed. McGraw-Hill.
- Pag 16.8-16.11.
- ROMERO, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. 2005. páginas 333-347
- NUFFIELD FOUNDATION. Química Intercambio Iónico, Estudio específico. Reverte editores. Barcelona. 1974. pág.: 33, 34, 35
- NOERDELL, Eskel. Tratamiento de Agua Para la Industria y Otros Usos. Editorial Continental. México. 1961. pág. 447-475
- http://www.dow.com/liquidseps/design/des_ixdesign.htm, Pasos para Diseñar un sistemas de intercambio iónico. Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow
- <http://www.onlinewatertreatment.com/literature/Nalco/docs/Tf-024.pdf>,
- TECHNIFAX, Nalco Chemical Company. 1998. USA.
- FAIR Gordon, GEYES John. Purificación de Agua y Tratamiento y Remoción de Residuos. Limusa, Noriega Editores. 2001. pág. 336, 358-368
- Guía de laboratorio, UAM, Universidad Autónoma de Madrid, área de ingeniería química.
- www.agualatinoamerica.com, lo esencial del intercambio iónico por Ing. Joseph Avilla
- <http://www.icp.csic.es/cyted/Cuba>, Eliminación de metales tóxicos mediante zeolitas naturales. Laboratorio de Ingeniería de Zeolitas, IMRE Universidad de La Habana, Zapata y G s/n, Vedado La Habana 10400, CUBA. E-mail: zeolitas@ffuh.fmq.uh.edu.cu. Inst. Superior Minero Metalúrgico, Moa,

- Holguín, CUBA
- <http://www.universia.com.ar/contenidos/investigacion/unl/TECNOLOGIA/catalisi>
- [s1/61.htm](http://www.universia.com.ar/contenidos/investigacion/unl/TECNOLOGIA/catalisis1/61.htm), CARACTERIZACIÓN DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO,
- Martín Sebastián Gross, Facultad de Ingeniería Química, Departamento
- Ingeniería Química, INCAPE
- PRESENTACION POWER POINT, Relación Suelo-Planta Intercambio Iónico,
- Ing. Agr. Gilberto Cabalceta Aguilar, Centro de Investigaciones Agronómicas,
- Universidad de Costa Rica
- http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema09/Tema_09_OtrosMin_1.htm#Pu
- [nto9_1](http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema09/Tema_09_OtrosMin_1.htm#Pu), Aplicaciones medioambientales de las zeolitas, Grupo de las zeolitas
- http://www.fecyt.es/especiales/intercambio_ionico/index.htm,
- http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=42&id_art=2214, 2000 agro,
- revista industrial del agro.
- http://tecnicas.elergonomista.com/intercambio_ionico/cii.htm,
- http://www.fecyt.es/especiales/intercambio_ionico/clasificacion.htm,
- http://www.monografias.com/Quimica/intercambio_ionico/intercambioionicomonografias1.htm,
- José Puga Bullón, Ingeniero Químico, Maestría en
- Ciencias, con mención en Tratamiento de Aguas y re-uso de Desechos, Lima –
- Perú.
- http://www.excelwater.com/esp/b2c/our_product_soft.php, Excel Water
- Technologies, Inc.
- <http://www.lenntech.com/espanol/home-esp.htm>,
- http://www.bonatura.com/resinas_intercambio_ionico_1.htm,

- <http://www.aquapurificacion.com/index.htm>,
- <http://webs.ono.com/desmineralizadores/index.html>,
- <http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/5-6-02avilla.pdf>,
- http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/csalas/OPIV/intercambio_ionico.pdf,
- http://www.tecnociencia.es/especiales/intercambio_ionico/index.htm,
- http://www.monografias.com/Quimica/intercambio_ionico/zeolitas.shtml,
- http://www.fecyt.es/especiales/intercambio_ionico/index.htm,
- <http://www.onlinewatertreatment.com/literature/Nalco/docs/Tf-024.pdf>,
TECHNIFAX, Nalco Chemical Company. 1998. USA.
- http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema09/Tema_09_OtrosMin_1.htm#Punto9_1, Aplicaciones medioambientales de las zeolitas, Grupo de las zeolitas
- www.lenntech.es (Binnie et. al. 2002) / revista ingenierías universidad de Medellín
- <http://www.lenntech.es/biblioteca/osmosis-inversa/que-es-osmosis-inversa.htm>
- <https://www.waterfilterstpetersburg.com>

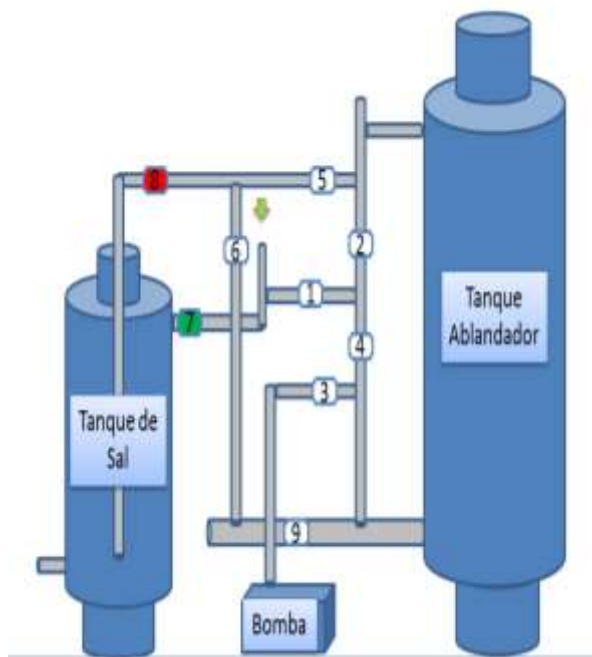


ANEXO 1: ESQUEMA CONCEPTUAL

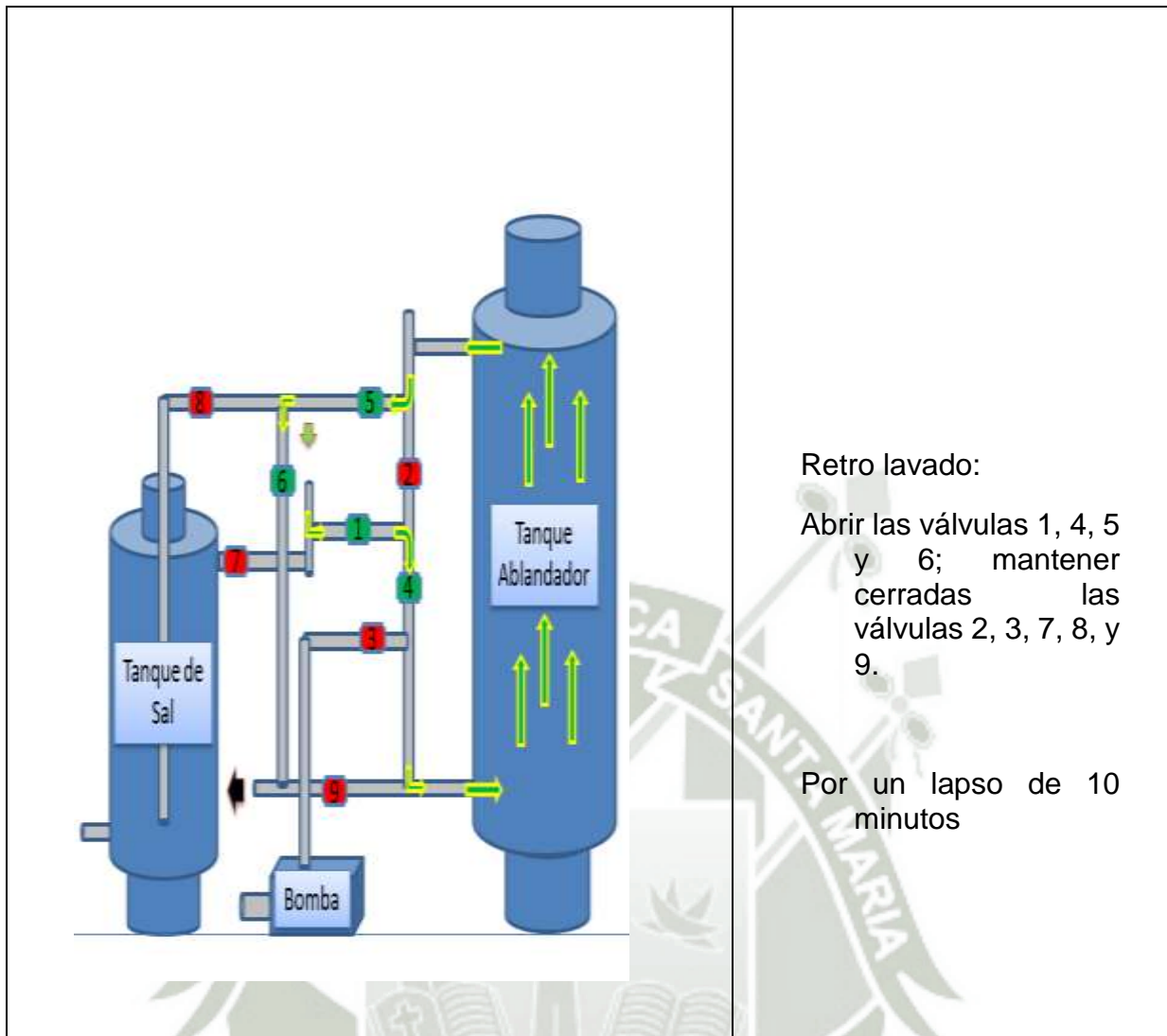


**ANEXO 2 : FUNCIONAMIENTO DE ABLANDADOR POR INTERCAMBIO
IÓNICO**

ABLANDAMIENTO DE AGUA



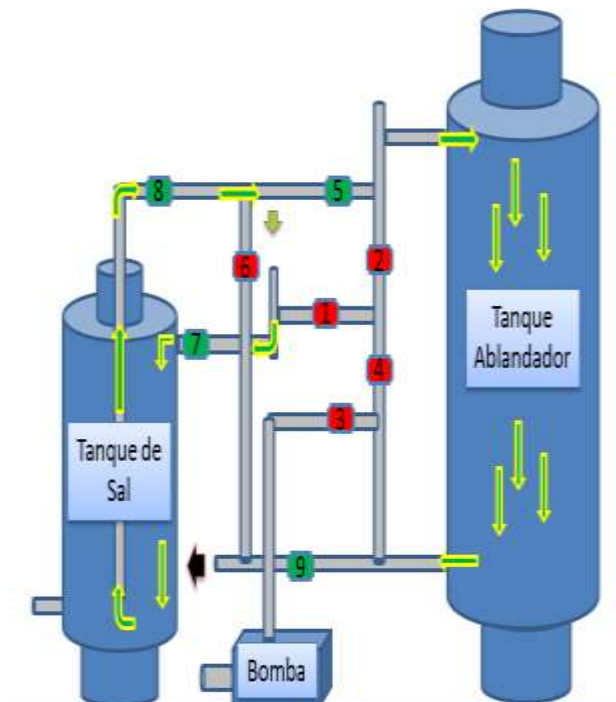
Para preparar el tanque de sal, se deberá abrir la válvula 7 y cerrar la válvula 8, lo que permitirá el ingreso de agua al tanque de sal; hasta llenarlo y asegurarse de una mezcla adecuada; al 5% o 5Kg. Para 100 litros de agua



Retro lavado:

Abrir las válvulas 1, 4, 5
y 6; mantener
cerradas las
válvulas 2, 3, 7, 8, y
9.

Por un lapso de 10
minutos

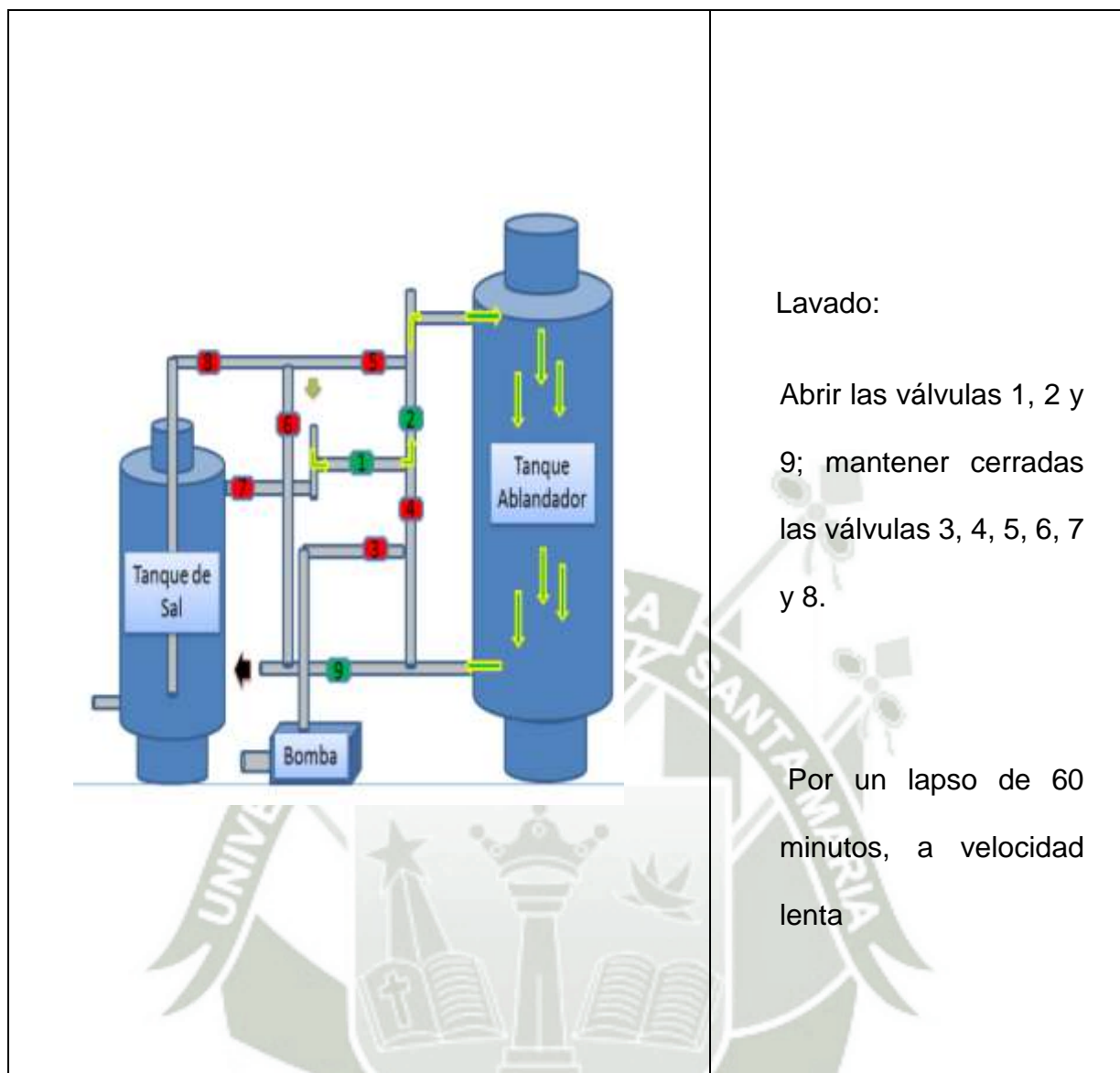


Regeneración:

Primera Etapa: Abrir las válvulas 5, 7 y 8; mantener cerradas las válvulas 1, 2, 3, 4, 6 y 9 hasta llenar el tanque; mantener en estado de reposo por un lapso de 10 minutos.

Segunda etapa: Abrir las válvulas 5, 7, 8 y 9; mantener cerradas las válvulas 1, 2, 3, 4 y 6.

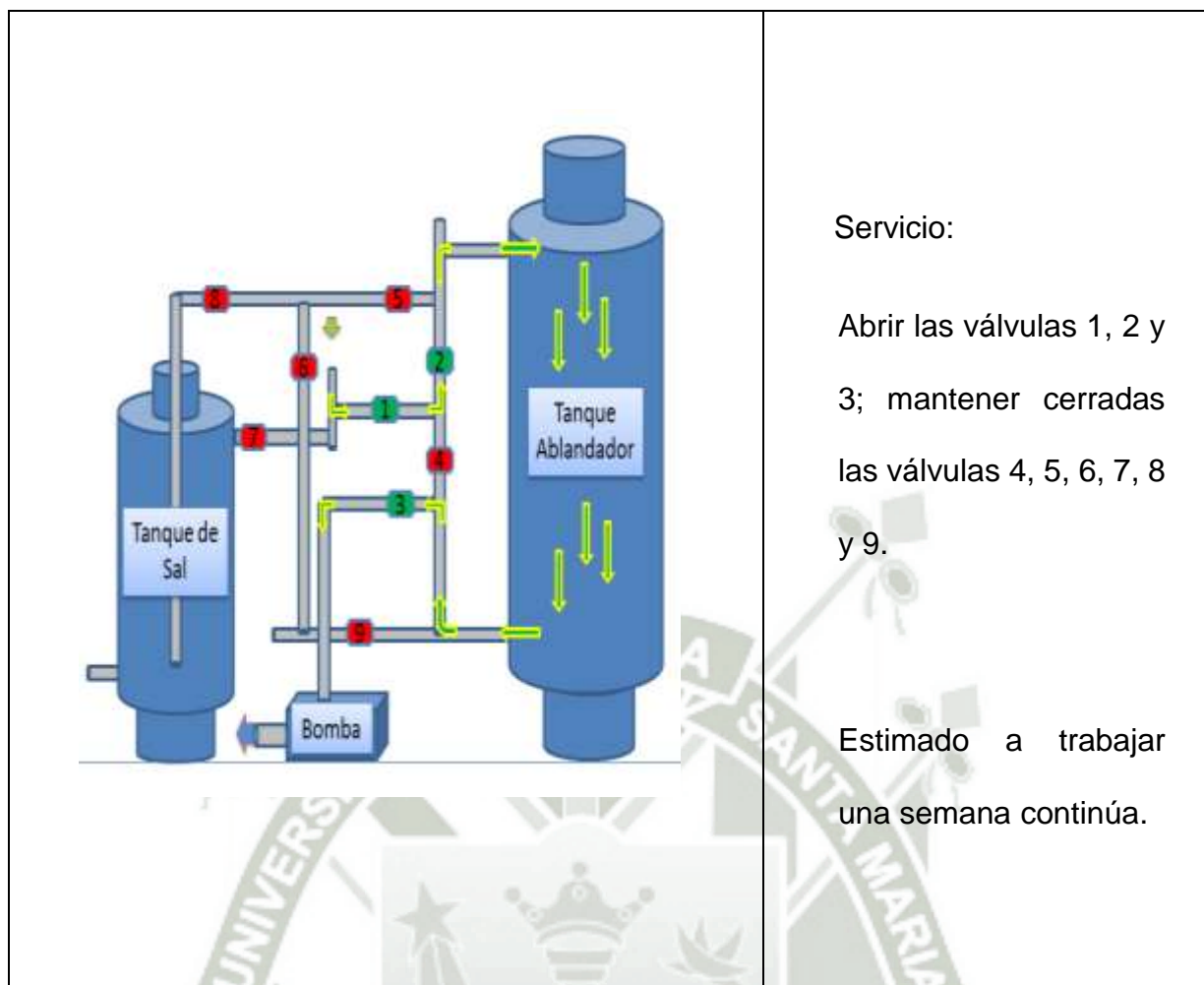
Por un lapso de 13 minutos



Lavado:

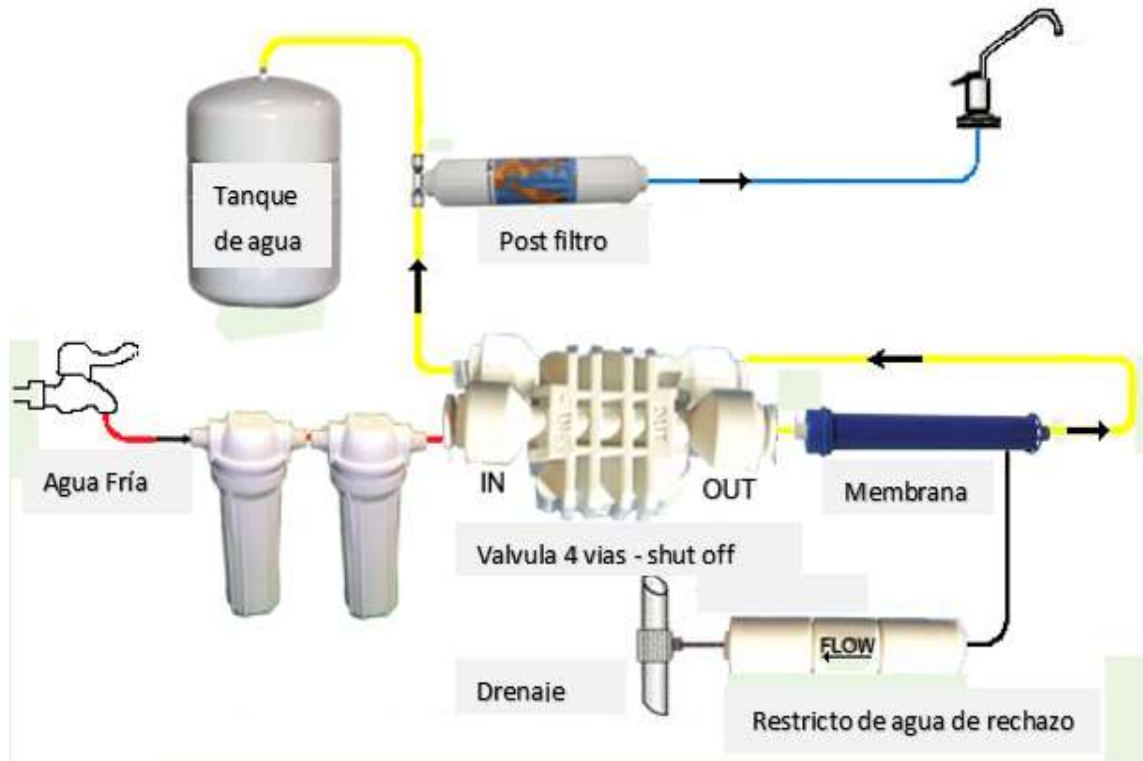
Abrir las válvulas 1, 2 y 9; mantener cerradas las válvulas 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Por un lapso de 60 minutos, a velocidad lenta



ANEXO 3: FUNCIONAMIENTO DE EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA

Esquema y etapas de funcionamiento de Sistema de osmosis inversa



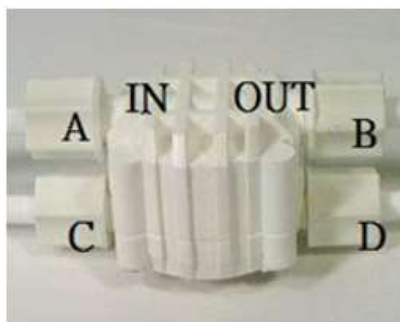
Verificación de Agua de red.

Medir salinidad del agua, con un medidor TDS, de 150 a 1000 ppm, es un rango aceptable para un equipo standard.

Etapa 1, pre filtro PP, es un filtro de sedimentos de 5 micras de polipropileno expandido. Realiza un trabajo mecánico de separación de impurezas. Elimina óxidos, arenas, limos, sedimentos y otras partículas suspendidas en el agua, mayores de 5 micras.

Etapa 2, pre filtro GAC, es un filtro de carbón activo granulado, elimina el cloro, mal sabor, mal olor y un gran número de metales pesados que contiene el agua de la red.

Etapa 3, Válvula 4 vías (Shut off), se encarga de cortar el agua, cuando el depósito está lleno, cuando se avería no para de salir agua por el desagüe.



- A Salida de tercera etapa
- B Ingreso a cuarta etapa (membrana)
- C salida de cuarta etapa (membrana)
- D Ingreso a quinta etapa (filtro de carbón de coco)



Etapa 4, membrana, membrana TFC de poliamida, semipermeable con un tamaño de poros de 0,0001 micras, quita entre un 90%-99% de, Nitratos, Sulfatos, Fluoruros, Taninos, bicarbonatos, bacterias, virus, hongos, etc... Proporcionando, un agua segura para el consumo, está alojada en un porta membranas, con 1 entrada y 2 salidas, una del agua ósmotizada y la otra de rechazo al desagüe.



Las membranas más usuales en un equipo standard son, de 50 y 75 galones, una membrana de 50 GPD, con una presión correcta y un TDS de 250ppm y sin depósito puede producir 190 l / d, con depósito y TDS mas alto, la producción baja.

Restrictor (Flow), se coloca en la salida del porta membranas que va al desagüe, los hay de 300, 400, 420, 450cc, etc..., cuanto mayor es más agua sale por el desagüe.

Los hay como la foto de la izquierda, restrictor mas válvula flushing, girando la llave hacemos una limpieza a la membrana, cuando el equipo está en producción, y como la foto de la derecha **solo el restrictor**, la válvula flushing es una mejora que incorporo en los equipos que diseño.

La función del restrictor es, reducir el agua de rechazo y aumentar la presión en el porta membranas, para poder producir agua ósmotizada.

La válvula flushing, es fundamental para producir agua de calidad y alargar la vida de la membrana, según el consumo de agua, se debería cada 15 o 30 días hacer una limpieza a la membrana, esto hay que hacerlo cuando el equipo está produciendo, girar la válvula durante 1 minuto, esto hace que el agua salga a presión y la membrana se lave por la turbulencia generada, después volver a cerrar la válvula.

Etapas 5, postfiltro, filtro de carbón activo, suele ser de carbón de coco, hace la misma función que el GAC y CTO, se emplea para filtrar el agua del depósito por si tiene olor o sabores raros, se le suele llamar T-33, es un filtro inline, da un toque de afino al agua.

Hay quien pone, un filtro remineralizador en vez de este, aunque no es muy usual, da un gusto al agua diferente.



Depósito, son depósitos presurizados, en el interior llevan una membrana, los hay de diferentes tamaños, la capacidad se expresa en galones, se fabrican en acero, diferentes plásticos y resinas.

Es recomendable, higienizar el depósito una vez al año, con un kit higienizador o legía al 5% de calidad alimentaria, para hacerlo con legía, ver cuantos litros almacena el depósito y echar una gota por cada litro, llenar de agua el depósito, dejar actuar 45 minutos, vaciar el depósito sin que pase el agua por el postfiltro,

quitando el tubo y dirigirlo directamente al fregadero, después hacer 2 llenados y vaciados con el tubo instalado, sin consumir ese agua.



Grifo, los hay de muchos diseños y calidades, lo importante es que tengan un buen cierre cerámico.



Grifo típico de ósmosis



Grifo fregadero con salida para ósmosis

ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS DE MONTAJE









ANEXO 5: HOJA TECNICA RESINA CATIONICA



Product Description

Pure PC002 is a light colored, gel type sulfonated polystyrene cation resin supplied in the sodium form as moist, tough uniform spherical beads.

Applications -- softening

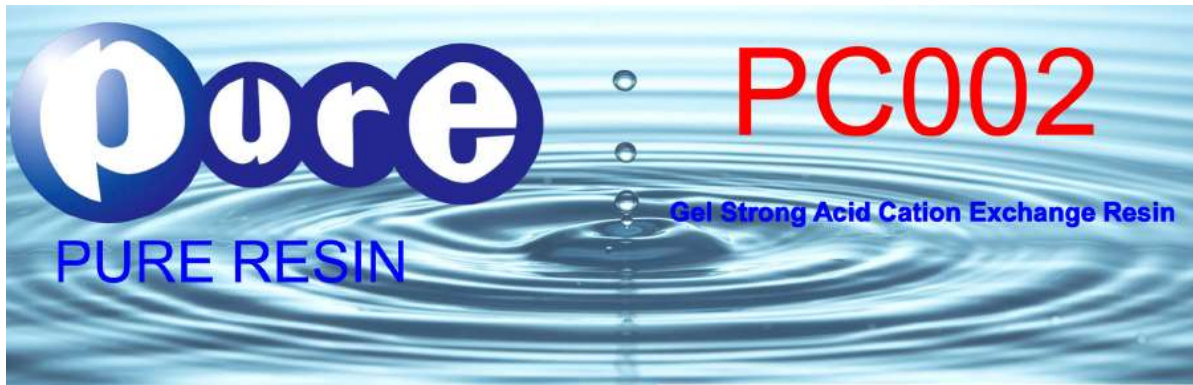
Pure PC002 is well suited for industrial, commercial or residential softening applications where free chlorine is not present because of its high capacity and good physical stability.

NSF/ANSI 44&61 certified.



Typical Physical & Chemical Characteristics

Polymer Matrix Structure	Polystyrene crosslinked with 7% DVB
Functional Group	R-(SO ₃) ⁻ M ⁺
Ionic Form, as shipped	Sodium (Na ⁺)
Physical Form And Appearance	Clear Spherical Beads
Sphericity	95% min.
Screen Size Range --- U.S. Standard Screen	16-50 mesh, wet
Particle Size Range	+1.2 mm < 5%, -0.3 mm < 1%
Uniformity Coefficient	1.6 max.
Water Retention, Na ⁺ form	45-50%
Swelling Na ⁺ → H ⁺ Ca ²⁺ → Na ⁺	10% max. 5% max.
Shipping Weight, Na ⁺ form	770-870 g/l (50 lbs/cu.ft, approx.)
Total Exchange Capacity, Na ⁺ form	1.9 eq/l min.
pH Range	0-14



Suggested Operating Conditions

Maximum Temperature

Na ⁺ form	120°C (248°F) max.
H ⁺ form	100°C (212°F) max.

Minimum Bed Depth 0.6 m (24 inches)

Backwash Rate 50-75% bed expansion

Regeneration

Regenerant Concentration	8-20% NaCl or saturated salt water
Flow Rate	2 to 7 BV/h (0.25 to 0.90 gpm/cu.ft)
Contact Time	At least 30 Minutes

Displacement Rinse Rate Same as Regenerant Flow Rate

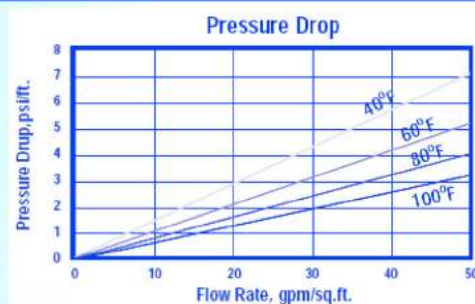
Displacement Rinse Volume 10-15 gallons/cu.ft

Fast Rinse Rate Same as Service Flow Rate

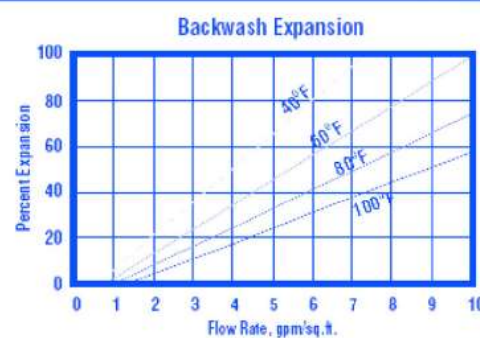
Fast Rinse Volume 35-60 gallons/cu.ft

Service Flow Rate 4-8 BV/h (1.0-5.0 gpm/cu.ft)

Hydraulic Properties



Pressure Drop: The graph above shows the expected pressure loss per foot of bed depth as a function of flow rate at various Temperatures.



Backwash: After each cycle the resin bed should be backwashed at a rate that expands the bed 50 to 75 percent. That will remove any foreign matter and reclassify the bed. The Graph above shows the expansion characteristics of Pure PC002 in the sodium form.

ANEXO 6: INSTRUCCIONES REGENERACION DE EQUIPOS ABLANDADORES



Potabilización, Aguas Residuales y Equipos Purificadores
Ozono-Osmosis Inversa- Ultra Violeta-Ablandadores-Desionizadores-Cloradores
Piscinas: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Químicos
Importadores Profesionales en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 Arequipa - Perú
Teléfono: 054 – 286574 Telefax: 054-239181 Nextel: 99 403*5166
www.hidrotecnologia.com e-mail: profesionales@hidrotecnologia.com

INSTRUCCIONES REGENERACION RESINAS EN EQUIPOS ABLANDADORES

PRIMER PASO:

1. La solución de salmuera tiene que estar al 5% o 5 kg para 100 lt de agua.
2. Cerrar las válvulas de trabajo y abrirá válvulas para ingreso de sal muera.
3. Ingreso de salmuera al tanque o lecho de resina.
4. La salmuera debe reposar 30 minutos aprox, luego. Eliminar la salmuera.

SEGUNDO PASO: ENJUAGUE

El enjuague de salmuera es lentamente forzado a través del lecho de resina, permitiendo que el sodio force los iones de calcio y magnesio para fuera del lecho de resina.

1. Abrir las válvulas para retro lavado.
2. Deje pasar agua a velocidad media o lenta
3. Pedir el pH hasta que sea neutro (pH=7). O el conductímetro marque zona verde.
4. Luego de confirmar los datos del paso 3, se a terminado el retro lavado.
5. Abrir las válvulas de forma normal para continuar con el uso del ablandador

HIDROTECNOLOGIA S.R.L.

DEPARTAMENTO TECNICO



ANEXO 7: CUARZO MALLA 1/4"



Potabilización, Aguas Residuales y Equipos Purificadores
Ozono-Osmosis Inversa- Ultra Violeta-Ablandadores-Desionizadores-Cloradores
Piscinas: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Químicos
Importadores Profesionales en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 Arequipa - Perú
Teléfono: 054 – 286574 Telefax: 054-239181 Nextel: 99 403*5166
www.hidrotecnologia.com e-mail: profesionales@hidrotecnologia.com

Cuarzo 1/4"

Especificaciones

- Medida nominal = 1/4"
- Tamaño Máximo = 0.375 pulgadas
- Tamaño Mínimo = 0.1875 pulgadas
- Geometría = Grava forma asimétrica
- Dureza = 7 (escala de Mohs)
- Solubilidad en HCL al 40% durante 24 horas < 3.0 %
- Carbonatos < 0.02%
- Oxido de Silicio SiO₂ 99.2 - 99.7%
- Oxido de Fierro Fe₂O₃ < 0.15 %
- Materia Orgánica = No contiene
- Materia Laminar (micas) = No contiene
- Sulfatos = No contiene
- Color = Blanco

Presentación: Envasado en sacos blanco polipropileno de 40 Kg. C/u





Potabilización, Aguas Residuales y Equipos Purificadores
Ozono-Osmosis Inversa- Ultra Violeta-Ablandadores-Desionizadores-Cloradores
Piscinas: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Químicos
Importadores Profesionales en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 Arequipa - Perú
Teléfono: 054 – 286574 Telefax: 054-239181 Nextel: 99 403*5166
www.hidrotecnologia.com e-mail: profesionales@hidrotecnologia.com

HOJA DE SEGURIDAD CUARZO 1/4"

1. SINONIMOS Y NOMBRES USUALES

Arena Sílices, Cuarzo, Sílice Cristalina, Dióxido de Silicio

2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Cuarzo (sílice).....SiO₂.....> 99.00 %

Oxido de aluminio.....Al₂O₃.....< 0.80 %

Oxido de hierro.....Fe₂O₃.....< 0.10 %

Oxido de titanio.....TiO₂.....< 0.10 %

3. NIVELES MAXIMO DE EXPOSICION

Según la OSHA (Ocupational Safety and health Administración of USA)

Concentración máxima en forma de polvo.....10 mg. Por metro cubico

Los límites de exposición son por tiempo ponderado de concentraciones promedio para un día de trabajo de 8 horas y 40 horas de trabajo por semana.

4. EFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD – CONCENTRACIONES MAYORES AL PERMISIBLE

- Por inhalación
- En forma de polvo en concentraciones mayor al límite máximo permisible
- Silicosis (fibrosis de los pulmones)
- Tuberculosis (aumenta el riesgo de contraer tuberculosis)
- Contacto con los ojos: Puede producir abrasión a la córnea
- Contacto a la piel: No aplica
- Ingestión: No aplica

5. SIGNOS Y SINTOMAS

- Generalmente después de 10 a 25 años de exposición.
- Tos y dolor en el pecho





Potabilización, Aguas Residuales y Equipos Purificadores
Ozono-Osmosis Inversa-Ultra Violeta-Ablandadores-Desionizadores-Cloradores
Piscinas: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Químicos
Importadores Profesionales en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 Arequipa - Perú
Teléfono: 054 - 296574 Telefax: 054-239161 Nextel: 99 403*5166
www.hidrotecnologia.com e-mail: profesionales@hidrotecnologia.com

- Disminución de la capacidad torácica

6. MEDIDAS PREVENTIVAS

- Ventilación adecuada con frecuentes análisis del aire
- Procesos húmedos siempre que sea posible
- Mascarillas con filtro mecánico para polvos
- Examen médico anual, mediante rayos X

7. TRATAMIENTO

Se ha empleado aparato de respiración controlado dilatadores y descongestionantes.

8. PROPIEDAD FISICO QUIMICAS

* Apariencia arena de color blanco o canela, granulas, triturada o molida

* Punto de ebullición : 2230 grados Celsius

* Punto de fusión : 1710 grados Celsius

* Olor : Ninguno

* Gravedad específica: 2.6 2.7

* Soluble en agua : Insoluble en el agua

* Combustión : No es inflamable ni explosivo

9. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- No existe datos que sugieran que la sílice (cuarzo) sea toxico para los pájaros o peces.
- Invertebrados, microorganismo o planta:
- La sílice (cuarzo) se conoce como no peligrosa para el medio ambiente

10. ESTABILIDAD Y REACTIVAS

- Estabilidad: La sílice es estable
- Incompatibilidad. El contacto con agentes oxidantes potentes como el flúor, trifluoruro de cloro y biofloruro de oxigeno puede producir incendios.
- Descomposición peligrosa o sub.-productos: La sílice se disuelve en acido fluorhídrico y produce un gas corrosivo: Tetra fluoruro de sílice.
- Polimerización peligrosa: No se produce.



ANEXO 8: CUARZO MALLA 1/8"



Potabilización, Aguas Residuales y Equipos Purificadores
Ozono-Osmosis Inversa- Ultra Violeta-Ablandadores-Desionizadores-Cloradores
Piscinas: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Químicos
Importadores Profesionales en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájor 242 Arequipa - Perú
Teléfono: 054 - 286574 Telefax: 054-239181 Nextel: 99 403*5186
www.hidrotecnologia.com e-mail: profesionales@hidrotecnologia.com

Cuarzo 1/8"

Especificaciones

- Dureza = 7 (Escala de Mohs)
- Peso Especifico =2.65
- Solubilidad en HCL al 40 % durante 24 horas < 3.0 %
- Carbonatos < 0.02 %
- Oxido de silicio SiO₂ 99.2 99.7 %
- Oxido de Fierro Fe₂O₃< 0.15%
- Geometría = Forma asimétrica
- Materia orgánica = No contiene
- Materia laminar (micas) = No contiene
- Sulfatos = No contiene
- Color = Blanco
- Tamaño Mínimo = 2.00 Mm.
- Tamaño Máximo = 3.00 Mm.

Presentación: Envasado en sacos blanco polipropileno de 40 Kg. C/u





Potabilización, Aguas Residuales y Equipos Purificadores
Ozono-Osmosis Inversa- Ultra Violeta-Ablandadores-Desionizadores-Cloradores
Piscinas: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Químicos
Importadores Profesionales en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 Arequipa - Perú
Teléfono: 054 - 286574 Telefax: 054-239181 Nextel: 99 403*5166
www.hidrotecnologia.com e-mail: profesionales@hidrotecnologia.com

HOJA DE SEGURIDAD CUARZO 1/8"

SINONIMOS Y NOMBRES USUALES

Arena Sílices, Cuarzo, Sílice Cristalina, Dióxido de Silicio

COMPOSICION QUIMICA

Cuarzo (sílice).....SiO₂.....> 99.00 %
Oxido de aluminio.....Al₂O₃.....< 0.80 %
Oxido de hierro.....Fe₂O₃.....< 0.10 %
Oxido de titanio.....TiO₂.....< 0.10 %

NIVELES MAXIMO DE EXPOSICION

Según la OSHA (Ocupacional Safety and health Administra tión of USA)

Concentración máxima en forma de polvo.....10 mg. Por metro cubico

Los límites de exposición son por tiempo ponderado de concentraciones promedio para un día de Trabajo de 8 horas y 40 horas de trabajo por semana

EFFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD – CONCENTRACIONES MAYORES AL PERMISIBLE

- Por inhalación
- En forma de polvo en concentraciones mayor al límite máximo permisible
- Silicosis (fibrosis de los pulmones)
- Tuberculosis (aumenta el riesgo de contraer tuberculosis)
- Contacto con los ojos: Puede producir abrasión a la córnea
- Contacto a la piel: No aplica
- Ingestión: No aplica

SIGNOS Y SINTOMAS

- Generalmente después de 10 a 25 años de exposición.
- Tos y dolor en el pecho





- Disminución de la capacidad torácica

MEDIAS PREVENTIVAS

- Ventilación adecuada con frecuentes análisis del aire
- Procesos húmedos siempre que sea posible
- Mascarillas con filtro mecánico para polvos
- Examen médico anual, mediante rayos X

TRATAMIENTO

Se ha empleado aparato de respiración controlado dilatadores y descongestionantes.

PROPIEDAD FISICO QUIMICAS

- * Apariencia arena de color blanco o canela, granulas, triturada o molida
- * Punto de ebullición. 2230 grados Celsius
- * Punto de fusión 1710 grados Celsius
- * Olor Ninguno
- * Gravedad especifica 2.6 2.7
- * Soluble en agua Insoluble en el agua
- * Gravedad especifica 2.6 2.7
- * Soluble en agua Insoluble en el agua
- * Combustión No es inflamable ni explosivo

INFORMACION ECOLÓGICA

- No existe datos que sugieran que la sílice (cuarzo) sea toxico para los pájaros o peces.
- Invertebrados, microorganismo o planta.
- La sílice (cuarzo) se conoce como no peligrosa para el medio ambiente

ESTABILIDAD Y REACTIVAS

- Estabilidad: La sílice es estable
- Incompatibilidad. El contacto con agentes oxidantes potentes como el flúor, trifluoruro de cloro y biofloruro de oxigeno puede producir incendios.
- Descomposición peligrosa o sub.-productos: La sílice se disuelve en acido fluorhídrico y produce un gas corrosivo: Tetra fluoruro de silicio.
- Polimerización peligrosa: No se produce.



Potabilización, Aguas Residuales y Equipos Purificadores
Ozono-Osmosis Inversa- Ultra Violeta-Ablandadores-Desionizadores-Cloradores
Piscinas: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Químicos
Importadores Profesionales en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 Arequipa - Perú
Teléfono: 054 – 286574 Telefax: 054-239181 Nextel: 99 403*5166
www.hidrotecnologia.com e-mail: profesionales@hidrotecnologia.com

ANEXO 9: EQUIPO OSMOSIS INVERSA



POTABILIZACIÓN, AGUAS RESIDUALES Y EQUIPOS PURIFICADORES
Ozono, Osmosis Inversa, Ultra Violeta,
Ablandadores, Desionizadores, Clorinadores,
PISCINAS: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Productos Químicos,
Importadores Especialistas en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 - Arequipa - Perú
Teléfono: 054-286574 • Telefax: 054-239181 • Nextel: 9 403*5166
www.hidro-tecnologia.com • e-mail: profesionales@hidro-tecnologia.com

PURIFICACION DE AGUA POR OSMOSIS INVERSA - RO

MODELO CW 5500



Beneficios

- Un pre filtro de sedimentos de 5 Micrones
- Un Pre Filtro GAC de carbón activado.
- Un Pre Filtro PCTO 10 Micrones Carbon Block
- Una Membrana osmótica TFC 50 GPD
- Un Post Filtro en línea de Carbón GAC
- Un Kit y Diagrama de Instalación
- Un tanque de reserva RO-4 NSF
- Una llave de ajuste para las carcasas de los filtros
- Un grifo cromado de largo alcance
- UN AÑO DE GARANTIA





POTABILIZACIÓN, AGUAS RESIDUALES Y EQUIPOS PURIFICADORES
Ozono, Osmosis Inversa, Ultra Violeta,
Ablandadores, Desionizadores, Clorinadores,
PISCINAS: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Productos Químicos,
Importadores Especialistas en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 - Arequipa - Perú
Teléfono: 054-286574 • Telefax: 054-239181 • Nextel: 9 403*5166
www.hidro-tecnologia.com • e-mail: profesionales@hidro-tecnologia.com

CARACTERÍSTICAS:

El agua a tratar pasa por las siguientes etapas de tratamiento:

1. Filtro de partículas o sedimentos.- Con un filtraje de 5 micras ó 5 milésimas de milímetro, retiene las impurezas y partículas en suspensión tales como polvillos, suciedad, óxidos, etc.
2. Bomba de Alta presión.- Eleva la presión del agua hasta 95 psi (OPCIONAL, EN EQUIPOS QUE NO TIENEN PRESION DEL SERVICIO URBANO NORMAL)
3. Dos Pre-filtros de Carbón.- **GAC Pre Filter** Es el carbón activado elimina cloro residual, olores y sabores desagradables. **PCTO 10 Micron Carbon Block Pre Filter** es el carbón que contribuye con el anterior en la purificación de olores y sabores.
4. Membrana osmótica **TFC 50 GPD Membrane**.- Es el corazón del sistema de ósmosis inversa. El agua a una presión de hasta 95 psi es forzada a pasar a través de una membrana semipermeable (0,0000001 mm de porosidad), reteniendo hasta el 99,9% el paso de minerales nocivos (plomo, mercurio, etc) y microorganismos patógenos (virus, bacterias, etc). Los contaminantes y minerales residuales son rechazados al desagüe
5. Post-filtro de Carbón.- Elimina posibles restos de olor y sabor, dando al agua un "pulido" final.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Modelo	: CW-5500
Caudal	: 7,9 litros por hora
Agua a Tratar	: Red Pública
STD Max. del Agua a Tratar	: 1 200 ppm
Calidad de Agua producto	: 12 ppm (aprox.) con agua fuente de 350ppm





POTABILIZACIÓN, AGUAS RESIDUALES Y EQUIPOS PURIFICADORES
Ozono, Osmosis Inversa, Ultra Violeta,
Ablandadores, Desionizadores, Clorinadores,
PISCINAS: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Productos Químicos,
Importadores Especialistas en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 - Arequipa - Perú
Teléfono: 054-286574 • Telefax: 054-239181 • Nextel: 9 403*5166
www.hidro-tecnologia.com • e-mail: profesionales@hidro-tecnologia.com

Rechazo	:Hasta el 99%
Pre-filtración	:(1) Sedimento de 5 micras, (2)Carbones
Membrana	:(1) Standart , TFC50, poliamida
Bomba de Alta presión	:95psi (OPCIONAL)
Tanque Presurizado	:4.4 galones de capacidad
Voltaje	:115/220V/60Hz (PARA LA BOMBA)
Peso Total	:10 Kg

INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

1. Coloque los filtros en su respectiva unidad (recipiente o carcasa). El blanco de sedimentos y el de carbón tienen que ser colocados en las unidades verticales de 10" (diez pulgadas), la membrana debe ser colocada en la unidad horizontal; insertar el anillo "O" primero.
2. Localice la línea de agua fría bajo el fregadero.
3. Perforar un agujero a través de la pared del tubo, donde piensa ensamblar la válvula-prensa (1).
4. Coloque o ensamble la válvula tipo prensa montable (1), para que se adapte en la línea de agua fría, torneando el tubo. Ajuste la válvula prensa de modo que esta quede firmemente ajustada al tubo.
5. Atornille al desagüe. Sujete firmemente el desagüe en la válvula prensa (2), aproximadamente a 6" sobre la trampa "P". Previamente perforar un agujero a través de la pared del tubo cerca de la montura de la válvula-prensa.
6. Hueco para el grifo en el fregadero. El grifo tiene que ser colocado con la estética, función y conveniencia en mente requerida. Es necesario ubicar un área plana y amplia (si el fregadero no la tiene) para colocar la base del grifo, para que la base del tornillo pueda ser ajustada. Pueden haber condiciones que evite la necesidad de hacer un agujero, donde no sea necesario.
 - A. Un agujero previamente perforado cubierto por una tapa cromada. Saque la cubierta e instale el grifo RO.
 - B. Una manguera de riego que no se la requiera. Saque la manguera y conecte el aparato bajo el grifo principal. Instale el grifo RO.

Perforación del fregadero. El proceso de perforación de un fregadero requiere de ciertas precauciones y planeamiento.

Fregaderos de metal aporcelanado (fierro con superficie de porcelana), corren el riesgo de ser descascarados si no se trabaja con cuidado. Se sugiere 2 métodos diferentes:





POTABILIZACIÓN, AGUAS RESIDUALES Y EQUIPOS PURIFICADORES
Ozono, Osmosis Inversa, Ultra Violeta,
Ablandadores, Desionizadores, Clorinadores,
PISCINAS: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Productos Químicos,
Importadores Especialistas en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 - Arequipa - Perú
Teléfono: 054-286574 • Telefax: 054-239181 • Nextel: 9 403*5166
www.hidro-tecnologia.com • e-mail: profesionales@hidro-tecnologia.com

- I. Taladre con cuidado usando un taladro de alta velocidad y un cabezal (broca) de carbide (para metal) de 7/16” .
- II. Use una rueda de esmeril de “carbide” para perforar la porcelana cuando no tenga el taladro de 7/16” . Taladre un hueco de esta medida.

PRECAUCION: Tenga cuidado de que las virutas metálicas en la superficie de porcelana del fregadero, porque pueden dejar una mancha difícil de eliminar.

7. Instalación del grifo. Saque de la caja las partes del grifo. Coloque la placa de cromo y luego el empaque de caucho en el cuello del grifo. Deslice el cuello del grifo a través del hueco del fregadero o coloque el empaque grande y apriete el tornillo en el cuello.
8. Adapte la línea del producto al grifo. Coloque la tuerca de bronce sobre el tubo. Coloque la tuerca de plástico en el tubo. Inserte el tubo de apoyo, de plástico. Coloque la tuerca en la base del grifo y asegúrese que el tubo no se deslice hacia fuera.
9. Adapte la línea de suministro a la válvula-prensa usando el N° 7.
10. Adapte la línea de desagüe a la montura de desagüe.
11. Atornille la válvula de bola al tanque y adapte el tubo.
12. Abra la válvula-prensa de suministro que está insertada en la tubería agujereada. Abra el servicio de agua lentamente para asegurarse que las uniones estén selladas y luego abra completamente para asegurarse que no haya goteos.

NOTA IMPORTANTE: Su nuevo equipo es enviado con preservantes de la calidad de la comida. Estos deben ser eliminados antes de que se use. No beba del tanque de agua, aunque no le hace daño su sabor algo amargo. Su nueva unidad le lleva varias horas llegar a su máxima presión. La unidad debe ser chequeada periódicamente para detectar goteos durante este tiempo. Después de 6 horas de uso el tanque debe ser vaciado completamente. Para desaguar el tanque simplemente abra el grifo y permita que el agua corra por 5 minutos, hasta que se vacíe. Luego cierre el grifo y dele suficiente tiempo para que el tanque se vuelva a llenar.

1. Conectar la manguera de la llave de paso al equipo
2. Conectar la manguera del tanque de almacenamiento al equipo (T)
3. Conectar la manguera del desagüe al equipo (D)
4. Conectar la manguera del caño al filtro post-carbón del equipo
5. Enchufar la bomba de alta presión al tomacorriente (tener en cuenta el voltaje) (OPCIONAL)
6. Eliminar los primeros 4 litros de agua producto, antes de poner en uso el equipo por primera vez.
7. Una vez instalado el equipo se remueve la manguera que va al cartucho de osmosis y se hace funcionar el equipo eliminando de 2 a 3 litros (esto sirve para lavar los cartuchos)






POTABILIZACIÓN, AGUAS RESIDUALES Y EQUIPOS PURIFICADORES
Ozono, Osmosis Inversa, Ultra Violeta,
Ablandadores, Desionizadores, Clorinadores,
PISCINAS: Equipos, Accesorios, Diseño, Asesoramiento, Mantenimiento,
Colectores Solares y Productos Químicos,
Importadores Especialistas en Tratamiento de Agua
Manuel Muñoz Nájjar 242 - Arequipa - Perú
Teléfono: 054-286574 • Telefax: 054-239181 • Nextel: 9 403*5166
www.hidro-tecnologia.com • e-mail: profesionales@hidro-tecnologia.com

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

1. Filtro de Partículas.- Se cambiará cada 10 a 12 meses o antes, dependiendo de la frecuencia de uso y de la calidad de agua a tratar. De no cumplirse esto podría dañar la bomba
2. Filtro de Carbón.- Se cambiará cada 10 a 12 meses o antes, dependiendo de la frecuencia de uso y de la calidad de agua a tratar. Caso contrario podría dañarse la membrana.
3. Membrana Osmótica.- Se cambiara cada 3 años o antes, dependiendo de la frecuencia de uso y de la calidad de agua a tratar
4. Bomba de Alta presión.- Diseñada para operar con flujo muy bajo de agua. De producirse un corte de agua, se recomienda desconectar el equipo para evitar una avería en la bomba.



ANEXO 10: PROCEDIMIENTO DE ABLANDAMIENTO DE AGUA

	PROCEDIMIENTO DE ABLANDADO DE AGUA		Código :	
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA		Versión :	02
			Inicio Vigencia:	
	CARGO	NOMBRE	FECHA	
ELABORADO POR:	Tesistas	Rado Parada; Abel Josue Alvarez Valdez; Fernando Renato		
REVISADO POR :	Asesor de Tesis	Ing. Carlos Gordillo Andia		
APROBADO POR:	Asesor de Tesis	Ing. Carlos Gordillo Andia		

REGENERACIÓN PARA ABLANDADOR DE AGUA

1. RESPONSABILIDAD

Jefe de Practicas

2. ALCANCE

Operatividad de equipos para el Ablandamiento del agua.

3. DEFINICIÓN

Regenerante: Restituye a la resina su capacidad de intercambio iónico cuando esta se encuentra saturada después de un determinado tiempo de servicio, este regenerante es Cloruro de Sodio en solución.

Ablandador: Es un equipo constituido por un tanque cerrado en cuyo interior hay un lecho de resina de intercambio iónico, conexiones de entrada y salida de agua y una válvula multiport que se utiliza para direccionar el flujo de agua en el tanque según la etapa de operación seleccionada. El intercambio iónico se realiza entre la resina (que tiene cationes de sodio) y el agua (con cationes de calcio y magnesio),

obteniéndose, luego del proceso de ablandamiento, agua con cationes sodios disueltos que no son incrustantes.

4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUCCIÓN

4.1. Puesta en servicio de Ablandadores.

Poner en posición de servicio las válvulas 1, 2 y 3 y cerrar las válvulas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 en el ablandador.

Abrir las válvulas de admisión y descarga de agua cruda del ablandador y la válvula de ingreso de la caldera a llenar.

4.2. Control de operación

Análisis de dureza de Agua.-

Información general para realizar las pruebas

- Lave todos los recipientes entre prueba y prueba. La contaminación puede alterar los resultados. Limpie con un detergente no abrasivo o con un solvente tal como alcohol isopropílico.
- Limpie y seque con un paño suave. No utilice toallas de papel o papel tisú para los tubos de plástico ya que los mismos se pueden rayar. Enjuague con agua des ionizada
- Enjuague completamente todos los tubos con la muestra antes de realizar la prueba.
- Al titular, cuente cada gota de titulante. Mantenga el gotero en posición vertical. Rote la botella mezcladora después de agregar cada gota.
- El resultado puede expresarse en granos por galón (gpg) dividiendo el resultado en mg/l por 17,1.

Utilización de las bolsas de polvo PermaChem®:

- Golpee la parte inferior de la bolsa sobre una superficie dura.
- Abra la bolsa cortando a lo largo de la línea de puntos.
- Junte ambos lados para formar una canaleta.
- Vierta el contenido en la muestra.

Medición de las indicaciones

- El polvo sin disolver no afecta la exactitud.
- Para obtener óptimos resultados, controle la exactitud del reactivo con cada nuevo lote de reactivos.

Prueba de dureza de 20-400 mg/L}

- Llene un tubo plástico completo con muestra.
- Vierta el contenido del tubo en la botella mezcladora cuadrada.
- Agregue a la botella mezcladora el contenido de una bolsa de polvo de reactivo para dureza UniVer® 3. Rote para mezclar.
- Agregue titulante EDTA por goteo rotando la botella mezcladora para mezclar. Cuando la muestra cambie de coloración roja a azul, registre la cantidad de gotas agregadas.
- Multiplique por 20 la cantidad de gotas de titulante utilizado. Este valor será el mg/l de dureza como CaCO₃.

Si la solución tiende a coloración roja, indica que hay dureza, procediendo entonces a regenerar.

4.3. Regeneración de ablandadores.

Añadir aproximadamente 7 kilos de sal al tanque de salmuera y llenarlo de agua manipulando la válvula respectiva (es recomendable realizar este proceso por lo menos con 3 horas de anticipación a la regeneración del ablandador a fin de favorecer la disolución total de la sal).

Verificar que la válvula de ingreso de agua al ablandador esté abierta y la de descarga cerrada.

Purgar el aire acumulado en el tanque ablandador utilizando la válvula respectiva.

4.4. Retro lavado (lavado inverso) del ablandador:

Abrir las válvulas 1, 4, 5 y 6; y mantener cerradas las válvulas 2, 3, 7, 8, y 9.

Controlar que en la línea de ingreso de agua al ablandador se mantenga la presión de la red de agua, (o un flujo de 1 galón por minuto), este proceso debe durar entre 10 a 15 minutos.

4.5. Regeneración (ingreso de regenerante) al ablandador:

Abrir la válvula de ingreso de regenerante al tanque y la válvula de ingreso de agua al eyector de vacío.

Primera Etapa: Abrir las válvulas 5, 7 y 8; mantener cerradas las válvulas 1, 2, 3, 4, 6 y 9 hasta llenar el tanque; mantener en estado de reposo por un lapso de 10 minutos.

Segunda etapa: Abrir las válvulas 5, 7, 8 y 9; mantener cerradas las válvulas 1, 2, 3, 4 y 6.

Por un lapso de 13 minutos

Este proceso debe durar en total cerca de 25 a 30 minutos en el cual debe haberse consumido la totalidad de la salmuera anteriormente preparada. En caso de no ser así revisar la línea de ingreso de salmuera al tanque ablandador.

Cuando concluya este paso cerrar las válvulas de ingreso de salmuera.

4.6. Enjuague (lavado directo) del ablandador:

Abrir las válvulas 1, 2 y 9 y cerrar las válvulas 3, 4, 5, 6, 7 y 8

Este proceso debe durar entre 30 a 40 minutos aproximadamente a velocidad lenta, al final del cual:

Se probará la dureza del agua descargada por el ablandador debiendo ser igual a “cero” ppm. De Carbonato de Calcio (si se detecta dureza proceder a repetir el proceso de regeneración completo).

Cerrar la válvula de ingreso de agua al tanque ablandador.

5. Parada de servicio de Ablandadores

Cerrar válvulas de admisión y descarga de ablandador y cerrar válvula de llenado de torre; Parar bomba de alimentación.

ANEXO 11: PRACTICA 1



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FÍSICAS Y
FORMALES

FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO ABLANDADOR

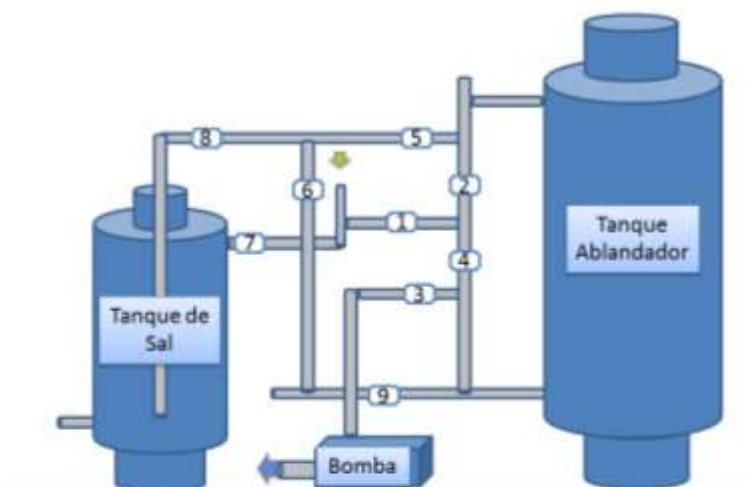
OBJETIVO.- Revisar, estudiar el funcionamiento de un equipo de ablandador del tipo de intercambio iónico

I. FUNDAMENTO TEÓRICO.- Desarrollar la teoría que explique el funcionamiento de un sistema de intercambio iónico.

II. ELEMENTOS A UTILIZAR

- Equipo de intercambio iónico
- Equipo para prueba de dureza de 20-400 mg/L

Diagrama del circuito



III. CUESTIONARIO

3.1.- Defina que es agua dura.

3.2.- Defina que es un proceso de ablandamiento de agua.

3.3.- Demuestre matemáticamente el tiempo de ablandamiento.

3.4.- Defina matemáticamente, cuando necesita ser cambiada la resina del ablandador.

3.5.- Calcule el rendimiento del equipo ablandador

IV. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

OBSERVACIONES:

CONCLUSIONES:

V. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 12: PRACTICA 2



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FÍSICAS Y
FORMALES**

TRATAMIENTO DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL

OBJETIVO.- Identificar ventajas y desventajas del acondicionamiento de agua para uso industrial. Reconocer métodos físicos y químicos de tratamiento de agua.

FUNDAMENTO TEÓRICO.- Desarrollar la teoría que explique los métodos de tratamiento de agua más utilizados en la industria.

I. ELEMENTOS A UTILIZAR

- Equipo de intercambio iónico
- Equipo de osmosis inversa



II. CUESTIONARIO

3.1.- Defina que es un método químico de tratamiento de agua.

3.2.- Defina que es un físico de tratamiento de agua.

3.3.-Cuales son los limites admisibles de CaCO_3 y MgCO_3 en sistemas de vapor

3.4.- Determine que es TDS.

3.5.- Defina que es el PH.

3.6.- Determine como se relacionan TDS y PH

III. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

OBSERVACIONES:

CONCLUSIONES:

IV. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 13: PRUEBA DE DUREZA AGUA DE POZO DE UCSM



Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES
UNIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS
AREQUIPA - PERÚ



SERVILAB
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN
GENERAL

INFORME DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Nº DE REPORTE : 7751-10

NOMBRE DEL CLIENTE	: FERNANDO ALVAREZ
DIRECCIÓN	:
ASUNTO	: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO	: AGUA
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN	: AREQUIPA, 2010-04-12
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES	: ENVASE DE PLÁSTICO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS	: 2010-04-13
REFERENCIA	: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
OBRA	:
PROCEDENCIA	:
CODIGO DE REGISTRO DE MUESTRA	: 11425

- LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
- LOS ANÁLISIS HAN SIDO REALIZADOS EN:

SERVILAB

SERVICIOS QUÍMICOS EN GENERAL
Pabellón MARIANO E. DE RIVERO Y USTARIZ (QUÍMICA)
Laboratorio 108 Primer Piso Ciudad Universitaria
Teléfono 054-220360
Av. Independencia S/n
Arequipa-Perú

PAGINA 1 DE 2



Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES
UNIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS
AREQUIPA - PERÚ



SERVILAB
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN
GENERAL

INFORME DE ENSAYO

Nº DE REPORTE: 7751-10

DETERMINACIÓN DE :					
Calcio	mg/L CaCO ₃	144,73			
Magnesio	mg/L MgCO ₃	12,94			
OBSERVACIONES:					

METODO DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA /REFERENCIA / NOMBRE
Calcio	Método Complexométrico
Magnesio	Método Complexométrico

Emitido en Arequipa (Perú) el 13 de Abril del 2010

PAGINA 2 DE 2


Dra. Gloria Rosal Salinas
Jefe de Laboratorio
RGQP QRS 128




Anal. Qm. Ruth Beyazu Guillén.
Químico Responsable

NOTA: este formato no será reproducido sin autorización del laboratorio Servilab

ANEXO 14: ENSAYO DE DUREZA Y TDS AGUA DE RED UCSCM



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS, BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ +51 54 251210 ANEXO 1166
✉ laboratorioensayoucsm@gmail.com 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA04K13.000986

Nombre del Cliente	: FERNANDO ALVAREZ VALDEZ
Dirección del Cliente	: CALLE AMPATACUCHA 229-YANAHUARA
RUC	: NO DECLARA
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: AGUA RED UCSCM
Tamaño de muestra	: 625 mL
Fecha de Recepción	: 04/11/2013
Fecha de Inicio del Ensayo	: 04/11/2013
Fecha de Emisión de Informe	: 05/11/2013
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	540
DETERMINACION DE DUREZA TOTAL (mg/L) NTP 214.01B.1999, Método volumétrico con EDTA	16,5

OBSERVACIONES:

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INDECOPI-CRT

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez
COFDA 00624
JEFE DE LABORATORIO LECI



Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

ANEXO 15: ENSAYO DE DUREZA Y TDS AGUA INTECAMBIO IONICO UCSM



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEÚTICAS, BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umachillo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/206 ☎ +51 54 251210 ANEXO 1166
 ✉ laboratorioensayoucsm@gmail.com 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
 AREQUIPA - PERU

INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA04K13.000986C



Nombre del Cliente	: FERNANDO ALVAREZ VALDEZ
Dirección del Cliente	: CALLE AMPATACUCHA 229-YANAHUARA
RUC	: NO DECLARA
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: AGUA INTERCAMBIO IONICO
Tamaño de muestra	: 625 mL
Fecha de Recepción	: 04/11/2013
Fecha de Inicio del Ensayo	: 04/11/2013
Fecha de Emisión de Informe	: 05/11/2013
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920,193 Solids in Water	556
DETERMINACION DE DUREZA TOTAL (mg/L) NTP 214.018.1999, Método volumétrico con EDTA	< 0,01

OBSERVACIONES:
 Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INDECOPI-CRT



Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez
 CQFDA 00624
 JEFE DE LABORATORIO LECC





Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

ANEXO 16: ENSAYO DE DUREZA Y TDS AGUA OSMOSIS INVERSA UCSM



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEÚTICAS, BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José SIN Umacoño CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ +51 54 251210 ANEXO 1166
 ✉ laboratorioensayoucsm@gmail.com 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
 AREQUIPA - PERU

INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA04K13.000986B



Nombre del Cliente	: FERNANDO ALVAREZ VALDEZ
Dirección del Cliente	: CALLE AMPATACUCHA 229-YANAHUARA
RUC	: NO DECLARA
Condición del Muestreo	: POR EL CLIENTE
Descripción	: AGUA OSMOSIS INVERSA
Tamaño de muestra	: 625 mL
Fecha de Recepción	: 04/11/2013
Fecha de Inicio del Ensayo	: 04/11/2013
Fecha de Emisión de Informe	: 05/11/2013
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE SOLIDOS EN SOLUCION (mg/L) AOAC Official Method 920.193 Solids in Water	22
DETERMINACION DE DUREZA TOTAL (mg/L) NTP 214.018.1999, Método volumétrico con EDTA	< 0,01

OBSERVACIONES:
 Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INDECOPI-CRT


 Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez.
 CQFBA 00624
 JEFE DE LABORATORIO LECC





Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

ANEXO 17: LAYOUT PLANO DE MODULO



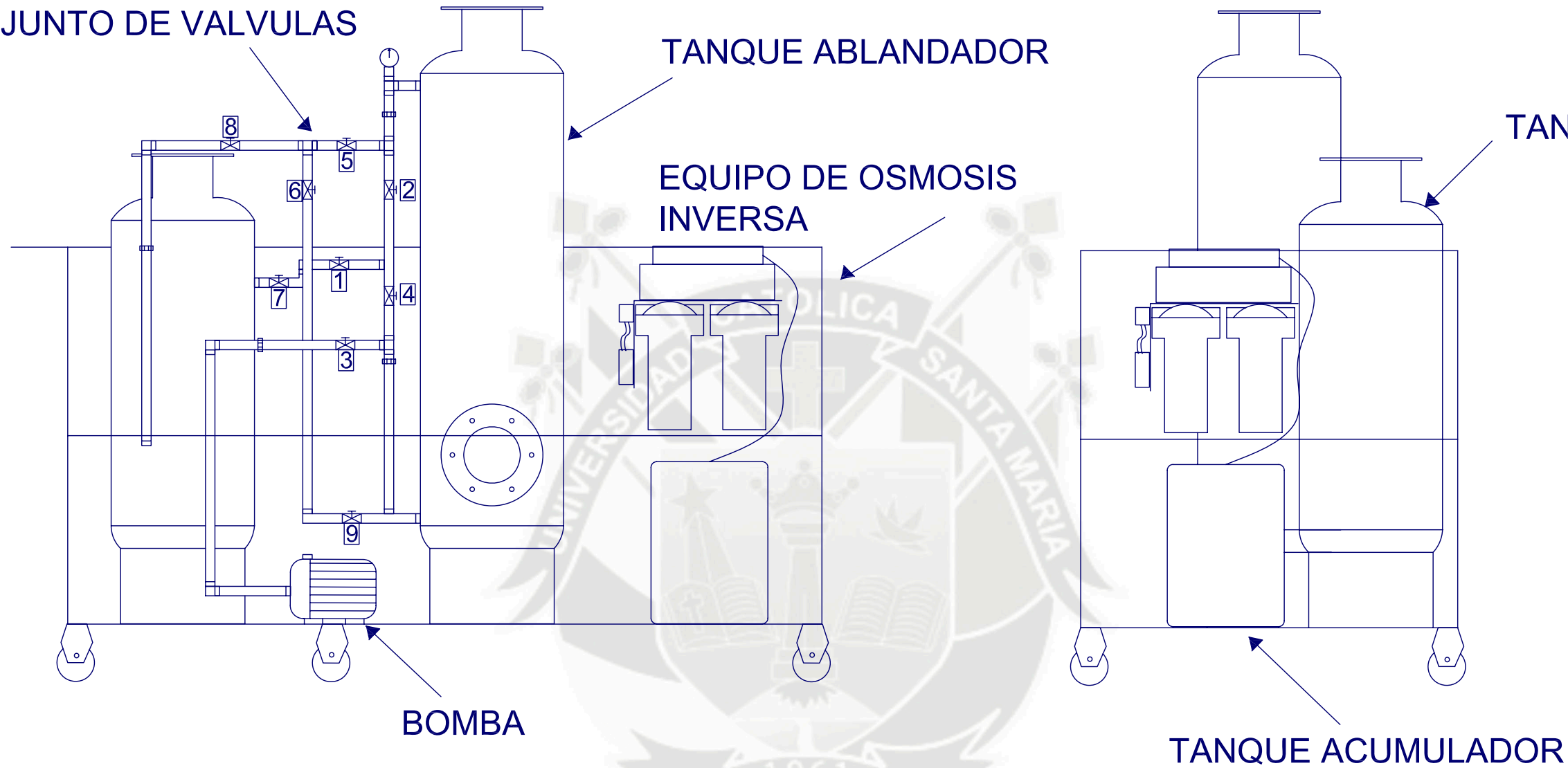
MODULO DE TRATAMIENTO DE AGUA, INTERCAMBIO IONICO Y ÓSMOSIS INVERSA

CONJUNTO DE VALVULAS

TANQUE ABLANDADOR

TANQUE DE SAL

EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA

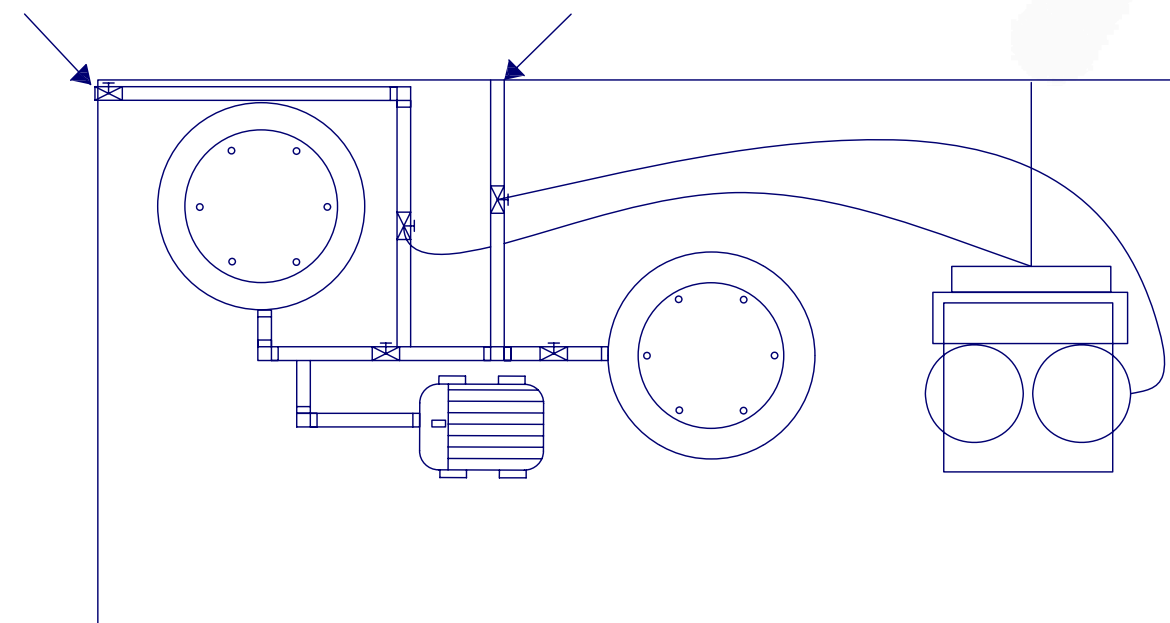


BOMBA

TANQUE ACUMULADOR

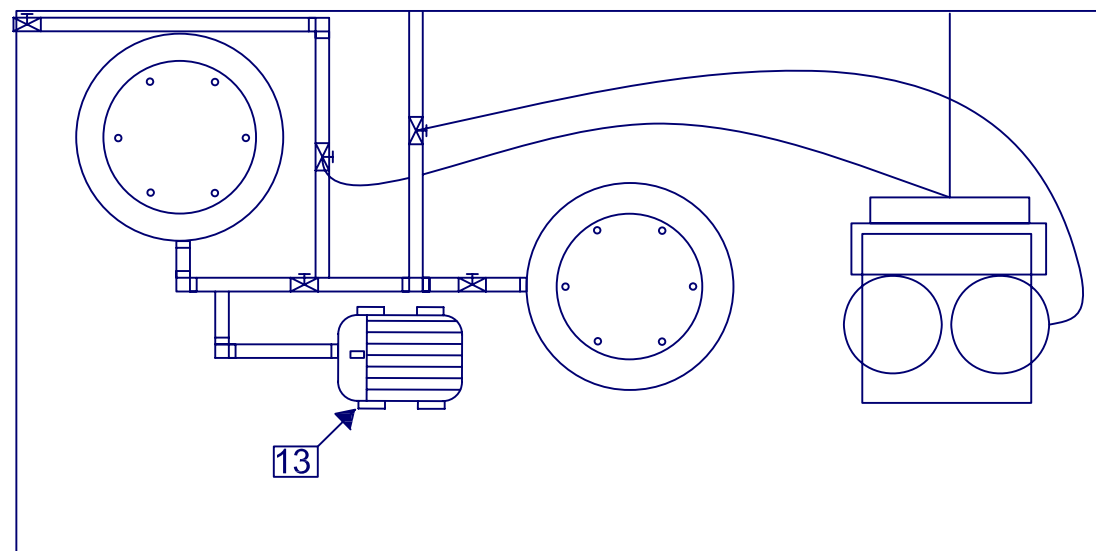
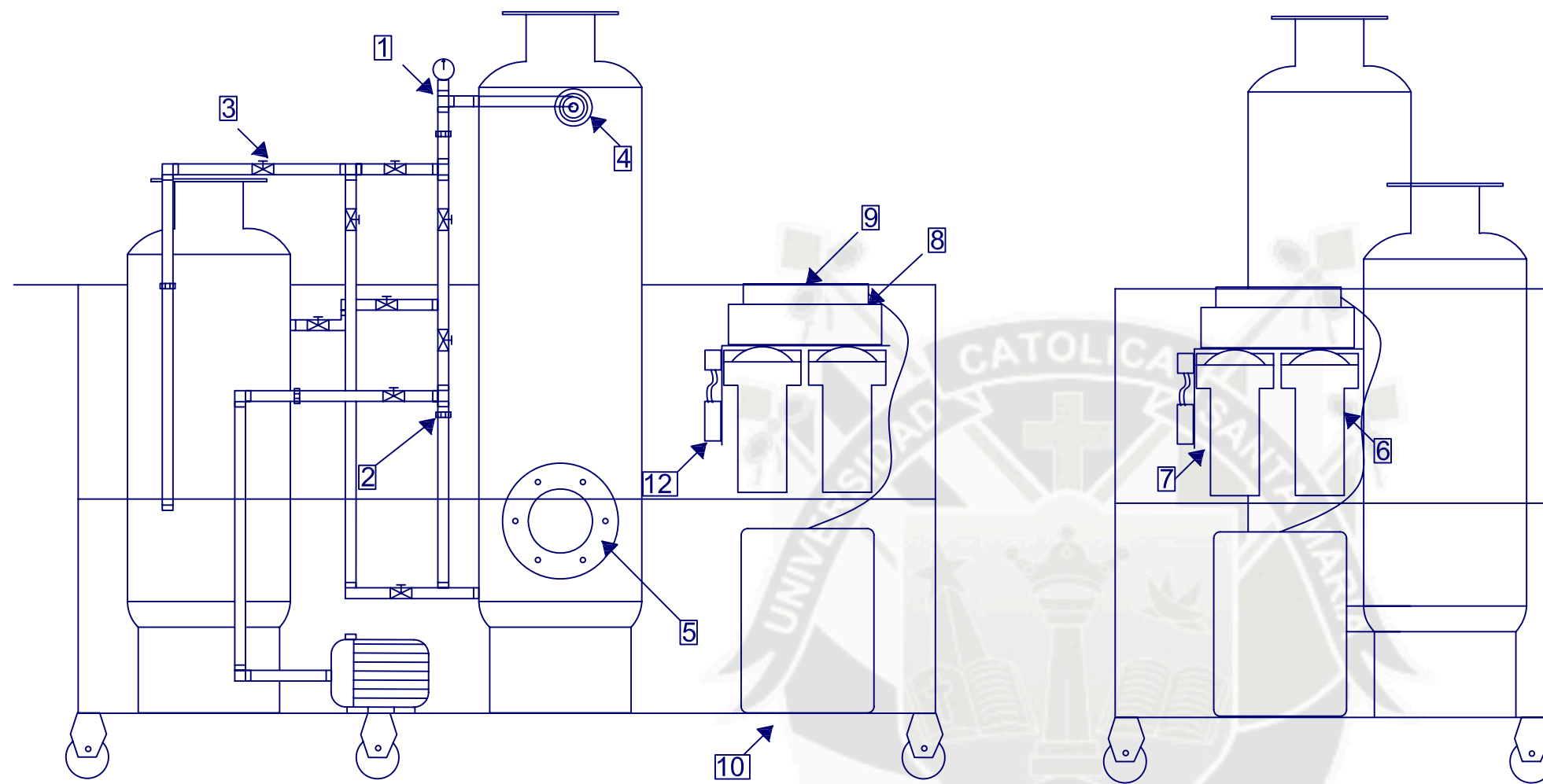
SALIDA DE AGUA

INGRESO DE AGUA



PROGRAMA PROFECIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA			
PROYECCION	DESCRIPCION		ESCALA
	LAYOUT PLANO DEL MODULO		S/E
FECHA	DIBUJADO POR:	REVISADO POR:	PLANO N°
10 / 2013	A.V.F.R. ; R.P.A. J.	G.A.C.	1

MODULO DE TRATAMIENTO DE AGUA, INTERCAMBIO IONICO Y ÓSMOSIS INVERSA



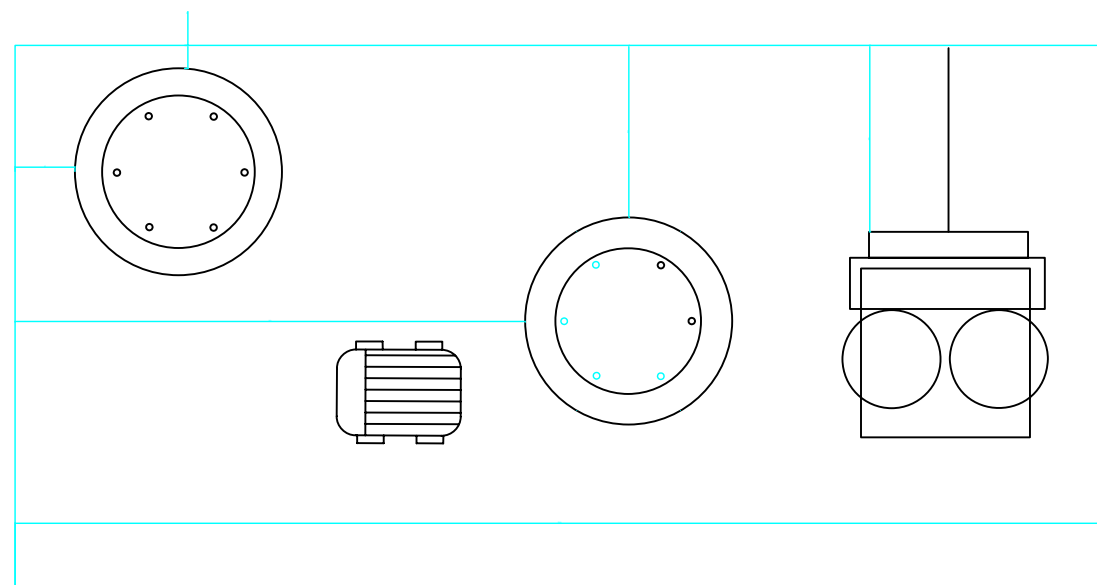
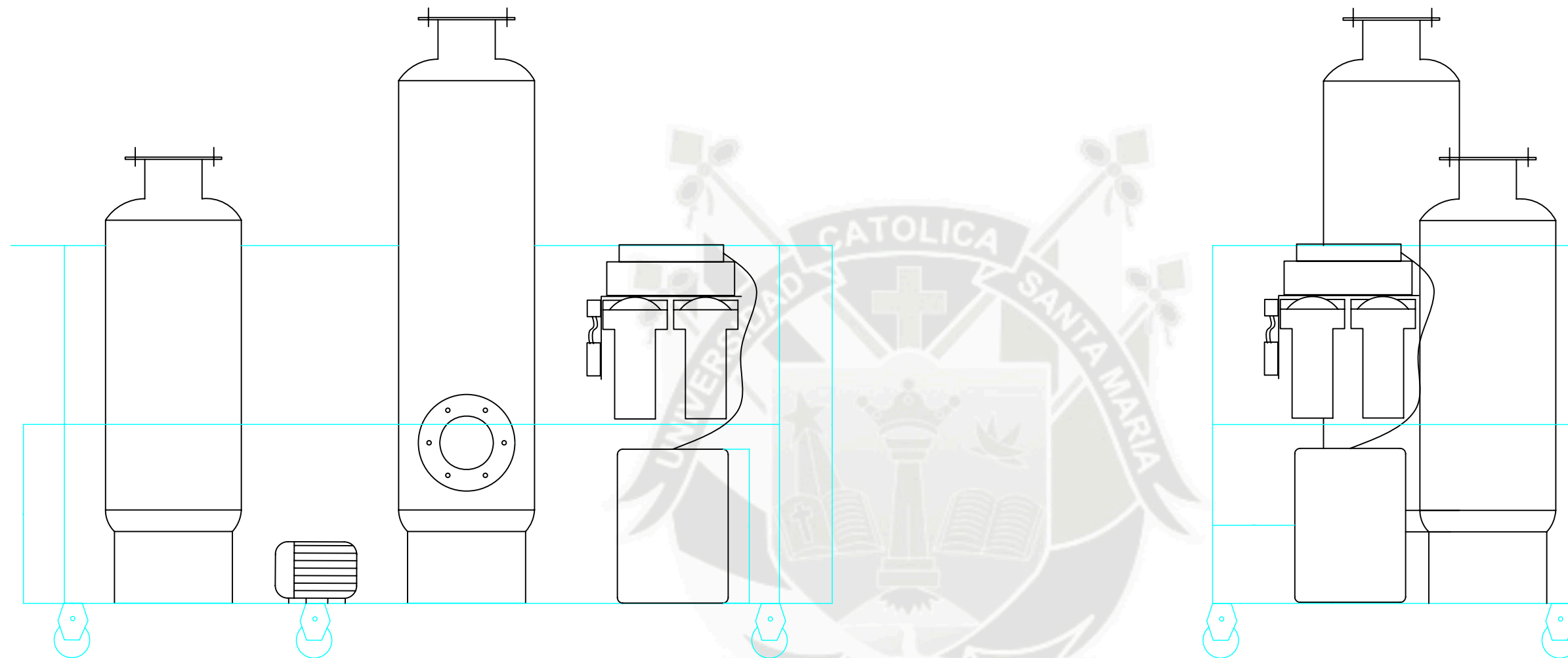
Lista de materiales			
item	cantidad	descripción	características
1	8	Union tipo T 1"	
2	3	Union universal 1"	
3	9	valvulas de cierre rapido 1"	
4	7	toberas	
5	1	brida	
6	1	Pre filtro de abastecimiento de 5 micrones	
7	1	Pre Filtro GAC de carbon activado	GAC
8	1	Membrana Osmotica	TFC 50 GPD
9	1	Post filtro en linea de carbon GAC	GAC
10	1	Tanque de reserva	RO-4 NSF
11	1	Grigo Cromado de largo alcance	
12	1	bomba de alta precisión	12 VDC / 0.16 A. / 0.31 GPM / 100 PSI
13	1	Bomba de abastecimiento	

PROGRAMA PROFECIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

PROYECCION	DESCRIPCION	ESCALA
	ENSAMBLE DEL MODULO	S/E

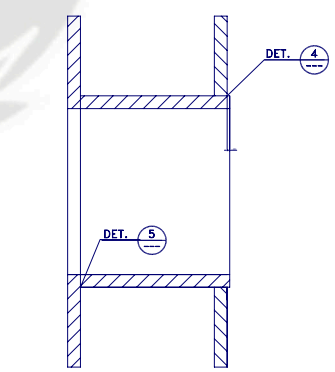
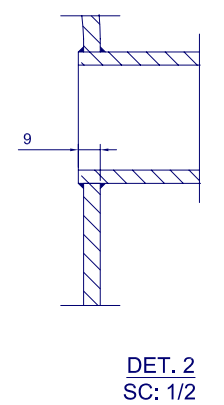
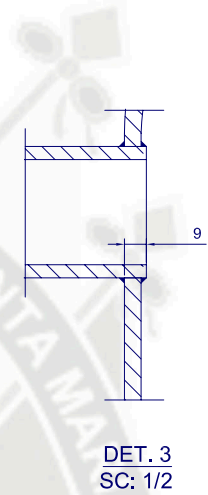
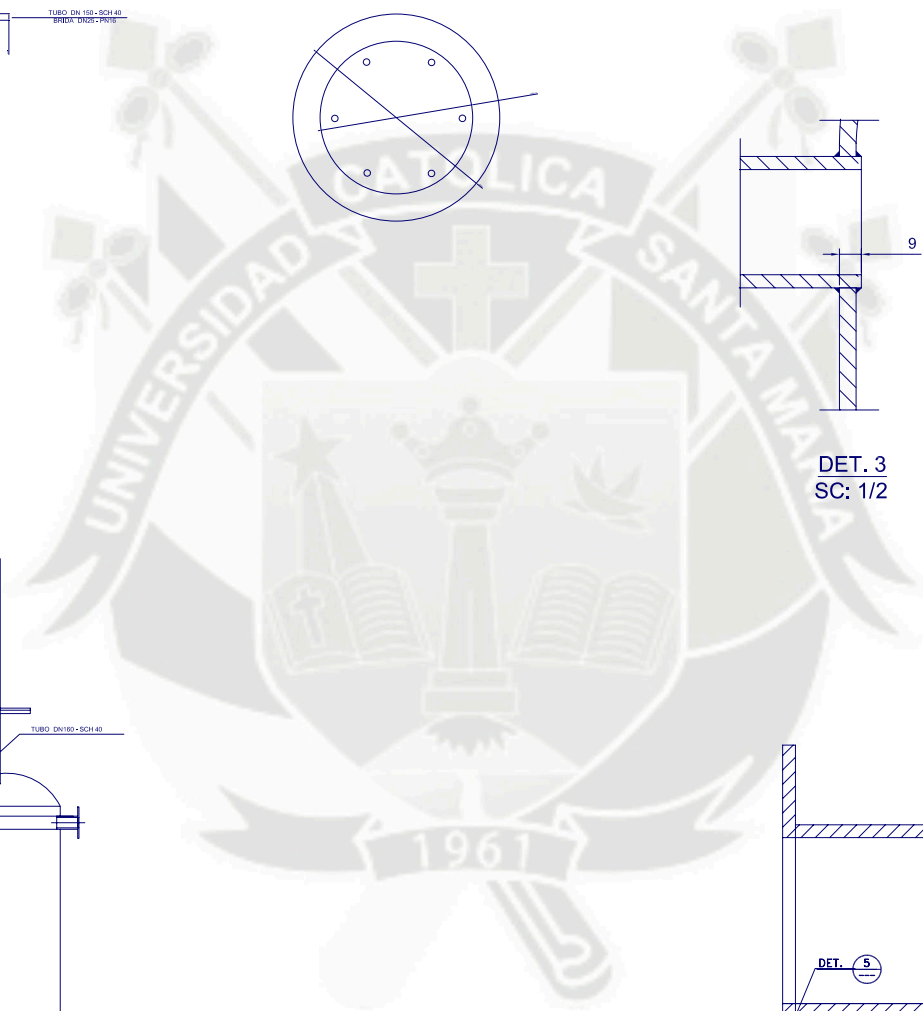
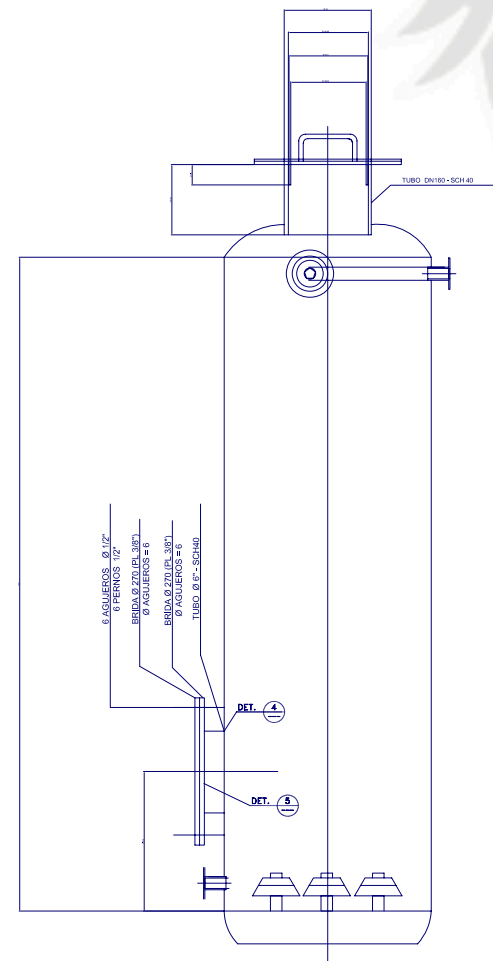
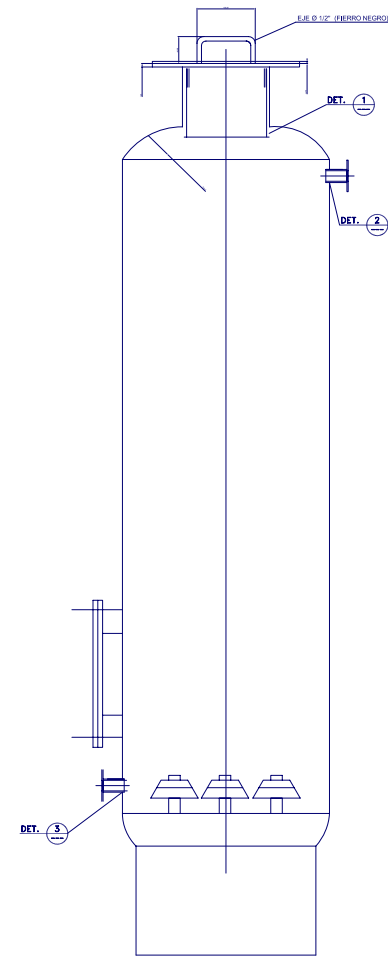
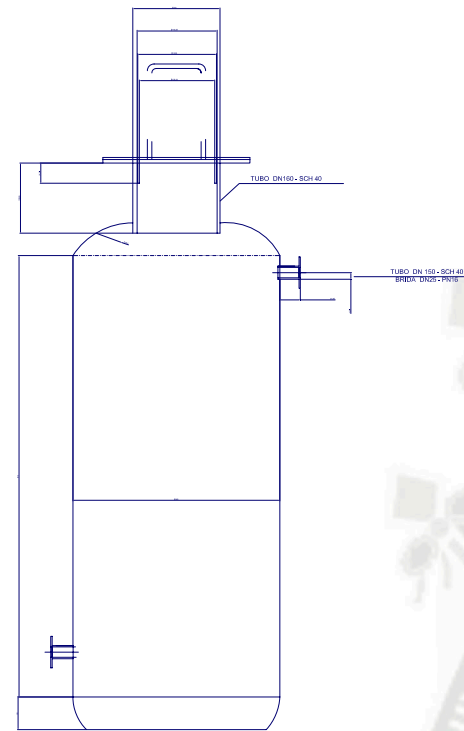
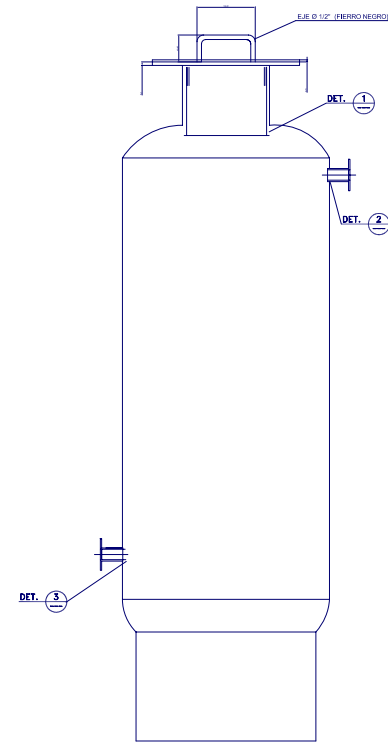
FECHA	DIBUJADO POR:	REVISADO POR:	PLANO N°
10 / 2013	A.V.F.R. ; R.P.A. J.	G.A.C.	2

MODULO DE TRATAMIENTO DE AGUA, INTERCAMBIO IONICO Y ÓSMOSIS INVERSA

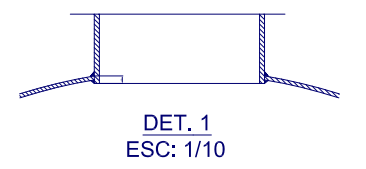


PROGRAMA PROFECIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA			
PROYECCION	DESCRIPCION		ESCALA
	DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS		S/E
FECHA	DIBUJADO POR:	REVISADO POR:	PLANO N°
10 / 2013	F.R.A.A. ; R.P.A. J.	G.A.C.	3

MODULO DE TRATAMIENTO DE AGUA, INTERCAMBIO IONICO Y ÓSMOSIS INVERSA



DETALLE DET4 DET5
ESC : 1/10



PROGRAMA PROFECIONAL DE INGENIERIA MECANICA			
PROYECCION	DESCRIPCION		ESCALA
	TANQUE DE SALMUERA Y TANQUE ABLANDADOR		1:25
FECHA	DIBUJADO POR:	REVISADO POR:	PLANO N°
04/11/2008	S.C.J.J. ; R.P.A. ; T.M.E.; F.A.V	J.D.C.	4