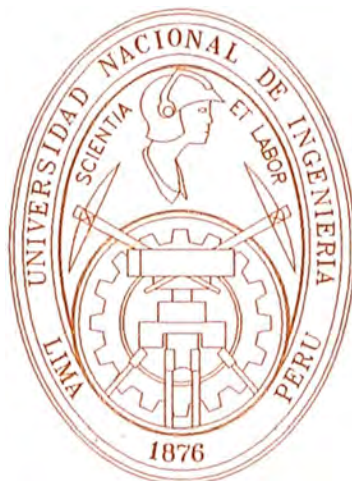


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



“EVALUACIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS POR ÓSMOSIS INVERSA EN UNA PLANTA DE LA INDUSTRIA TEXTIL”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

VICTORIA GENOVEVA GRADOS CABRERA

LIMA - PERÚ

2006

DEDICATORIA

A mis padres: Moisés y Sabina.

Quienes se han sacrificado por darme la carrera universitaria y han sabido enseñarme el valor del estudio y la abnegación para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento:

A Dios; nuestro creador que me ha dado la fortaleza para seguir adelante todos los días, por darme la oportunidad de culminar mis estudios universitarios y por todo lo que me ha dado.

A mi familia; quienes siempre están pendientes de mí, por su gran apoyo y cariño que fueron de suma importancia especialmente mi padre Moisés Grados, y mi madre Sabina Cabrera, mis hermanos Carmen, Carlos, José y Miguel.

A cada uno de los Ingenieros, docentes del Curso de Actualización de Conocimientos; quienes volcaron toda su experiencia y conocimientos durante el desarrollo del curso.

A Roberth; por su compañía y apoyo en todo momento, por ser gran partícipe de este logro.

A todos y cada una de las personas que con su valioso aporte me han ayudado en la elaboración del presente informe.

RESUMEN

El agua es usada en prácticamente todos los procesos de Teñido y Acabado de la Industria Textil y se recomienda que el nivel máximo de dureza sea de 25 ppm.

Debido a los altos consumos de Sal Industrial en grano como regenerante en el proceso de Ablandamiento por Intercambiadores Iónicos y para no exceder los límites recomendados por la mayoría de tintoreros; es que se plantea la instalación de un Sistema de Ósmosis Inversa combinado en paralelo con el Sistema de Intercambiadores Iónicos.

Los procesos de Teñido y Acabado de Textiles por ser procesos discontinuos tienen elevados consumos de agua y energía.

La materia de la fibra; materia prima de la tela, tiene contaminantes o impurezas entre ellos el Ca^{+2} y Mg^{+2} por lo cuál es necesario el uso de Secuestrantes, cuyo consumo será mayor para tratar de corregir la dureza del agua de proceso si ésta no es controlada con los Sistemas de Ablandamiento.

La Empresa en estudio tiene un agua fuente que contiene cantidades considerables de Bicarbonato (aumenta la alcalinidad del agua) que son potencialmente peligrosos para el proceso de Teñido de Textiles, se debe considerar que el Intercambio Iónico elimina solamente los cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} , pero no remueve el anión Bicarbonato por lo que es de suma utilidad la implementación de la Unidad de Ósmosis Inversa minimizando así además el uso de Controladores de Bicarbonatos en el proceso de Teñido y sobre todo asegurando la calidad del agua para el proceso.

Así, el Sistema de Tratamiento de Aguas implementado de Ósmosis Inversa en paralelo con los Intercambiadores Iónicos ha traído ventajas a la Empresa, en cuanto a costos y mejor control de la calidad de agua para el proceso de Teñido y Acabado.

INDICE

RESUMEN	4
I.- INTRODUCCIÓN	7
II.- CONCEPTOS TEÓRICOS Y TÉCNICAS SOBRE OSMOSIS INVERSA ...	8
2.1.- Fundamentos de Ósmosis Inversa	8
2.1.1.- Descripción del Proceso	8
2.1.2.- Diferencias entre Ósmosis Inversa y Otros Tipos de Membranas	15
2.2.- Ecuaciones Fundamentales	20
2.2.1.- Ecuación de Flujo de Agua	21
2.2.2.- Ecuación de Transporte de Sales	21
2.2.3.- Paso de Sales	21
2.2.4.- Rechazo de Sales	22
2.2.5.- Recuperación	22
2.2.6.- Concentración del Producto	22
2.2.7.- Concentración del Rechazo	22
2.2.8.- Proporción de Reducción	22
2.3.- Configuraciones de Membranas	22
2.4.- Factores de Funcionamiento	30
2.5.- Principales Membranas Comerciales y Sus Limitaciones	33
III.- DESARROLLO DEL TEMA	36
3.1.- Características Generales de una Planta de la Industria Textil	36
3.2.- Productos y Servicios	36
3.2.1.- Tejeduría	36
3.2.2.- Tintorería	37
3.2.3.- Acabados	38

3.3.- Características Generales del Proceso de Teñido y Acabado	38
3.3.1.- Principales Etapas del Proceso	38
3.3.2.- Materias Primas y Aditivos	40
3.3.3.- Agentes Secuestrantes	41
3.3.4.- La Alcalinidad (M) y El Controlador de Bicarbonatos	44
3.4.- Fuentes de Agua y Sistema de Tratamiento	47
3.4.1.- Características del Agua Cruda	47
3.4.2.- Calidad de Agua, Usos y Necesidades	47
3.4.3.- Sistema Convencional de Ablandamiento por Intercambiadores Iónicos	51
3.5.- Rediseño del Sistema de Ablandamiento	58
3.5.1.- Características del Equipo de Ósmosis Inversa	58
3.5.2.- Descripción de la Instalación	58
3.6.- Evaluación Económica	65
3.6.1.- Antecedentes (Sistema Convencional)	65
3.6.2.- Costos de Adquisición Equipo y Aditivos de Pretratamiento	65
3.6.3.- Costos Nuevo Sistema de Ablandamiento	66
3.6.4.- Estructura de Costos para el Equipo de Ósmosis Inversa	66
3.6.5.- Ventajas Obtenidas con el nuevo Sistema	68
IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
V.- BIBLIOGRAFIA.	71

I.- INTRODUCCIÓN

El presente Informe tiene como Objetivo evaluar las condiciones y características para establecer un Sistema de Tratamiento de Aguas en el que opera una Unidad de Ósmosis Inversa en paralelo a tres Intercambiadores Iónicos en reemplazo al Sistema convencional de Ablandamiento usando cinco Intercambiadores Iónicos en una planta de la Industria Textil.

Este informe presenta la parte teórica sobre el fundamento de la Operación de Ósmosis Inversa y los modelos de membranas. Además se presenta una breve descripción de la Empresa, sus principales etapas de proceso, la descripción de los tipos de productos cuyo consumo podría ser mayor dependiendo al Sistema de tratamiento de Aguas, también se presenta las características de la fuente de Agua y la descripción del Sistema convencional de Ablandamiento que se ha estado utilizando. Se describe las características para la instalación del Equipo de Ósmosis Inversa, su evaluación y comparación económica respecto al Sistema convencional ya mencionado, las ventajas y resultados que se obtuvieron con la instalación.

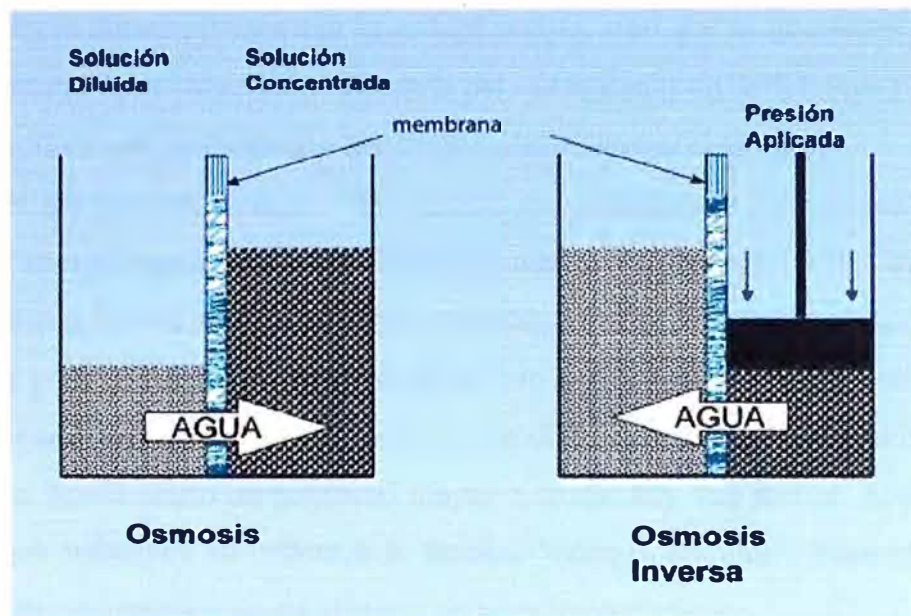
Al terminar se presentan algunas conclusiones y recomendaciones respecto al tema de estudio.

II.- CONCEPTOS TEÓRICOS Y TÉCNICAS SOBRE ÓSMOSIS INVERSA

2.1.- FUNDAMENTOS DE OSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es un proceso en el cual se fuerza al agua a pasar a través de una membrana semipermeable, desde una solución más concentrada a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión.

FIGURA N° 1. Proceso de Ósmosis.



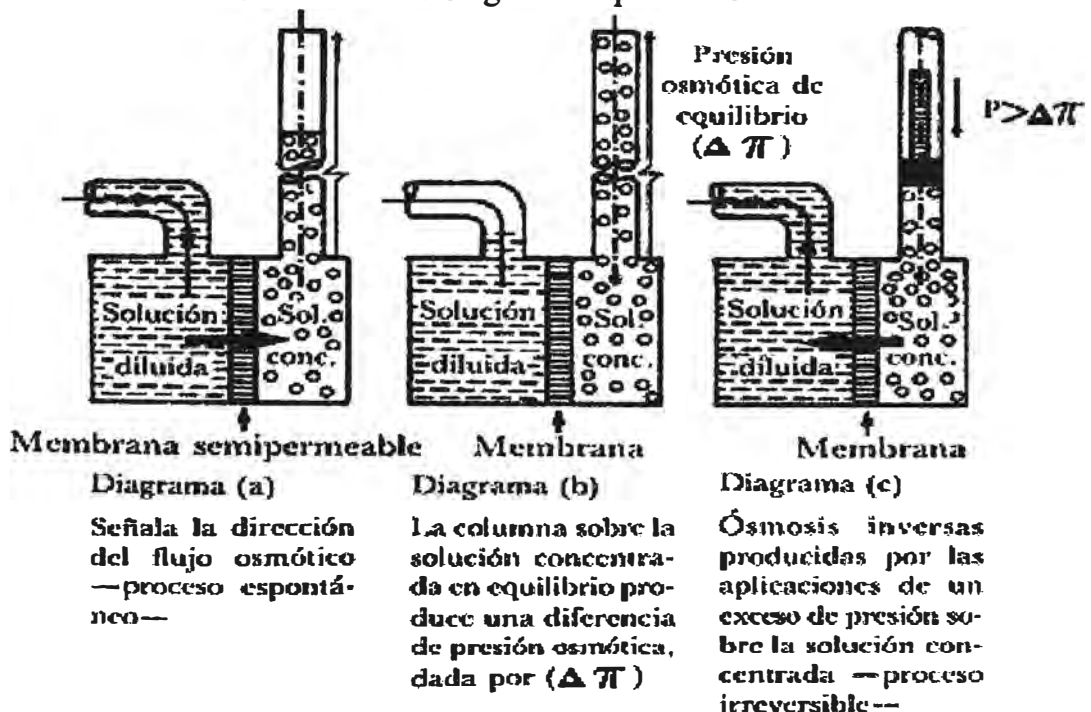
2.1.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El fenómeno de ósmosis normal o también llamada directa, representa la respuesta de un sistema discontinuo cuando dos recipientes con solución a diferentes concentraciones (diferencia de potencial químico) se ponen en contacto por medio de una membrana semipermeable. El flujo osmótico se origina del recipiente de solución diluida al recipiente de solución concentrada (Diagrama a, FIGURA N° 2). La condición de equilibrio en el intercambio de materia a través de la membrana implica que los potenciales químicos del agua deben igualarse para ambos líquidos. Es un proceso espontáneo para llevar el sistema a su estado de equilibrio. Ello ocurre cuando el flujo osmótico eleva una columna de líquido sobre la solución concentrada, cuyo peso produce la presión osmótica de equilibrio (Diagrama b, FIGURA N° 2). La segunda ley de la termodinámica asegura que este proceso es irreversible, en vista de que para reintegrar el sistema a su estado inicial tiene la necesidad

de realizar un trabajo mecánico neto. Esta labor mecánica se realiza en la solución concentrada, de tal manera que el flujo del solvente ocurre en dirección opuesta al flujo osmótico original. Para que tal cosa se realice, es obligatorio que la presión aplicada tenga un valor mayor a la diferencia de las presiones osmóticas entre los recipientes (véase el Diagrama c, FIGURA N° 2). La presión osmótica no es el resultado del choque de las moléculas de la sustancia disuelta contra una superficie porosa, sino que su interpretación debe apreciarse como la presión necesaria para compensar un déficit energético que se produce por la disolución espontánea del soluto en el solvente.

En la teoría termodinámica de mezclas se entiende que toda solución posee una "energía química" (energía libre) la cual es menor en la mezcla que en las correspondientes sustancias puras. Así pues, la energía química es mayor en el agua pura que en la solución de agua con azúcar; y otra vez se establece el fenómeno cotidiano por el sentido en que el flujo de masa ocurre, es decir, del punto donde existe un potencial mayor a donde hay uno menor. El potencial de que hablamos se refiere a la famosa "energía química". Esto explica el fenómeno osmótico desde el punto de vista termodinámico.

FIGURA N° 2. Origen de la presión Osmótica.



Para comprender el fenómeno de ósmosis; aquí un ejemplo práctico, consideremos un recipiente rectangular dividido a la mitad por una membrana semipermeable. En cada sección hay una cantidad igual de agua a temperatura constante. Si determinamos la cantidad de energía que existe en cada una de las secciones, ésta será igual.

Si después 'aislamos' de alguna manera una de las secciones y le agregamos al agua de ésta, una cierta cantidad de azúcar formando una solución, ahora la cantidad de energía en ese sitio será menor, ya que parte de ella se usó para disolver el azúcar. Si ahora 'quitamos' lo que aisló a las dos secciones y dejamos que interactúen, el agua empezará a fluir de la sección que tiene mayor cantidad de energía a la que tiene menor cantidad (agua con azúcar).

De esta manera, para que ocurra la ósmosis es necesario que haya dos sistemas, con diferente concentración entre sí y separados por una membrana semipermeable.

La presión osmótica es la que ejerce el solvente para que pase de una zona de menor concentración de soluto a una de mayor. En otras palabras, es la presión necesaria para evitar la ósmosis.

La presión osmótica, de una disolución depende de su concentración y se atiene a una ley semejante a la de los gases ideales. Dicha ley fue establecida por Van't Hoff en 1897 y se expresa en la forma:

$$\Pi V = n R T$$

Donde Π representa la presión osmótica (en atmósferas); V el volumen de la solución (en litros); n el número de moles de soluto (masa del soluto en gramos/masa molecular del soluto); T la temperatura del sistema en $^{\circ}\text{K}$ y; R , la energía/mol $^{\circ}\text{K}$ (energía necesaria para que un mol de sustancia cambie su temperatura 1°K), $0.982 \text{ atm}\cdot\text{L/mol } ^{\circ}\text{K}$, también conocida como la constante universal de los gases.

Este fenómeno depende tanto de la concentración como de la temperatura del sistema, tal como se expresa al despejar Π y reacomodar la ecuación de la presión osmótica: $\Pi = n R T/V = M R T$. Donde M es la concentración molar

(moles de soluto por litro de solvente) y T la temperatura absoluta del sistema ($^{\circ}\text{K}$).

El proceso de ósmosis inversa fue propuesto por primera vez por Charles E. Reid en 1953 para obtener agua potable del agua de mar. La propuesta de Reid fue sometida a la consideración de la Oficina de Aguas Salinas de EUA y surgieron algunas objeciones, una de ellas consideraba a la ósmosis inversa como un proceso impráctico y que en caso de funcionar sería una curiosidad de laboratorio. La duda más seria a la propuesta de Reid fue cuando se hizo ver que el estado del arte carecía de una membrana adecuada para realizar eficientemente el proceso de ósmosis inversa. En efecto, al aprobarse el proyecto Reid se enfrascó en un problema mayúsculo para conseguir la membrana que tuviera la capacidad de realizar ese proceso. Las dificultades básicamente eran las siguientes:

- a) Carencia de una membrana que resistiera químicamente las soluciones salinas.
- b) Las membranas eran muy poco porosas para permitir el libre tránsito del solvente (agua pura) y demasiado abiertas para tener un adecuado coeficiente de reflexión de Staverman (bajo rechazo de sales).

El coeficiente de reflexión de Staverman (σ) toma en cuenta las cualidades de la membrana y es representada por la relación entre la presión osmótica experimental y la presión osmótica teórica. La membrana puede ser semipermeable ($\sigma = 1$), selectiva ($\sigma \leq 1$) o abierta ($\sigma < 1$).

La solución del problema de la separación de agua pura a partir de agua de mar o salobres fue resuelta por el descubrimiento de la membrana de acetato de celulosa por el mismo Reid y E. J. Breton en 1959.

A este descubrimiento siguió otro efectuado por S. Loeb y S. Sourirajan en los años de 1960 a 1962 al demostrarse que la membrana de Reid y Breton mejoraba considerablemente el flujo de solvente y rechazo de sales, si la membrana se hacía asimétrica en lugar de homogénea. Luego se supo, por observaciones al microscopio electrónico, que la asimetría en la membrana de Loeb y Surirajan se debía a la presencia de una delgada película de polímero

en fase amorfa con secciones cristalinas sobre la superficie de la membrana. Esta película es la parte activa de la membrana y responsable de la exclusión de los solutos. El cuerpo restante de la membrana sirve de soporte y es una estructura polímera esponjada altamente porosa.

Con este tipo de membrana se realizó eficientemente el proceso de ósmosis inversa, acallando a los que pensaron que esa inversión nunca funcionaría. A pesar de este triunfo tecnológico, el precio que se paga es alto, por el costo elevado de energía que cobran las irreversibilidades. En un principio se creyó que el proceso de ósmosis inversa sería altamente eficiente, pues se pensó que bastaría con exceder la presión osmótica del sistema para lograr la inversión osmótica. Aquí no se tomaba muy en cuenta la segunda ley de la termodinámica debido a que se requiere un trabajo extra para su funcionamiento en contra de irreversibilidades y entre más lejos del equilibrio se opere, mayor será ese costo extraordinario de energía. En efecto, resultó que el funcionamiento de dicho efecto requiere de la aplicación de una presión mucho mayor (4 ó 5 veces mayor) al valor de la presión osmótica efectiva e invertir energías 10 veces más que la requerida, si el proceso fuera reversible, por ejemplo, la presión osmótica del agua de mar es de 24 atmósferas, mientras que los equipos que obtienen agua potable a partir de agua de mar operan con presiones de 100 atmósferas o mayores. Ello implica costos de equipo y mantenimiento elevados.

Uno de los logros de la década de los años sesenta fue hacer económica la aplicación de la ósmosis inversa en la obtención de agua potable a partir de aguas salobres y de mar, y entrar francamente en competencia con otros sistemas de separación de pequeña o gran escala. Esta posibilidad fue una consecuencia de la perfección de la membrana de acetato de celulosa y un entendimiento más claro de los procesos de interacción de una solución salina con dichas membranas. En esta década se consiguió comprender los efectos de compactación y de oclusión de las membranas bajo operación, así como percibir la necesidad de tratamientos bioquímicos del agua de alimentación, por la presencia de microorganismos que utilizan a la membrana como

nutriente. En particular, el conocimiento de la capa de polarización como efecto adverso fue decisivo en los avances anteriores. Este efecto se ha señalado como el recíproco del osmótico, y es causa de la formación de una capa de iones cuando durante el tránsito del flujo volumétrico se acumulan solutos que no pueden pasar y se concentran a la entrada de la membrana. Esta capa de iones salinos elevan la presión osmótica local de la solución frente a la membrana y por lo mismo aumenta la presión de operación para mantener un flujo del solvente. La eliminación de este efecto adverso fue determinante en el diseño de los módulos que sirven de apoyo a la membrana, en vista de que para eliminar esa capa de polarización se utiliza la agitación convectiva, provocando un flujo turbulento en la solución alimentadora. De esta manera, las celdas donde las membranas ejecutan la separación presentan diseños geométricos de manera que los flujos sean violentos (altos números de Reynolds).

Otro de los avances de la década de los sesenta fue la elaboración de modelos que interpretaban los procesos de transporte de una membrana. Entre otras, están las aportaciones de H. K. Lonsdale, U. Merten y R. L. Riley en 1965. El año siguiente se conocen las contribuciones de Spiegler y Kedem, Gradzinski y Kedem, Mears y Merten. Estos modelos siguen los lineamientos teóricos dados por Kedem Katchalsky en 1958 y predicen relaciones entre distintas variables del sistema, como los flujos de soluto y solvente, porcentaje de rechazo, espesor y permeabilidad de la membrana. Esto permitió un manejo adecuado de los parámetros de diseño en la construcción y verificación de plantas de prueba o pilotos y luego su comercialización en plantas del orden industrial.

En la década de los años sesenta, el estudio y aplicación de la ósmosis inversa se relacionó con la desalación de aguas salinas y del tratamiento de aguas de reuso, como la purificación de agua de desechos industriales y de drenaje.

Por otra parte, en la década de los setenta se consiguió un conocimiento más detallado sobre el funcionamiento de la membrana; en particular se discutió el mecanismo por el que una membrana de acetato de celulosa permite el paso

del solvente e impide el tránsito de los solutos. El fenómeno de la causa de la selectividad de una membrana fue discutido primeramente en los trabajos de Reid y Breton en 1959, constituyendo una constante preocupación en las explicaciones físicas de los modelos de la década anterior.

Algunos puntos se establecieron en la década de los sesenta y aparecen en nuestra época como un conocimiento fraccionado. Algunas teorías han formulado una explicación sobre la causa del fenómeno de la selectividad de una membrana, sin que existan correlaciones de observaciones experimentales donde se observe claramente la influencia de las propiedades de las estructuras poliméricas. Este problema al parecer no está resuelto y pone de relieve la necesidad de estudiar a nivel fundamental la interacción de una solución electrolítica con un material polimérico. La información básica que se obtiene del mecanismo de la selectividad en la década de los sesenta, es su relación con la presencia de grupos químicos o radicales en las cadenas poliméricas en el material de la membrana. Estos grupos químicos rechazan los iones por acciones electromagnéticas, a la vez que se permite el acceso de las moléculas de agua por propiedades hidrofílicas de la membrana; es decir, el agua es absorbida por el material polimérico y transmitido de un punto a otro por influencia de transiciones en los puentes de hidrógeno; esto ocurre cuando no hay espacios porosos para un flujo volumétrico. De manera que se confirma la importancia de aglutinar centros de rechazo en la superficie de una membrana hidrofílica.

El conocimiento de estos mecanismos de selectividad permitió predecir el comportamiento de las membranas en variadas aplicaciones. También aparecieron nuevas membranas utilizando otro tipo de polímeros que presentan más ventajas en comparación con las de acetato de celulosa. En esta década de los setenta, se logró dar una clasificación útil de las membranas en relación a procesos de separación y el mecanismo de acción a su vez relacionada con su estructura. Después de todo, la ósmosis inversa ha ganado gran popularidad, se recrearon métodos de operación con diversas membranas, y actualmente existe un sinnúmero de aplicaciones industriales.

2.1.2.- DIFERENCIAS ENTRE OSMOSIS INVERSA Y OTROS TIPOS DE MEMBRANAS

La tecnología de membrana se ha convertido en una parte importante de la tecnología de la separación en los últimos decenios. La fuerza principal de la tecnología de membrana es el hecho de que trabaja sin la adición de productos químicos, con un uso relativamente bajo de la energía y conducciones de proceso fáciles y bien dispuestas. La tecnología de la membrana es un término genérico para una serie de procesos de separación diferentes y muy característicos. Estos procesos son del mismo tipo porque en todos ellos se utiliza una membrana. Las membranas se utilizan cada vez más a menudo para la creación de agua tratada procedente de aguas subterráneas, superficiales o residuales. Actualmente las membranas son competitivas para las técnicas convencionales. El proceso de la separación por membrana se basa en la utilización de membranas semipermeables.

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.

El principio es bastante simple; la membrana actúa como un filtro muy específico que dejará pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias. Hay varios métodos para permitir que las sustancias atraviesen una membrana. Ejemplos de estos métodos son la aplicación de alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico.

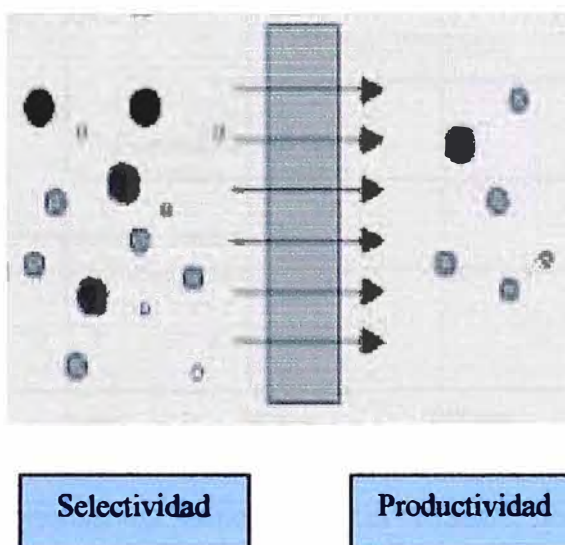
La membrana funciona como una pared de separación selectiva. Ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella.

La filtración de membrana se puede utilizar como una alternativa a la floculación, las técnicas de purificación de sedimentos, la adsorción (filtros de arena y filtros de carbón activado, intercambiadores iónicos), extracción y destilación.

Hay dos factores que determinan la efectividad de un proceso de filtración de membrana: selectividad y productividad. La selectividad se expresa mediante un parámetro llamado factor de retención o de separación (expresado en $l/m^2 h$). La productividad se expresa mediante un parámetro llamado flujo (expresado en $l/m^2 h$). La selectividad y la productividad dependen de la membrana.

FIGURA N° 3. Proceso de Filtración de Membrana.

Alimentación Membrana Permeado

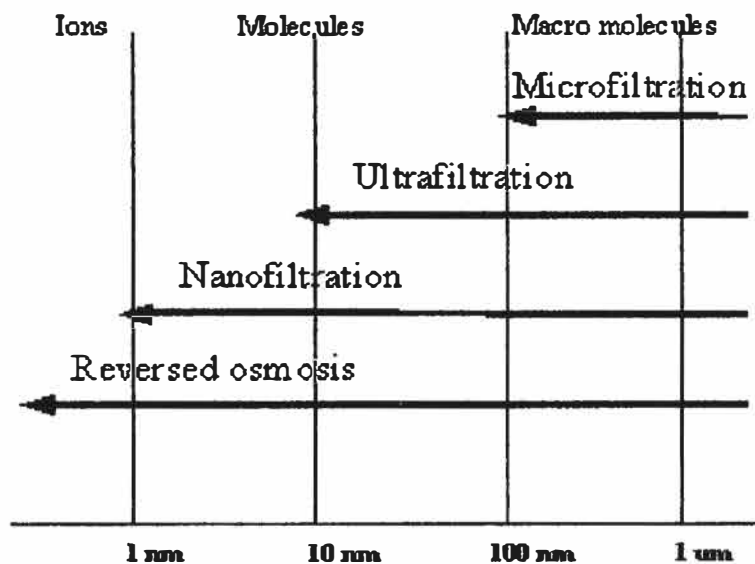


La filtración de membrana se puede dividir en micro y ultra filtración por una parte y en nano filtración y ósmosis inversa (RO o hiperfiltración) por la otra. Cuando la filtración de membrana se utiliza para retirar partículas más grandes, se aplican la microfiltración y la ultrafiltración. Debido al carácter abierto de las membranas su productividad es alta mientras que las diferencias de presión son bajas.

Cuando se necesita desalinizar el agua, se aplican la nanofiltración y la ósmosis inversa. La nanofiltración y las membranas de RO no actúan según el principio de porosidad; la separación ocurre por difusión a través de la membrana. La presión requerida para realizar la nanofiltración y la ósmosis inversa es mucho más alta que la requerida para la micro y ultra filtración, mientras que la productividad es mucho más baja.

El 80% de los sistemas de membranas se dedican a la desalinización de agua de mar. El 20% restante se reparte entre la industria láctea en su mayoría y una gran diversidad de aplicaciones industriales como la industria de alimentos, farmacéutica, química, textil, etc.

FIGURA N° 4. Sistemas de Membrana.



La filtración de membrana tiene bastantes ventajas frente a las técnicas existentes de purificación del agua:

- Es un proceso que puede ocurrir a baja temperatura. Esto es principalmente importante porque permite el tratamiento de los materiales sensible al calor. Es por esto que se aplican ampliamente para la producción de alimentos.
- Es un proceso de bajo coste energético. La mayor parte de la energía requerida es la necesaria para bombear los líquidos a través de la membrana. La cantidad total de energía utilizada es mínima comparada con las técnicas alternativas, tales como evaporación.
- El proceso puede ser fácilmente ampliado.

La siguiente figura nos ayuda a conocer la capacidad de rechazo de las diferentes membranas:

FIGURA N° 5. Espectro de Filtración.

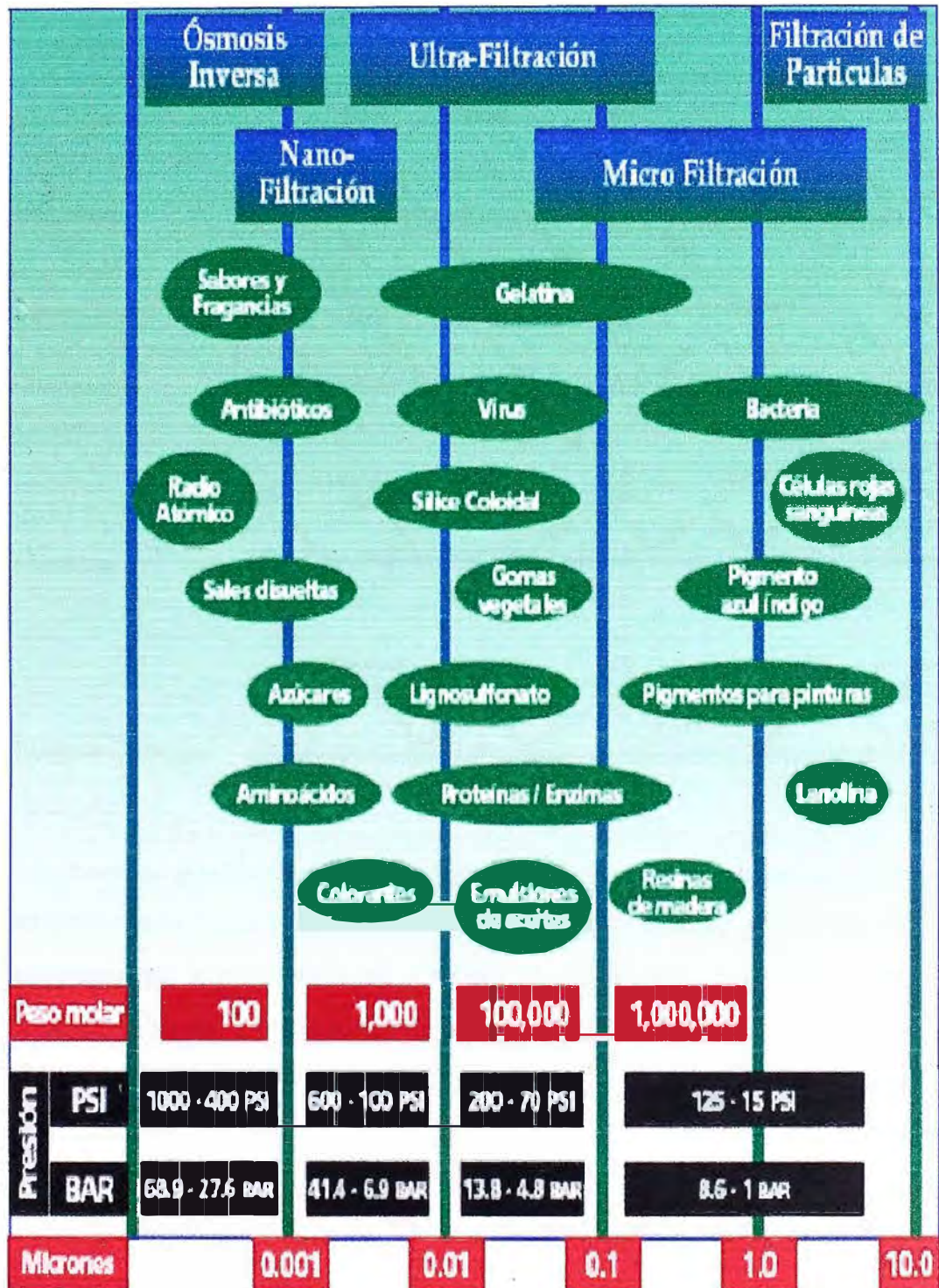
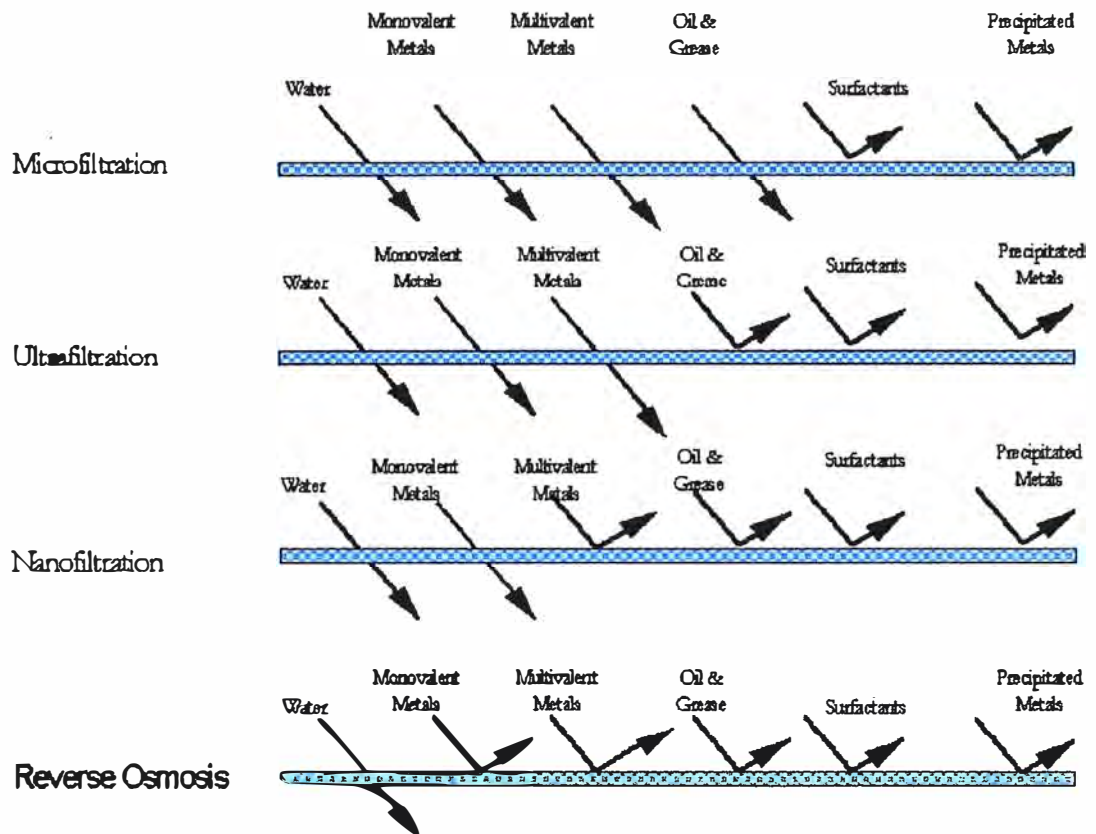


FIGURA N° 6. Filtración por Tipo de Membrana



En general se pueden decir que los procesos de membranas usan una barrera permeable para filtrar componentes seleccionados de mezclas. Los sistemas de procesamiento con membranas pueden disminuir los costos de energía, eliminar emisiones y mejorar la calidad del producto en alguna aplicación.

Al irse entendiendo mejor el uso de separación por membranas, habrá mayores aplicaciones que quieran mayores fluxes. Se define el flux como el volumen de permeado por unidad de área y tiempo.

El flux varía de acuerdo al rango de separación de la membrana, y el modo en que varía es diferente en cada rango.

La relación lineal entre el flux y la presión con la ósmosis inversa se hace más problemática en el rango de Microfiltración. A presiones mayores de 1 bar; el flux decrece.

Para mantener los fluxes cuando se usa una membrana en el rango de Microfiltración es esencial prevenir incrustaciones de los rechazos en la superficie de la membrana o dentro del soporte de la membrana. Esta acumulación de material aumenta la resistencia al flujo de permeado.

Las membranas de filtración original se hacían de acetato de celulosa. Sin embargo el material no soporta niveles de pH que salgan de 2 a 9 y en temperaturas arriba de 35°C. Además las membranas de acetato de celulosa tienen una resistencia química limitada.

Para resolver estas limitantes se han desarrollado cerámicos y membranas poliméricas, incluyendo polisulfonatos fluoruro de polivildieno y poliacrilonitrilos. Comparadas con las de acetato de celulosa, las membranas de polisulfonatos están hechas para desempeño en un rango de pH entre 1 a 14, a una temperatura máxima de 110 °C, con buena resistencia química.

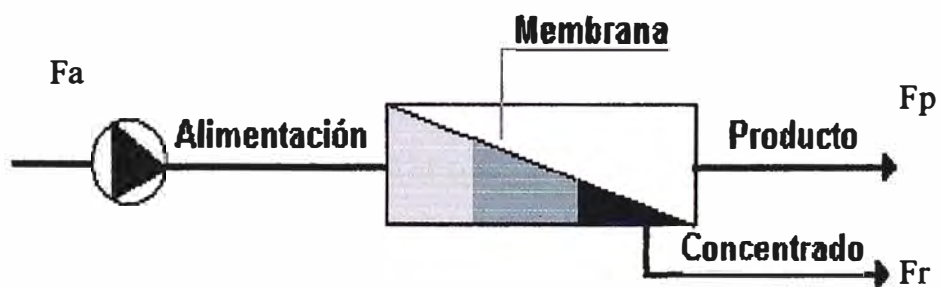
2.2.- ECUACIONES FUNDAMENTALES

Flujo o Caudal de alimentación, que es el que se pretende desalar y se aplica en un lado de la membrana: F_a

Flujo o Caudal de Producto, que corresponde al agua a la que se han eliminado o reducido las sales: F_p

Flujo o Caudal de Concentrado (rechazo), que arrastra las sales que han sido separados por la membrana y que se depositarían sobre ella: F_r

FIGURA N° 7. Flujos en el Proceso de Osmosis Inversa



La relación entre las citadas magnitudes es:

$$F_a = F_p + F_r \dots\dots\dots(1)$$

Del mismo modo tendremos las concentraciones del agua de alimentación, C_a ; producto, C_p y rechazo, C_r ; relacionados entre si mediante:

$$C_a * F_a = C_p * F_p + C_r * F_r \dots\dots\dots(2)$$

2.2.1.- ECUACIÓN DE FLUJO DE AGUA

$$F_a = A * (P_m - \Delta\varnothing_m) \dots\dots\dots(3)$$

Siendo:

F_a = Flujo de agua que atraviesa la membrana en $L / m^2 * h$.

A = Coeficiente de transporte de la membrana en $L / m^2 * h * atm$.

P_m = Presión diferencial a través de la membrana en atm o $Kg./cm^2$.

$\Delta\varnothing_m$ = Presión osmótica diferencial en ambos lados de la membrana, en atm o $Kg./cm^2$.

El coeficiente A es característico de cada membrana y depende de varios factores como son; el espesor de la membrana, dimensión de poros, distribución de los poros en la superficie de la membrana, la temperatura y la composición química de la solución.

De la ecuación (3) se deduce que el flujo o caudal es directamente proporcional a la presión neta aplicada, es decir, a la diferencia de presiones que aparece entre paréntesis en la fórmula, y al coeficiente de transporte; es decir, a una característica propia de la membrana y otra propia de funcionamiento.

2.2.2.- ECUACIÓN DE TRANSPORTE DE SALES

$$F_s = K_s * (C_a - C_p) \dots\dots\dots(4)$$

Siendo:

F_s = Flujo de sales en $g./cm^2 * s$.

K_s = Coeficiente de transporte de sales en cm/s .

C_a = Concentración de sales en el agua de alimentación, $g./cm^3$.

C_p = Concentración de sales en el agua de producto, $g./cm^3$.

El coeficiente de transporte de sales es una característica de cada membrana.

2.2.3.- PASO DE SALES

$$PS (\%) = C_p / C_a * 100\% \dots\dots\dots(5)$$

2.2.4.- RECHAZO DE SALES

$$RS (\%) = 100 - PS \dots\dots\dots(6)$$

$$RS (\%) = (1 - C_p / C_a) * 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Es el parámetro más importante de la membrana y se basa en el proceso de fabricación y en los polímeros que la forman; constituye el “Saber hacer” de cada fabricante.

2.2.5.- RECUPERACIÓN

También conocida como conversión o recobro del sistema; es el porcentaje de producto que se obtiene a partir de un determinado volumen de agua de alimentación.

$$R (\%) = F_p / F_a * 100\% \dots\dots\dots(8)$$

F_p y F_a , medidos en las mismas unidades, m^3/h o $m^3/día$

Este factor es muy distinto según se trata de membranas individuales o de módulos en los que intervienen más membranas colocadas en serie.

2.2.6.- CONCENTRACIÓN DEL PRODUCTO

$$C_p = (1 - RS) (C_a - C_r) / 2 \dots\dots\dots(9)$$

2.2.7.- CONCENTRACIÓN DEL RECHAZO

$$C_r = RS * C_a / (1 - RS) \dots\dots\dots(10)$$

Este parámetro es importante conocerlo en el diseño, para establecer la forma de eliminación de un caudal, que según los casos puede ser importante y/o potencialmente contaminante.

2.2.8.- PROPORCIÓN DE REDUCCIÓN

$$C_a / C_p = 1 / (1 - RS) \dots\dots\dots(11)$$

Este factor es muy indicativo de la calidad de la membrana y sobre todo permite ver claramente las diferencias entre unas y otras.

2.3.- CONFIGURACION DE MEMBRANAS

El módulo de membranas define como están agrupadas las membranas y permite conocer el comportamiento del fluido, es decir la distribución de la alimentación sobre la superficie de la membrana.

En base a esta distribución, los cuatro tipos principales de módulos que se encuentran en el mercado son:

Placa plana (placa y bastidor)

Enrollamiento espiral

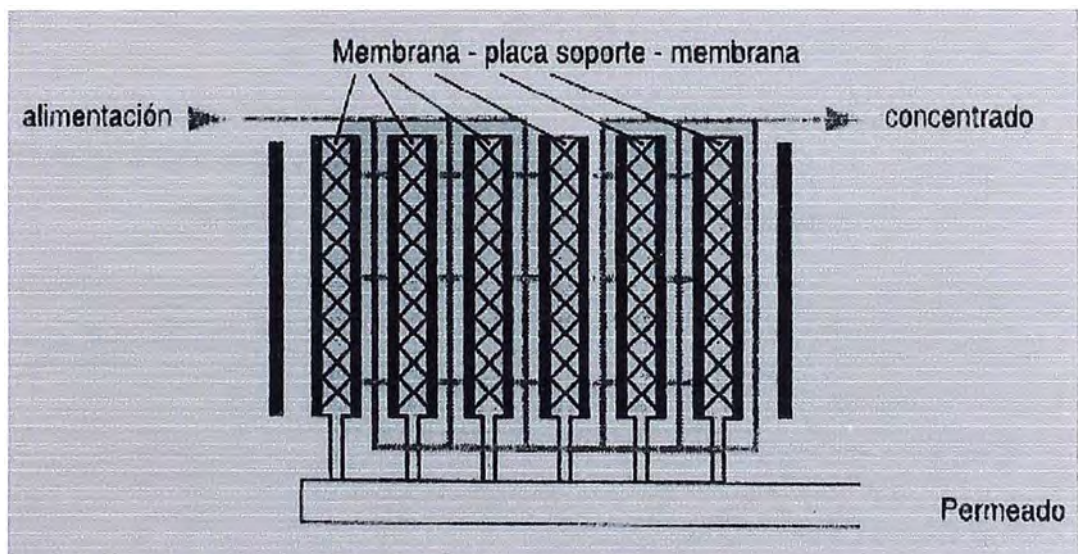
Tubular

Fibra hueca

Dependiendo de la Configuración de membranas adoptadas , también existen diferencias en los rendimientos y operación.

Placa Plana

FIGURA N° 8. Módulo de Placa plana.



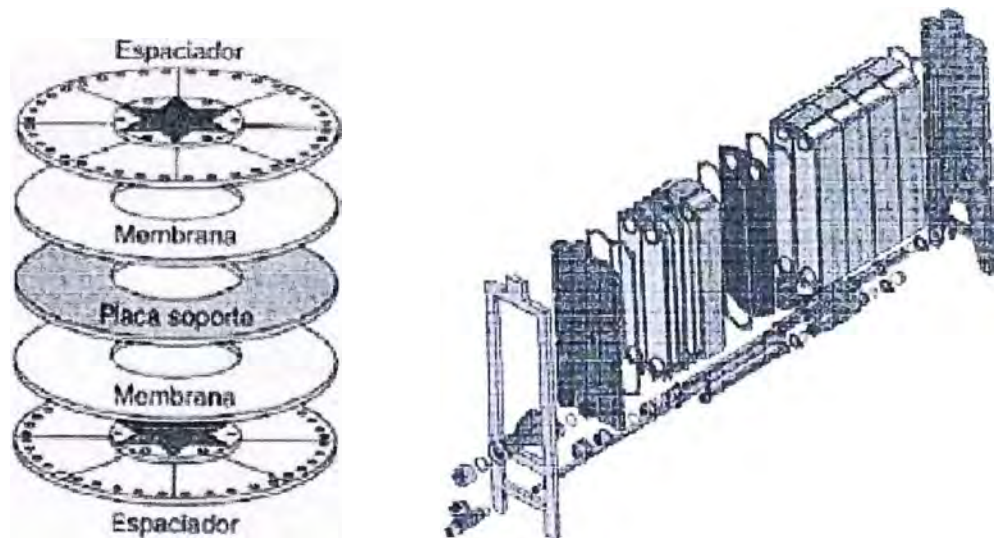
Las membranas planas se usan principalmente de forma experimental para caracterizar la permeabilidad de la membrana. Los módulos son fáciles de fabricar y usar; y las áreas de las membranas están bien definidas

En estos módulos, la alimentación circula entre las membranas de dos placas adyacentes.

El principal inconveniente de este tipo de membrana es que el área de la misma por volumen de separación es muy pequeña.

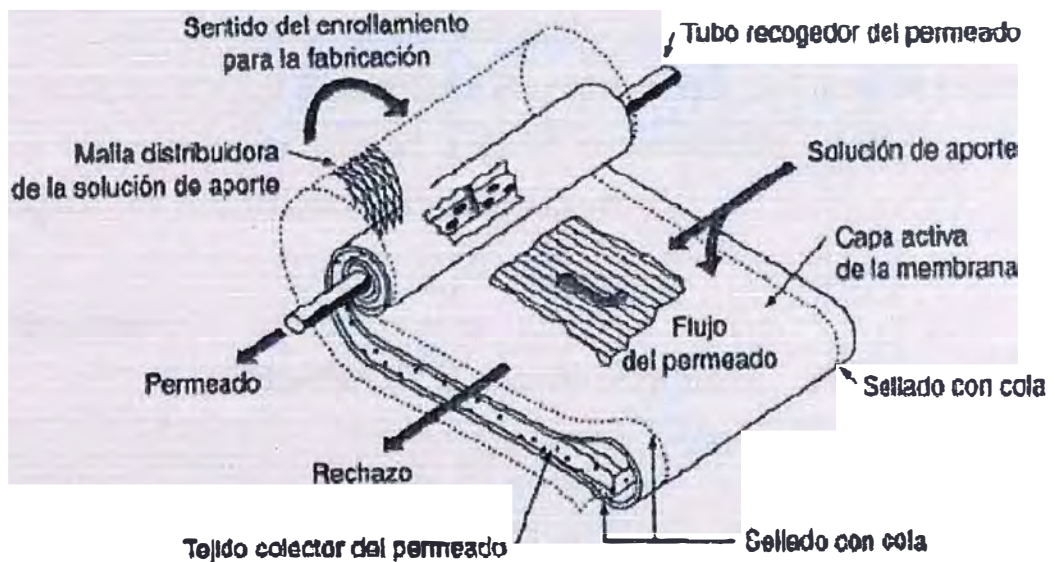
Las membranas se mantienen separadas entre sí por medio de espaciadores cuya anchura es del orden de 2 mm. El módulo se obtiene apilando “paquetes” formados por espaciador – membrana – placa – membrana, tal como se muestra en la FIGURA N° 9.

FIGURA N° 9. Configuración del módulo de Placa plana.



Enrollamiento espiral

FIGURA N° 10. Módulo en Enrollamiento espiral.

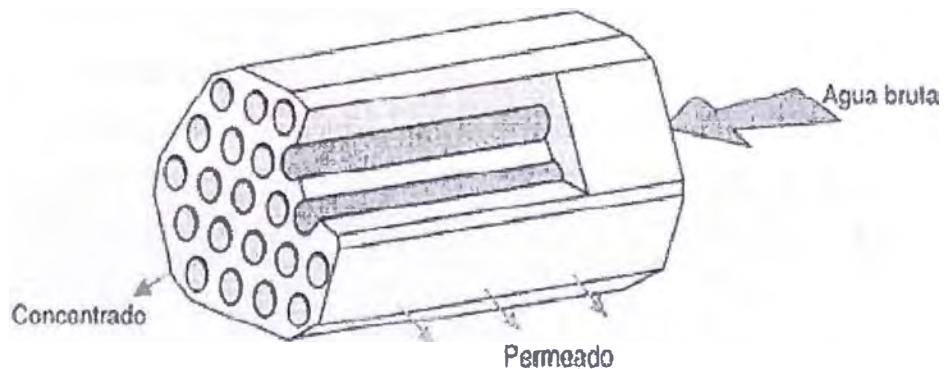


Esta configuración se llama así porque está formada por membranas planas enrolladas en espiral alrededor de un tubo central. Cada “paquete”, tal como muestra la FIGURA N° 10, consta de una lámina rectangular de membrana semipermeable doblada por la mitad de forma que la capa activa quede en su exterior. Entre las dos mitades se coloca un tejido provisto de diminutos

canales para recoger el permeado que atraviese la membrana y conducirlo hacia el tubo central de recogida. Encima de la capa activa de la membrana se coloca una capa provista de canales de distribución para repartir homogéneamente la solución a tratar sobre toda la superficie de la membrana. Hoy en día el 60% de las membranas utilizadas son de este tipo.

Tubular

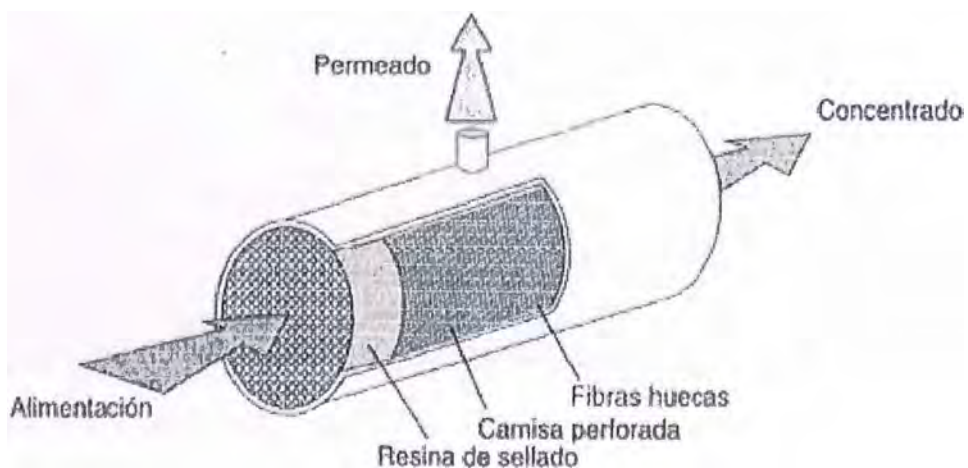
FIGURA N° 11. Módulo Tubular.



En la Figura N° 11 se observa como el nombre de esta configuración se debe a que los módulos se fabrican a partir de membranas tubulares y tubos perforados o porosos que les sirven de soporte.

Fibra hueca

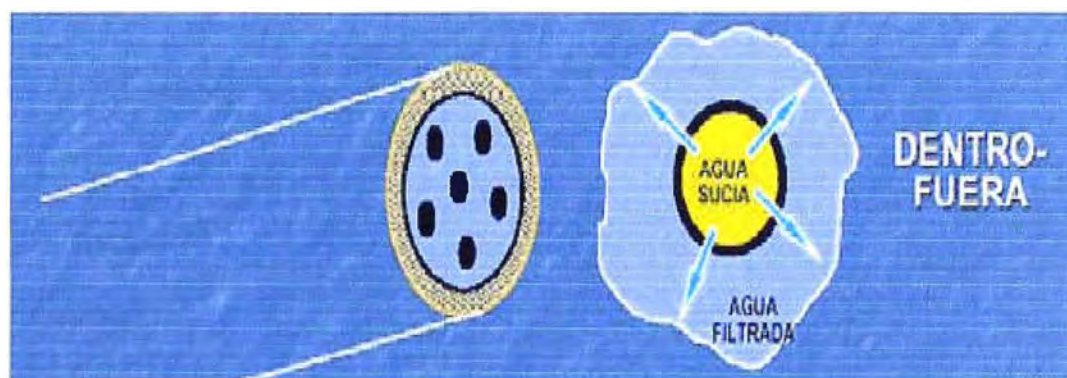
FIGURA N° 12. Módulo Fibra hueca.



Las fibras están reunidas en un haz de varios miles incluso millones. El flujo de alimentación tiene lugar por dentro de las fibras (configuración de dentro – fuera) o bien por fuera de las fibras (configuración exterior – interior). En la configuración dentro – fuera (FIGURA N° 13), la alimentación ingresa al interior de la membrana y el permeado se obtiene al pasar del interior de la membrana al exterior.

En este caso, la hermeticidad del agua entre flujos de alimentación y el permeado viene asegurada por una resina que forma un plato plano en cada final del haz. Después del endurecimiento de esta resina, el haz se corta de tal manera que los extremos de las fibras aparezcan abiertos.

FIGURA N° 13. Configuración de Fibra hueca Dentro-Fuera.



En la configuración exterior – interior o fuera – dentro (FIGURA N° 14), la alimentación viene por fuera de la membrana y el permeado se obtiene al pasar del exterior al interior de la fibra (lumen).

FIGURA N° 14. Configuración de Fibra hueca Fuera Dentro.



Además, en esta última configuración, el haz tubular se dispone a menudo en forma de U y las fibras se sellan sólo por un lado o final.

El diseño de los módulos también determina otras características como la demanda de energía, la capacidad para separar los sólidos en suspensión, la facilidad para limpiarlos y reemplazarlos, la densidad de empaquetamiento, entre otros. En la TABLA N° 1 se resumen estas características para los diferentes tipos de módulos.

TABLA N° 1. Comparación de los diferentes tipos de módulos.

CARACTERÍSTICA	PLACA PLANA	ENROLLAMIENTO ESPIRAL	TÚBULAR	FIBRA HUECA
DENSIDAD COMPACTA	+	++	-	+++
DEMANDA DE ENERGÍA	+++	+	-	++
CAÍDA DE PRESIÓN	-	++	+++	++
VOLUMEN EXTRAÍDO	+	+	-	++
CALIDAD PRETRAT.	+	-	+++	++
ELIMINACIÓN SÓLIDOS EN SUSP.	++	-	+++	+
COSTE DEL MÓDULO	+	+++	-	+++
FACILIDAD LIMPIEZA:				
In situ	+	-	++	-
de barrido	-	-	-	+++
(-) Clara desventaja (+++) Clara ventaja				

Por lo tanto, de la TABLA N° 1 puede deducirse que cada configuración presenta ventajas e inconvenientes. En cada aplicación hay que escoger el módulo que mejor se adapte a las características del agua de alimentación que va a tratarse. Así por ejemplo, los módulos tubulares se comportan muy bien con influentes cargados, pero, por el contrario, como la superficie de membrana disponible por módulo es baja, se precisan muchos módulos y mucho espacio. Esto se traduce en una inversión costosa y un bajo mantenimiento al no ensuciarse. Los módulos de fibra hueca, sin embargo, son muy compactos ya que la superficie de membrana por unidad de volumen que presentan es elevada. Esa gran compacidad, desde el punto de vista de la inversión es ventajosa pero hace que sean más sensibles que otras configuraciones al ensuciamiento.

Por otro lado, la configuración del módulo depende, en muchas ocasiones, del sistema comercial a emplear, por ejemplo, membranas tubulares son utilizadas por Koch en Reino Unido (FIGURA N° 15), membranas de placa plana por Kubota, Japón (FIGURA N° 16 A) y membranas de fibra hueca por Zenon, Canadá (FIGURA N° 16 B).

FIGURA N° 15. Módulo Tubular.

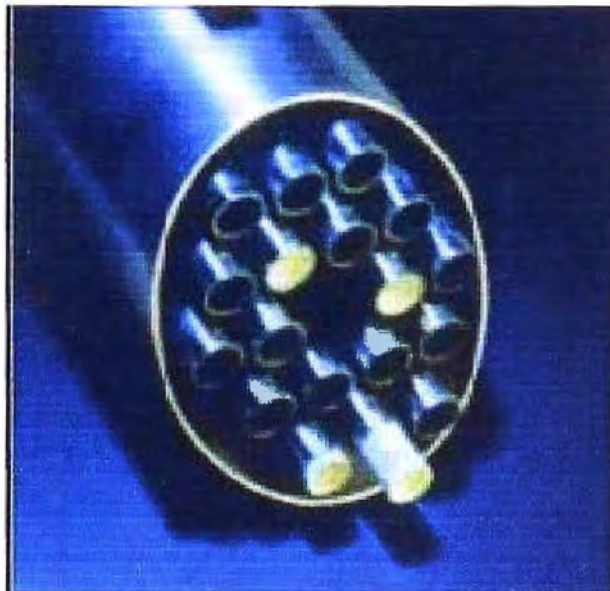
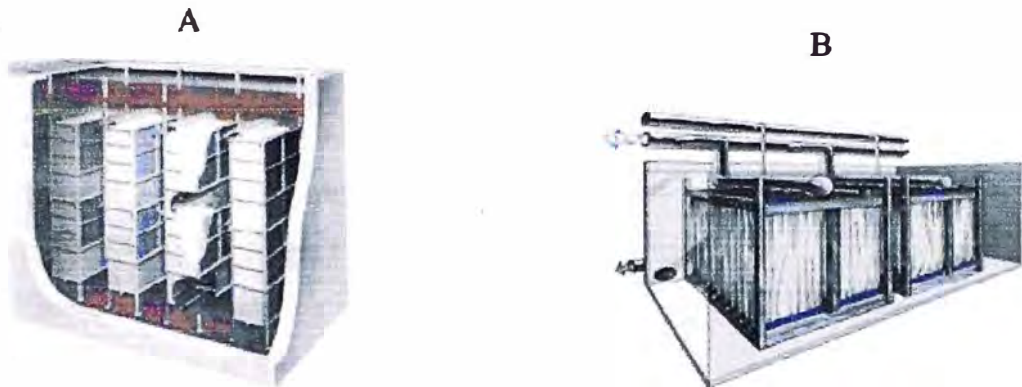


FIGURA N° 16. (A) Placa Plana (Kubota), (B) Fibra Hueca (Zenon).**TABLA N° 2.** Aplicación según tipo de módulos.

Tipo de módulo	Campo típico de aplicación	Superficie específica (m ² /m ³ de agua)
Tubular	Microfiltración (UF, NF con sólidos)	<80
Fibra hueca	Separación de gases, desalinización de agua de mar	<10000
Placa plana	Electrodiálisis, Pervaporación	100-400
Enrollamiento Espiral	Osmosis Inversa, nano-ultrafiltración	<1000

Los módulos se diseñan, por lo tanto, para alcanzar tres objetivos esenciales:

- Asegurar a nivel de membrana una circulación suficiente del fluido que va a ser tratado para limitar los fenómenos de concentración, polarización y depósito de partículas.
- Producir un módulo compacto, por ejemplo, uno que provea máxima superficie de intercambio por unidad de volumen (máxima densidad compacta).
- Evitar cualquier fuga entre los compartimentos de alimentación y permeado.

Los dos primeros tienden a reducir el coste del módulo para producir un volumen determinado de fluido tratado, pero también tienden a aumentar el coste energético de la separación: alta velocidad de circulación y pequeñas secciones de paso producirán una gran pérdida de carga.

El tercer objetivo puede parecer trivial, pero en la práctica la mayoría de los problemas que ocurren provienen de una fuga debida a un ensamblaje defectuoso y no a fallos de las membranas.

2.4.- FACTORES DE FUNCIONAMIENTO

Una membrana viene definida por los valores de sus parámetros, características; sin embargo esos valores los proporciona el fabricante en base a unas pruebas que se realizan en fábrica y que están normalizadas. La normalización se hace para comparar unas membranas con otras se refiere tanto a la salinidad del agua tratada, que suele ser agua reconstruida artificialmente, como la temperatura y presión a las que se realizan las pruebas.

Como en la práctica dichas condiciones varían para cada instalación, conviene conocer cómo esa variación influye en las características de funcionamiento de las membranas.

Los principales factores que intervienen en el funcionamiento de una planta de Osmosis Inversa son los siguientes:

- Presión
- Temperatura
- Calidad del agua cruda
- Conversión

Presión; Tiene una relación directa con el flujo a través de la membrana (producto) y el grado de retención de sales de la misma.

Con el incremento de esta variable aumentan ambos parámetros, hasta los límites permisibles de diseño.

El efecto de la presión en la productividad total de la membrana es el resultado de la suma de productividad instantánea y de la compactación . Normalmente la productividad es siempre mayor operando a alta presión que a baja presión,

pero a lo largo del tiempo el aumento de la presión de operación produce una compactación de la membrana que a su vez reduce el caudal. En ocasiones el descenso del caudal por este concepto puede alcanzar hasta el 25%.

La presión total también influye sobre la conductividad del agua producto, pues al aumentar el flujo a través de la membrana disminuye aquella. El rechazo de sales, por su parte, sigue una trayectoria creciente curvilínea hasta alcanzar un tope en el que se estabiliza.

Temperatura; La temperatura es un punto muy importante en el diseño de una O.I.. Su incremento tiene efecto sobre el caudal y la calidad del producto. Para una configuración y un caudal predeterminados la calidad del agua producto varía directamente con la temperatura. A mayor temperatura mayor contenido salino en el producto.

Normalmente el funcionamiento óptimo se produce a una temperatura de 24-27 °C aunque esta temperatura favorece el desarrollo bacterial cuando se trata de agua contaminada. Si la temperatura del agua se mantiene constante también se mantienen la productividad.

Calidad del Agua Cruda; El agua cruda presenta un contenido de sales variable según su procedencia.

La presión osmótica es función del tipo y concentración de las sales presentes. Una alta concentración requerirá en consecuencia un mayor esfuerzo en la separación, es decir una mayor presión de operación.

Conversión – Producción; Es la relación porcentual del caudal de agua tratada, respecto del caudal alimentado. El aumento de ésta representa un mayor aprovechamiento del agua a costa de una mayor concentración de sales en el rechazo.

Sin embargo hay limitaciones impuestas por las sales presentes en el agua de alimentación y su tendencia a precipitar sobre la superficie de las membranas. Las sales que normalmente presentan estos inconvenientes son:

TABLA N° 3. Limitaciones de sales en el agua.

CaSO ₄ - CaCO ₃	SiO ₂	Hierro (férico), Aluminio, Bario, Estroncio, Manganeso
<p>La precipitación es dependiente del PH del medio y su efecto se controla por acidificación del agua de alimentación en la etapa de pretratamiento y/o un adecuado antiescalante.</p> <p>Existen en la actualidad productos antiescalantes que permiten trabajar con valores de Índice de Langelier en el rechazo hasta 1, 8, sin riesgo de fouling, sin dosificación de ácido y sin ablandamiento previo.</p>	<p>Puede ser coloidal y/o reactiva.</p> <p>La primera no presenta problemas para las membranas en espiral, respetando los flujos turbulentos de diseño es barrida en el rechazo.</p> <p>La sílice reactiva, en cambio, permanece disuelta hasta alcanzar su punto de saturación, a partir del cual puede comenzar su precipitación.</p> <p>La dosificación continua de un antiescalante específico en el agua cruda, en la etapa de pretratamiento, permite operar con los valores de sobresaturación.</p>	<p>Son elementos importantes a cuantificar en el agua a tratar dado el gran riesgo de fouling y precipitación que estos presentan.</p> <p>El aluminio aparece normalmente en aguas potables superficiales.</p> <p>Algunos de estos no solo precipitan en la membrana sino que colaboran a la formación de otro tipo de fouling, tal como el aluminio y hierro (férico) que actúan como catalizadores de polimerización de la sílice.</p>

El fouling o ensuciamiento de la pared acelera los procesos de corrosión de los materiales y provoca pérdidas en la eficacia operativa de las estructuras.

2.5.- PRINCIPALES MEMBRANAS COMERCIALES Y SUS LIMITACIONES

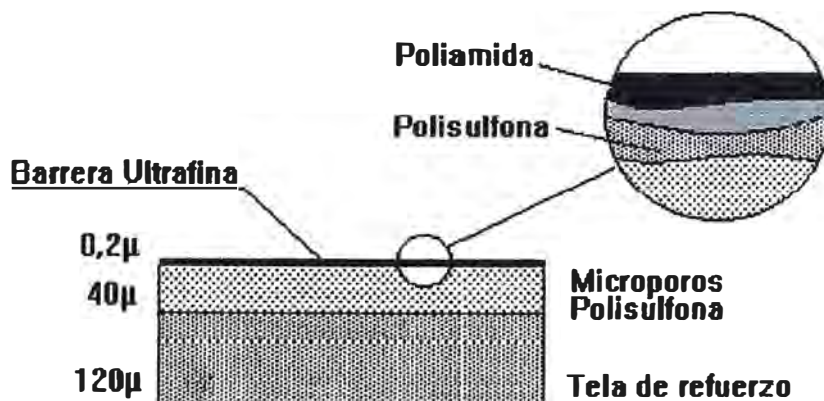
Una parte fundamental de una instalación de O.I. son las membranas.

Una tecnología importante es el material y la fabricación de membranas, habiéndose logrado membranas de permeabilidad controlada, lo cual permite la separación de compuestos de tamaño y peso molecular muy próximos.

Uno de los primeros materiales empleados a escala industrial en la fabricación de membranas sintéticas fue el acetato de celulosa CA, poco utilizado actualmente ya que se han encontrado compuestos mucho más resistentes como son las poliamidas PA, aunque sigue siendo la base para fabricación de un tipo determinado de las mismas.

En el grupo de las membranas de poliamida, la que mayor éxito y difusión tiene es la denominada TFC (Thin Film Composite) ó de "película delgada", la cual se fabrica en forma de sábana mediante la unión química por enlaces cruzados de la poliamida depositada sobre un soporte de polisulfona (Patentado por FILMTEC) , y cuya estructura se representa en la siguiente figura.

FIGURA N° 17. Sección Esquemática de la Membrana TFC (FT-30 FILMTEC).



Es importante resaltar que no todas las membranas denominadas como TFC se fabrican según lo anteriormente descrito, por lo que muchos fabricantes se

limitan a "pegar" la membrana sobre un soporte (siguiente figura), no ofreciendo las mismas garantías.

FIGURA N° 18. Sección Esquemática de la Membrana TFC.

Capa delgada semipermeable
0,25-0,5 μ



Los materiales de fabricación de membranas se resumen en los siguientes:

Diacetato de celulosa.

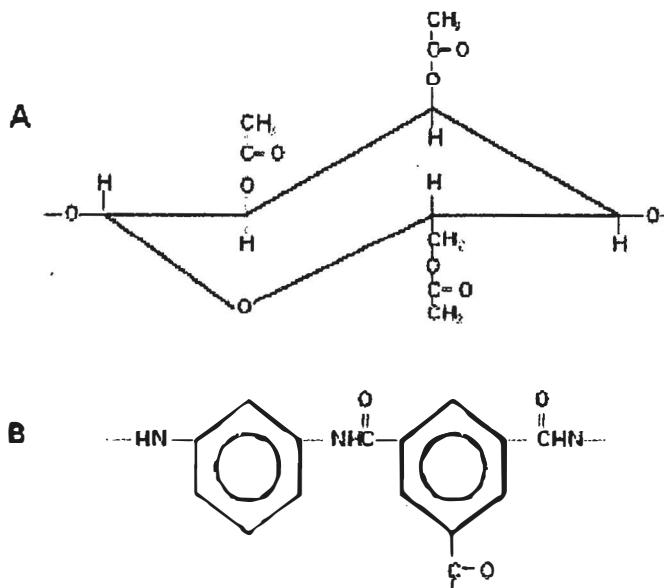
Triacetato de celulosa

Blend (membranas compuestas)

Poliamida

Thin film composite

FIGURA N° 19. Estructura química del (A) Triacetato de celulosa y (B) Poliamida aromática compuesta.



Las membranas de O.I se encuentran en el mercado en diferentes configuraciones según su construcción y se montan en el interior de módulos.

TABLA N° 4. Limitaciones de los materiales de membranas.

LIMITACIONES	MEMBRANAS DE POLIAMIDA	MEMBRANAS DE ACETATO CELULOSA
Actividad biológica	Debe estar controlada durante la operación de manera que la cantidad y calidad del agua producto no sea afectada.	Debe estar controlada durante la operación de manera que la cantidad y calidad del agua producto no sea afectada.
Cloro / bromo	El contenido total debe ser inferior a 0,1mg/l.	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.
Químicos	El agua de alimentación debe estar libre de oxidantes fuertes como H_2O_2 , O_2 , $KMnO_2$, Na_2SO_4 , CH_3CO_3H .	El agua de alimentación debe estar libre de oxidantes fuertes como H_2O_2 , O_3 , $KMnO_4$, $NaSO_5$, CH_3CO_3H .
PH	En operación continua debe ser mayor a 2 y menor a 10 a 45°C (11 a 40°C).	En operación continua debe ser mayor a 4 y menor a 7.

III.- DESARROLLO DEL TEMA

3.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA PLANTA DE LA INDUSTRIA TEXTIL

Empresa textil dedicada a la producción de tejido de punto e hilados.

Su producción diaria es de aproximadamente 30 Toneladas diarias entre Teñido de hilo, Tela Cruda, Tela teñida y Tela Acabada.

La calidad de los productos se basa en la buena materia prima y en la alta tecnología de las maquinarias, las cuales son renovadas continuamente.

Proceso General

Prestación de Servicios de Teñido de Hilo, Tejido, Teñido y Acabado de Telas.

Materias Primas Principales

Fibras naturales, sintéticas o combinación de ellas.

Aditivos

Gran variedad de productos químicos (ácidos, álcalis, sales y oxidantes), detergentes, blanqueadores y colorantes.

3.2.- PRODUCTOS Y SERVICIOS

3.2.1.- TEJEDURIA

La empresa cuenta con la más sofisticada gama de máquinas circulares, con una permanente política de modernización y renovación de su parque de maquinarias realizando inversiones en equipamiento en forma continua, y eligiendo para ello circulares de máxima calidad provenientes principalmente de Alemania.

El equipamiento que posee, consta de máquinas circulares de una y dos fronturas en galgas que van de 16 a 28 lo que permite hacer la más variada gama de tejidos.

También cuenta con máquinas de minijacquard de doble frontura lo cuál permiten cubrir una gama muy amplia de tejidos requeridos por los clientes.

Además cuenta con un equipo de Control de Calidad para realizar pruebas verificando: Densidad, Longitud de malla, Irregularidad de hilo en la tela, etc.

FIGURA N° 20. Planta de Tejeduría.

Los productos que brinda la empresa son los tradicionales como: jersey, pique, interlock, rib, franela, french ferry, vanizados; además de felpas simples o acanaladas, plush, polar, carnero, etc. La empresa se dirige a satisfacer las necesidades de mayoristas o industrializadores de tejidos de punto como así también a aquellos confeccionistas interesados en optimizar sus costos.

3.2.2.- TINTORERIA

La empresa cuenta con varios equipos de tintura a alta temperatura y a presión atmosférica, lo cual permite teñir varias fibras y mezclas, realizando diversos procesos según exigencias de los clientes.

La empresa ha estado atenta a los últimos desarrollos tecnológicos, esto ha permitido un alto grado de reproducciones de los tonos, un nivel mínimo de reprocesos y un tratamiento confiable de las telas de los clientes, garantizando una óptima calidad.

FIGURA N° 21. Planta de Tintorería.

3.2.3.- ACABADOS

La empresa cuenta en su línea tubular con un tren de acabados que consta de una hidroextractora Albretch con doble foulard para la aplicación de suavizado por impregnación, con lo cual se logran excelentes resultados de tacto y suavidad. Luego del proceso de suavizado, se encuentra la secadora Albretch que consta de dos campos de secado los cuales transportan la tela por medio de esteras que permiten una relajación adecuada del tejido; para el proceso final de acabado se cuenta con dos compactadoras con doble sistema de felpa, logrando grados de encogimiento óptimos y dentro de los parámetros de calidad permitidos por el mercado nacional y de exportación. En las tres máquinas del tren de acabados pueden procesarse más de 250 Toneladas/mes.

FIGURA N° 22. Planta de Acabados.



En su línea abierta, la empresa cuenta con diferentes ramas tensoras.

Los procesos de teñido y acabado de textiles son usualmente procesos discontinuos, con elevados consumos de agua y energía.

Para los procesos húmedos usualmente se utilizan barcas atmosféricas, máquinas Jet y Gigger, y para los acabados en seco se usan batanadoras, cardadoras, planchadoras, etc.

3.3.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROCESO DE TEÑIDO Y ACABADO

3.3.1.- PRINCIPALES ETAPAS DEL PROCESO

Las principales etapas del proceso de teñido de textiles se pueden resumir como sigue:

- **Lavado o descruce**

Su finalidad es eliminar las grasas, aceites, colorantes naturales y suciedad que pueda contener la tela. Este proceso se realiza a presión atmosférica y utiliza detergentes, antiquiebres, humectantes y agentes alcalinos.

En esta etapa se prepara a los materiales para optimizar los procesos posteriores de tintorería o acabado acentuando los efectos específicos del ennoblecimiento.

- **Blanqueo**

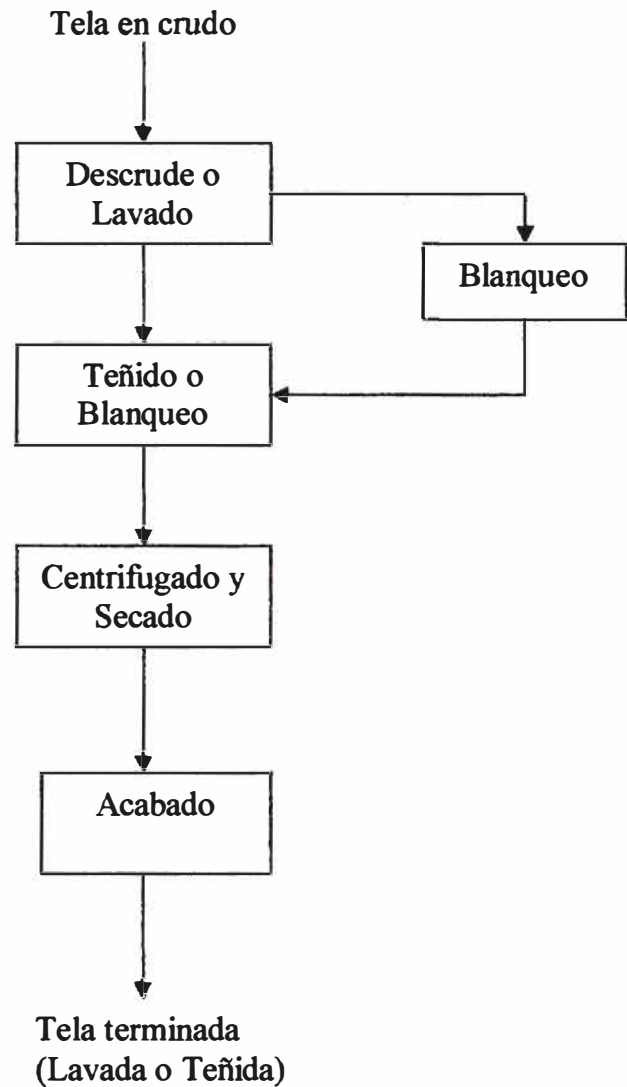
Se realiza cuando se requiere alto grado de blanco, ya sea para posterior teñido con colores claros o para blanqueo óptico. Dependiendo del grado de blanco que se requiera el blanqueo puede realizarse con cloro o bien con agua oxigenada. Agentes oxidantes como el hipoclorito o los peróxidos, decoloran y eliminan la mayoría de agentes colorantes sintéticos y naturales. En general, estos colorantes son moléculas orgánicas con dobles y simples enlaces alternos. El agente oxidante reacciona con los dobles enlace transformándolos en simples. Esta pérdida de conjugación provoca que la molécula deje de absorber en la región de UV-Vis y por lo tanto deje de ser coloreada.

- **Teñido**

Dependiendo del tipo de tela y la demanda del cliente el teñido puede ser directo o reactivo para el algodón y disperso para el poliéster. La aplicación de material colorante se realiza en baños con temperatura y presión de tal manera que el colorante sea afín al textil en presencia o no de agentes químicos auxiliares que ayudan a una mejor calidad de teñido.

- **Acabado**

La etapa de acabado abarca una gran variedad de terminación de textiles, y tiene por objeto darle al producto ciertas cualidades deseadas. Existen los acabados húmedos, en seco o tratamientos conjuntos. En el acabado húmedo se efectúa la adición de productos químicos que le dan a la tela cualidades de resistencia (resinas sintéticas), impermeabilidad (siliconas), etc. Por otra parte en los tratamientos en seco la tela puede ser gastada mecánicamente, cardada, planchada, etc.

FIGURA N° 23. Diagrama General del Proceso de Teñido Textil.

3.3.2.- MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

La industria textil utiliza una gran variedad de fibras y combinaciones de fibras como materia prima:

Fibras naturales: algodón, lana, seda, etc.

Fibras artificiales: poliamidas, poliacrílicas, poliéster, viscosa, acetato, etc.

Estos materiales son preparados con la ayuda de numerosos productos químicos. Los productos químicos pueden ser divididos en los siguientes subgrupos:

- Productos químicos básicos: álcalis (ejem.: para lavado), sales, hipoclorito, peróxido, agentes oxido-reductores y solventes orgánicos.
- Surfactantes: (ejem.: para lavado y otras cosas) agentes tensoactivos catiónicos, aniónicos y no iónicos.
- Colorantes y blanqueadores ópticos: que incluyen colorantes reactivos, pigmentos, sulfurosos, directos, dispersos, ácidos, azoicos y tina, así como colorantes básicos.
- Agentes de tinte: carrier (carrier de pigmentos, incluyendo compuestos aromáticos clorados), agentes complejantes, agentes de pretratamiento de tinte (incluyendo productos de condensación de ácidos aromáticos sulfónicos), agentes equalizantes y retardantes (surfactantes para detener el efecto de los colorantes).
- Agentes de pretratamiento: suavizantes, apresto, repelente de agua, aceite y suciedad (fluorocarbonos, siliconas y parafinas), agentes antiarrugas y antiencogido (polímeros entrelazados con resinas), agentes laminadores (poliuretano, poliéster e isocianatos).

3.3.3.- AGENTES SECUESTRANTES

Muchos problemas de la industria textil son producidos por los cationes polivalentes, como los metales alcalinos terrosos (Ca^{2+} y Mg^{2+}) y los metales de transición (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) debido a que actúan disminuyendo la solubilidad de los productos aniónicos, destruyendo los sistemas dispersos y coloidales, accionando catalíticamente en reacciones redox, formando complejos con colorantes y precipitando sales de escasa o nula solubilidad.

Las sales cálcicas y magnésicas pueden ya encontrarse en el **agua** de proceso si no es bien controlada la dureza o ser introducidas con los productos químicos como sales y álcalis, o la misma materia (fibra).

TABLA N° 5. Impurezas de Algodón y Mezclas.

PUREZA ALGODÓN	Aceite	Ca²⁺	Mg²⁺	Fe²⁺
ORIGEN	mineral/grasa/cera			
Pakistan	0.65	710	610	18
Morocco	0.92	790	710	18
Sudáfrica	1.53	560	620	25

Los compuestos capaces de ligar iones metálicos de tal manera que ellos no exhiban sus reacciones normales en presencia de agentes precipitantes se conocen como agentes secuestradores o secuestrantes.

El secuestrante es formulado para solubilizar iones metálicos impidiendo su precipitación y la formación de manchas. El producto determina un complejo que permanece en solución a pesar de la presencia de una agente precipitante. Fija metales pesados (hierro, cobre, manganeso), preferente con óxido de calcio y magnesio.

Al hacer el control de dureza del agua de proceso; si el valor detectable está por encima de 2 °A indica las necesidades de un agente Secuestrante.

Se emplean los secuestrantes para desendurecer o corregir la dureza del agua y evitar la formación de jabones calcáreos u otras precipitaciones insolubles de cal. Disuelve los precipitados de los agentes endurecedores y de los compuestos metálicos. Se emplea en la tintura con colorantes sensibles a la dureza del agua o a las sales metálicas. Son fácilmente biodegradables. En el lavado posterior de los estampados impide que se produzcan precipitaciones sobre el género a causa de los agentes endurecedores, proporcionando, por consiguiente, mayor viveza, mejores solideces y buen tacto en la tela.

Se evalúa la eficiencia de un secuestrante con diferentes medidas físico-químicas que son afectadas por: fuerza iónica, pH, agente de precipitación y método de medición constante de estabilidad (medida de estabilidad termodinámica; indica la relación entre la cantidad de metal secuestrado frente a la cantidad de metal libre). Poder Secuestrante (Cantidad de mg de metal solubilizado por 1 g. de producto).

Ejemplo:

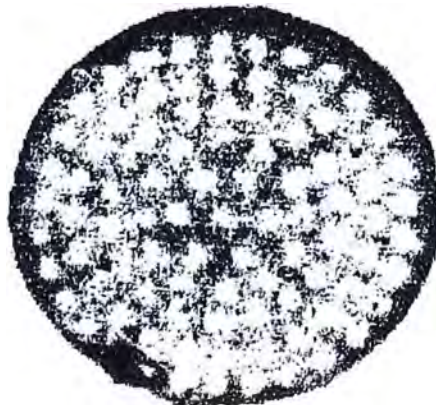
1g. de Secuestrante secuestra aprox.:

pH	mg. Fe^{3+}	mg. Mg, CaCO_3
10	187	225
12	350	200

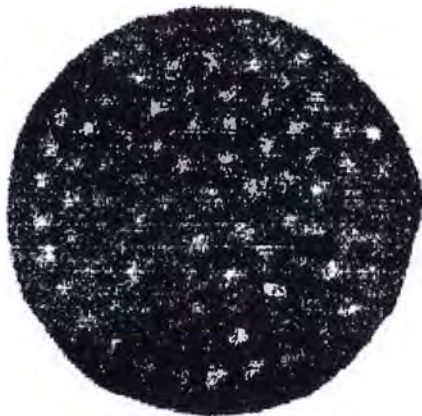
El precio de Secuestrante en el mercado local es en promedio US\$ 3.0 / kg.

En la Figura N° 24 se muestra los efectos (manchas de precipitado de Carbonato Cálcico y/o magnésico) sobre la tela si la dureza del agua no es controlada (no es la recomendada); en ese caso es necesario el uso de un Secuestrante en el baño de tintura.

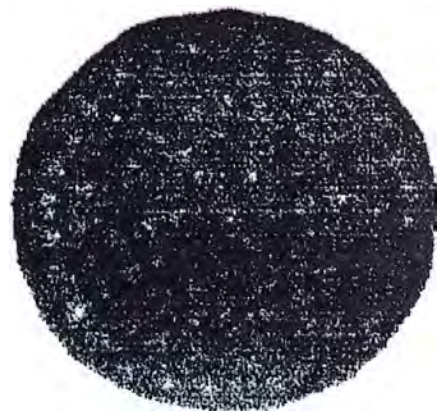
FIGURA N° 24. Pruebas de Laboratorio.



SIN SECUESTRANTE.



Usando un Secuestrante al 0.4 g/l



Usando un Secuestrante al 0.8 g/l



Usando un Secuestrante al 1.0 g/l

3.3.4.- LA ALCALINIDAD (M) Y EL CONTROLADOR DE BICARBONATOS

La alcalinidad de una solución es una medida de su capacidad para neutralizar soluciones ácidas.

En el agua la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, OH^- y con menos frecuencia a boratos, silicatos y fosfatos H_2PO_4^- , $\text{HPO}_4^{=}$.

En el agua natural, los bicarbonatos (HCO_3^-) representan la alcalinidad. Esta característica se debe a que el CO_2 disuelto reacciona con los materiales básicos del suelo.

La medición de la alcalinidad, sirve para fijar los parámetros del tratamiento químico del agua, así como ayudarnos al control de la corrosión y la incrustación en los sistemas que utilizan agua como materia prima o en su proceso.

Determinación de la alcalinidad

Como se tienen alcalinidad OH^- , alcalinidad $\text{CO}_3^{=}$ y alcalinidad HCO_3^- , se realizan 2 titulaciones con 0.02 N de H_2SO_4 , utilizando sucesivamente Fenolftaleina ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) dando color rosado solamente en presencia de OH^- y $\text{CO}_3^{=}$. El viraje de color rosado a incolor ocurre a un $\text{pH}=8.3$; luego se utilizará el anaranjado de metilo ($((\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{N}=\text{NC}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na})$) da un color amarillo en presencia de cualquiera de los tres tipos de alcalinidad, anaranjado en el

punto de equilibrio y rojo en presencia de ácido. El viraje se produce a un pH cercano a 4.5.

En una muestra pueden estar presentes OH^- y $\text{CO}_3^{=}$, y HCO_3^- con $\text{CO}_3^{=}$; pero OH^- y HCO_3^- no pueden estar juntos.

Si hay alcalinidad usando fenolftaleína (F), se debe a la presencia de OH^- , $\text{CO}_3^{=}$ o ambos.

Si se tiene alcalinidad usando anaranjado de metilo (M), se debe a las tres alcalinidades OH^- , $\text{CO}_3^{=}$ o HCO_3^- , OH^- y $\text{CO}_3^{=}$, $\text{CO}_3^{=}$, y HCO_3^- .

El método para determinar la alcalinidad es mediante la observación de Curvas de Titulación de los iones OH^- , $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^- . Clasificando la alcalinidad en dos formas:

Alcalinidad Total M o T

Alcalinidad Parcial F o P

A partir de la alcalinidad M y la alcalinidad F se pueden estimar las concentraciones de los iones $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , OH^- .

TABLA N° 6. Relaciones de Alcalinidad.

CASO	RELACIÓN	CONDICIÓN	VALORES DE ALCALINIDAD			
			OH^-	$\text{CO}_3^{=}$	HCO_3^-	TOTAL
1	$F = M$	OH^-	$F = M$	0	0	M
2	$F > M/2$	OH^- y $\text{CO}_3^{=}$	$2F - M$	$2(M - F)$	0	M
3	$F = M/2$	$\text{CO}_3^{=}$	0	$2F = M$	0	M
4	$F < M/2$	$\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^-	0	$2F$	$M - 2F$	M
5	$F = 0$	HCO_3^-	0	0	M	M

La mayoría de tintorerías utilizan un sistema de “intercambio iónico” para remover los metales potencialmente peligrosos tales como el Calcio y Magnesio del agua de proceso. Una columna de Intercambio Iónico es normalmente empleada en la cuál los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} son intercambiados por los cationes Sodio. Pero en el sistema quedan los aniones libres en el agua por lo tanto hay niveles peligrosos de Bicarbonatos aún después que el agua ha pasado por la columna de intercambio.

Esto puede traer problemas cuando se tiñe con colorantes reactivos y dispersos. Los mismos pueden ser enumerados tales como:

- Perdida de rendimiento de color.
- Falta de igualación debido a una fijación prematura.
- Una menor solidez.
- Menor reproducibilidad de tonos.

Un remedio tradicional es la adición de ácido acético al comienzo de la tintura; pero ello no es una solución completa por dos razones:

- El ácido acético es volátil, lo que no garantiza que permanecerá en el baño durante la crítica subida de temperatura.
- El nivel de Bicarbonato puede variar a lo largo del día. Si no sabemos cuanto Bicarbonato existe en un momento determinado, ¿cómo sabremos cuanto ácido debemos añadir?

La cantidad de Bicarbonato en cualquier planta industrial con ablandador de agua puede variar:

- Según la dureza del agua entrante, que a su vez varía estacionalmente según el clima.
- De un turno de trabajo a otro en cualquier día.
- De un día para el otro.
- De manera impredecible.

Se presenta la Tabla como ejemplo.

TABLA N° 7. Variación del Bicarbonato en el Agua de Tintorería.

Día	1er. Turno	2do. Turno	3er. turno
Día 1	185	205	345
Día 2	255	200	170
Día 3	190	390	405
Día 4	425	370	390
Día 5	300	290	525
Día 6	390	500	420

Niveles de Bicarbonato en ppm

En este ejemplo los niveles de Bicarbonato fueron monitoreados durante diferentes turnos de trabajo a lo largo de una semana. La concentración de Bicarbonato fue determinada mediante titulación de alta precisión El agua fue ablandada mediante Intercambio Iónico.

Debido a la preocupación por la amenaza del Bicarbonato muchas tintorerías eliminan la incertidumbre de la acidificación e introducen un control más seguro con el uso de un Controlador de Bicarbonato.

El precio de un auxiliar Controlador en el mercado local es en promedio US\$ 5.0 / kg.

3.4.- FUENTES DE AGUA Y SISTEMA DE TRATAMIENTO

3.4.1.- CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA (Agua fuente)

Dureza Total	3125 mg/l CaCO ₃
Alcalinidad-M	170 mg/l CaCO ₃
Hierro	0.01 ppm
Manganeso	0.009
Turbiedad	1.8 NTU
SDI	<3
pH	7.25
Temperatura	25 °C
Cloro Libre	0 ppm
Conductividad	5790 uS/cm
TDS	3980 ppm

Fuente: Envirolab – Perú.

Fecha de análisis: 04/01/06.

Fuentes de Agua:

El Origen del Agua fuente es una mezcla de dos tipos de Agua

Agua Superficial (Sedapal)

Agua Subsuelo (Pozos)

3.4.2.- CALIDAD DE AGUA, USOS Y NECESIDADES

Como punto de enlace entre todos los tratamientos textiles, el agua permite el procesamiento de la fibra. De donde vino el agua antes de llegar a la máquina

de tintura? El suministro de agua de una tintorería puede tener diferentes orígenes que son esencialmente de dos naturalezas, dependiendo si es:

- Agua Superficial
- Agua de Sub-suelo o pozos

Aguas Superficiales:

La lluvia al caer es recogida por los ríos que a su vez durante su curso van a recoger otras impurezas. De tal manera que las pequeñas cantidades de impurezas presentes en el agua de lluvia se agregan materias orgánicas en estado de descomposición, algo de minerales, que el agua disuelve en un contacto con la tierra. Cuando llega a lugares donde debe entrar en reposo tales como lagos, deposita la materia que ha estado suspendida pero no así la disuelta. Estas contienen sales de magnesio y calcio además de otras sales de metales que han estado en contacto (Dureza).

Aguas de Subsuelo:

Esta última clase, posee todas las impurezas de las anteriores más algunos contenidos de sales disueltas que han sido recolectadas durante el viaje que el agua ha hecho hasta la cavidad donde ha sido recolectada. Los contenidos de bicarbonatos de calcio son más elevados en esta clase de aguas. De esto se desprende que las impurezas que se encuentran suspendidas en el agua pueden ser filtradas y las que se encuentren en solución requieren ser modificadas por métodos químicos.

Los tratamientos que deben efectuarse antes que el agua esté apropiada para la tintura dependen de los siguientes parámetros:

- **Turbidez**
Eliminación de las sustancias no disueltas en suspensión, material coloidal, plancton, etc.
- **Metales**
Eliminación de hierro y manganeso los cuales están siempre presentes pero en cantidades pequeñas
- **Sustancias reductivas**

Estos son generalmente ácidos orgánicos tales como ácidos fúlvicos o húmicos y pesticidas.

- **Grado de dureza**

El grado de dureza del agua expresa el Ca y Mg presentes, metales conocidos por tener un efecto negativo en la solubilidad del colorante.

- **Contenido alcalimétrico**

El contenido alcalimétrico del agua es aquel libre de álcalis, carbonatos y bicarbonatos.

El Agua; se trata del vehículo más importante en el proceso textil ya que permite la transferencia de los colorantes, de los auxiliares y de los productos químicos desde el baño hacia el soporte textil.

Su “poder solubilizante” rompe los amarres entre átomos y entre moléculas de los productos disueltos. Se producen nuevos amarres con la molécula de agua llegando así a disolver, emulsionar, dispersar o formar soluciones coloidales.

Los usos del agua en la planta

Son esencialmente: Alimentación de Agua para calderas y generadoras de vapor, Proceso de Producción de Teñido y Acabado.

El consumo de Agua es en promedio de 1500 m³/día.

Para una cantidad dada de colorante, en una máquina de tintura en particular y con un grupo establecido de auxiliares textiles; es necesario controlar el baño de teñido en dos aspectos en especial:

- Dureza / contaminación con metales.
- Bicarbonato.

Consecuencias de una “contaminación no controlada del baño”

- Fijación prematura de colorante antes de la migración (con la posibilidad de obtener tinturas desiguales)
- Hidrólisis prematura del colorante antes de la fijación (que puede resultar en mala solidez, pérdida de colorante y una mala economía en la receta).
- Baja reproducibilidad de tonos (menor productividad)

Dureza en el baño: El límite de Seguridad

La dureza del baño debe ser menor a:

1.4 grados de dureza alemana = 25 ppm como CaCO_3

Internacionalmente, se acepta que el límite máximo de dureza tolerada en una tintura exitosa con cualquier tipo de colorantes es de 25 ppm.

Este puede considerarse como el “límite de seguridad”.

Especificación del Aguas en la Tintorería:

	Máximo Recomendado
	Nivel/Tolerancia
Dureza Total	25ppm \approx 1.4°A (grados alemanes)
pH	7.0 \pm 0.5
Cobre	0.05 mg/l
Hierro	0.02 mg/l
Cloruros	300 mg/l

Agua del Teñido

El uso de agua de excesiva dureza puede traer problemas originados por la baja solubilidad, baja producción de color, desteñido por lavado/jabonado deficiente, tratamiento débil, ligera pérdida de solidez y cambio de color. Para el caso de colorantes de tipo reactivos que tienen buena solubilidad; pocos de ellos muestran seria sensibilidad para endurecer el agua. Pero, debido a que la etapa de fijación requiere álcali, la precipitación de los componentes de dureza es inevitable. Esto constituye un serio problema por lo anteriormente mencionado.

Es así que el agua blanda deberá usarse en casi todas las operaciones de disolución y baño de tintura; sin embargo algunos tintoreros recomiendan el uso de pequeñas cantidades de agua dura sólo para el enjuague en los teñidos directos a temperaturas de 80° C, para evitar la caída del colorante.

En el proceso de teñido, pequeñas cantidades de calcio y magnesio pueden afectar las propiedades de migración y difusión de los colorantes, provocar contención o incluso precipitación que ocasionarían un menor rendimiento, desigualdad, reproducibilidad deficiente y solidez reducida.

El rastro de los metales pesados, cobre y hierro puede influenciar en el matiz de ciertos colorantes.

La presencia de Bicarbonatos en el agua de teñido puede causar: mala igualación, pérdida de colorante y baja reproductibilidad de tonos. El modelo de una tintura ideal sería con agua cero Bicarbonatos, ello es difícil de lograr, si de por sí un nivel es difícil de controlar por diversos factores anteriormente indicados; sin embargo se requiere la mínima cantidad de Bicarbonato en el agua ablandada.

3.4.3.- SISTEMA CONVENCIONAL DE ABLANDAMIENTO POR INTERCAMBIADORES IONICOS

El proceso que se ha estado utilizando en la empresa hasta mediados de Junio del 2006 es el Intercambio de Iones.

En el contexto de purificación, intercambio de ión es un proceso rápido y reversible en el cual los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes en el agua son reemplazados por iones que despiden una resina de intercambio de iones. Estos iones (Ca^{2+} y Mg^{2+}) son tomados por la resina que debe ser regenerada periódicamente para restaurarla a su forma iónica original. (Un ión es un átomo o grupo de átomos con una carga eléctrica. Los iones con carga positiva se llaman cationes y son generalmente metales, los iones con carga negativa se llaman aniones y son generalmente no metales).

TABLA N° 8. Iones generalmente encontrados en el agua cruda.

Cationes	Aniones
Calcio (Ca^{2+})	Cloruro (Cl^-)
Magnesio (Mg^{2+})	Fluoruro (F^-)
Sodio (Na^+)	Nitrato (NO_3^-)
Potasio (K^+)	Carbonato (CO_3^{2-})
Hierro (Fe^{2+})	Fosfato (PO_4^{2-})

Resina de Intercambio de Iones

Las resinas catiónicas ciclo Sodio para Ablandamiento se utilizan en la eliminación de la dureza de aguas industriales por su capacidad de intercambiar los iones calcio y magnesio presentes en el agua por iones sodio proveniente de la solución regenerante. Estas resinas se regeneran con NaCl al

10%, adsorben el calcio y magnesio (reduce la dureza total a límites bajos) y su reposición es gradual.

La resina tiene mayor afinidad o poder de adsorción por lo iones trivalentes, divalentes y en último lugar los iones monovalentes.

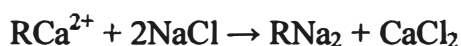
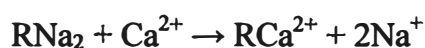
En la suavización del Agua industrial se utiliza la Amberlita IR-120 Plus que es una resina intercambiadora de cationes, fuertemente ácida, tipo gel, sintética y de alta capacidad de intercambio. Tipo poliestireno sulfurado y se suministra en forma de ciclo sodio, en partículas esféricas transparentes de color amarillo casi perfectas como si fueran perlas, se utilizan en la suavización del agua industrial, desalcalinización, desionización o en procesos químicos.

En las aguas naturales también hay una pequeña fracción de iones hierro y manganeso, cuya presencia es indeseable ya que pueden manchar los tejidos, formar depósitos en tuberías, tanques u otros elementos, así como inducir su corrosión. Estos iones pueden eliminarse mediante intercambio iónico, pero este proceso tiene ciertas limitaciones ya que ambos iones pueden precipitar en la superficie de la resina.

Reacción de intercambio iónico

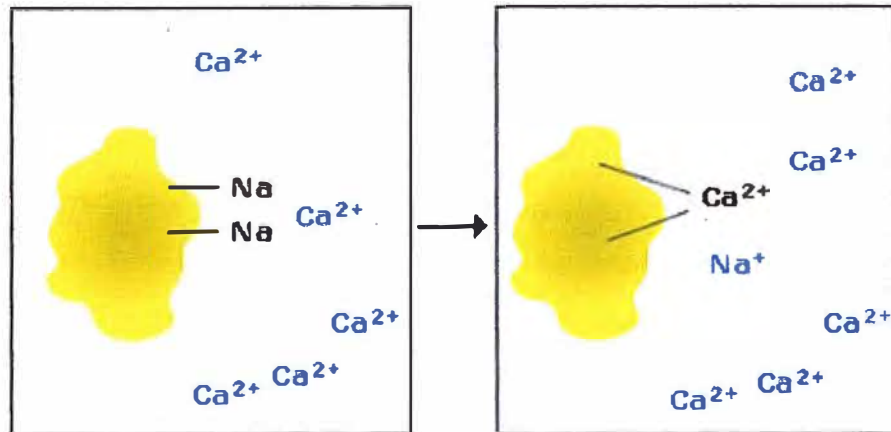
Los intercambiadores iónicos son matrices sólidas que contienen sitios activos (también llamados grupos ionogénicos) con carga electrostática, positiva o negativa, neutralizada por un ión de carga opuesta (contraión). En estos sitios activos tiene lugar la reacción de intercambio iónico.

Esta reacción se puede ilustrar con la siguiente ecuación tomando como ejemplo el intercambio entre el ión sodio, Na^+ , que se encuentra en los sitios activos de la matriz R, y el ión calcio, Ca^{2+} , presente en la disolución que contacta dicha matriz. Las reacciones típicas son:



Cuando se satura una resina, es necesario regenerar con una solución de NaCl al 10%, 6-7 Kg de NaCl/ft³.

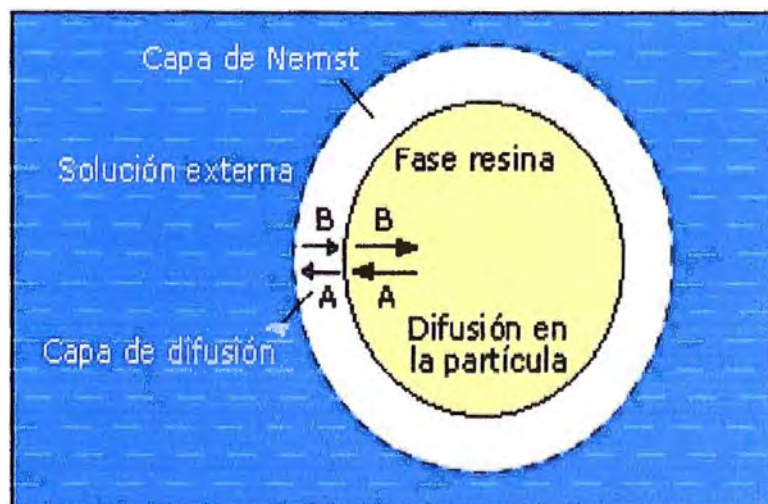
FIGURA N° 25. Representación de los sitios activos de la resina.



A medida que la disolución pasa a través de la resina, los iones presentes en dicha disolución desplazan a los que estaban originariamente en los sitios activos. La eficiencia de este proceso depende de factores como la afinidad de la resina por un ión en particular; el pH de la disolución, si el grupo activo tiene carácter ácido y básico, la concentración de iones o la temperatura.

Es obvio que para que tenga lugar el intercambio iónico, los iones deben moverse de la disolución a la resina y viceversa. Este movimiento se conoce como proceso de difusión. La difusión de un ión está en función de su dimensión, carga electrostática, la temperatura y también está influenciada por la estructura y tamaño de poro de la matriz. El proceso de difusión tiene lugar entre zonas de distinta concentración de iones, de más concentrado a menos, hasta que tengan la misma concentración.

FIGURA N° 26. Proceso de difusión en la resina.



El proceso de tratamiento de agua por intercambio iónico, puede ser definido como el intercambio reversible de iones entre una fase sólida y una líquida, donde iones de una carga dada (cationes o aniones), son reemplazados por cantidades equivalentes de otro ión de la misma carga.

El intercambio iónico tiene una importante aplicación en el acondicionamiento de aguas, tales como ablandamiento y desmineralización.

Para producir el proceso de intercambio iónico se trabaja con intercambiadores del tipo polímeros orgánicos, que son conocidos bajo el nombre de Resinas de Intercambio Iónico.

Ablandadores

El sistema de Tratamiento de aguas en la planta ha estado operando con cinco ablandadores de agua de la marca Aguasin, de operación manual que permiten reducir la dureza del agua mediante el uso de resinas catiónicas ciclo sodio de intercambio iónico de alta eficiencia, las que son regeneradas con cloruro de sodio. El cuerpo de cada columna de Intercambio Iónico es de forma cilindro vertical, el cuál esta construido en planchas de acero con fondos bombeados en frío, todo el interior se encuentra recubierto con resinas epóxicas de alta resistencia a la corrosión.

El equipo cuenta con un conjunto de válvulas y cañerías en su frente, las que permiten las correctas operaciones de:

- Retrolavado
- Regeneración
- Enjuague
- Ablandamiento

Estos equipos están configurados de forma doble alternado, permitiendo el flujo permanente de agua tratada, es decir, mientras un equipo se encuentra en la etapa de lavado o retrolavado, el otro se encuentra en servicio. El sistema cuenta con estanques de salmuera para la regeneración. Este sistema de ablandamiento reduce la D.T. a límites bajos y tiene como una ventaja la facilidad de operación, como desventajas se puede mencionar que no reduce la alcalinidad y aumenta los sólidos disueltos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

EQUIPOS ABLANDADORES DE AGUA (Serie HAF/HMF)

Operación : Manual y Automática

Cuerpo : Fibra Reforzada

Los ablandadores de agua, serie HAF y HMF AGUASIN, de operación automática y manual respectivamente, permiten reducir la dureza del agua mediante el uso de resinas de intercambio iónico de alta eficiencia, la que es regenerada con una solución de cloruro de sodio. El cuerpo de forma cilindro vertical, está construido en fibra resistente a la corrosión. En su parte superior tiene una válvula automática, que permite ejecutar las operaciones de servicio, regeneración, lavado y retrolavado. Las válvulas utilizadas permiten configurar los equipos de forma simplex (un solo equipo) y doble alternado (dos equipos paralelo alternado), esto último permite flujo permanente de agua tratada, es decir, mientras un equipo se encuentra en la etapa de lavado o retrolavado, el otro se encuentra en servicio. Las válvulas utilizadas permiten que los equipos doble alternado tengan solo un estanque de salmuera.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Temperatura máxima de trabajo : 36 °C.
- Presión máxima de alimentación : 5.0 kg/cm² (71 Psi).
- Presión mínima de alimentación : 1.8 kg/cm² (25 Psi).

Modelo Agua	Caudal de Servicio Nominal m ³ /h	Capacidad		Caída de Presión Máxima Kg / cm ²	Conexión		Espacio de Instalación			Peso Servicio Kg.
		Mínimo (gr. CaCO ₃ / Kg cal)	Máximo		Entrada Ø pulg.	Servicio Ø pulg.	Donde cm.	Altura cm.	Profund. cm.	
HMF / HAF-0900	1.0	1610/14.2	1510/7	0.5	1	1	125	210	170	130
HMF / HAF-1200	1.0	2760/17	2720/12	0.6	1	1	120	150	170	100
HMF / HAF-1400	1.3	4000/12	5610/24	0.6	1	1	200	130	250	220
HMF / HAF-1600	1.1	5600/17	7710/24	0.6	1	1	200	150	250	200
HMF / HAF-1800A	1.3	7800/20	9110/33	0.6	1	1	220	200	200	440
HMF / HAF-1800B	1.6	3200/23	18850/33	0.7	1	1	220	200	300	440
HMF / HAF-2100A	1.2	10800/23	12040/45	0.6	1	1	220	200	300	440
HMF / HAF-2100B	1.9	12000/30	14630/50	0.7	1½	1½	250	210	300	540
HMF / HAF-2400A	1.3	15000/30	17530/52	0.7	1½	1½	250	210	300	540
HMF / HAF-2400B	11.3	18000/41	21030/75	0.8	1½	1½	300	240	360	970
HMF / HAF-3000A	14.6	24000/50	28010/110	1.1	1½	1½	300	240	360	1370
HMF / HAF-3000B	18.2	27000/54	31510/115	1.2	1½	1½	300	240	360	1500
HMF / HAF-3600A	21.0	31200/74	36410/130	1.5	1½	1½	320	240	400	1930
HMF / HAF-3600B	26.2	34210/84	39910/142	1.6	1½	1½	320	240	400	1930

Nota : Los pesos y dimensiones están dados para equipos simplex, para equipos duplex el peso se debe multiplicar por 2 y las dimensiones consultadas a la casa matriz. Los diseños expuestos en esta ficha son solo referenciales. Asimismo se reserva el derecho a modificar las características técnicas de los equipos sin aviso.

Algunos cuestionamientos que se presentan al hacerle el mantenimiento a los ablandadores son los siguientes:

- Cuándo la resina de ablandamiento ser reemplazada?

Cuando el agua no es suficientemente blanda, se debería considerar primero los problemas de la sal que es usada, o malfuncionamiento de la maquinaria, o los componentes de ablandamiento. Cuando estos elementos no son la causa del insatisfactorio ablandamiento del agua, quizás el tiempo de reemplazo de la resina de ablandamiento, o incluso todo el sistema de ablandamiento.

- Necesita el tanque de sal del ablandador ser limpiado?

Usualmente no es necesario limpiar el tanque que contiene la sal, al menos que la sal producto sea usada en elevada materia orgánica, o que haya un serio malfuncionamiento de cualquier tipo.

Si hay deposición de sal en la resina, el reservorio debería ser limpiado para prevenir el mal funcionamiento del ablandador.

En el caso puntual de esta Empresa el consumo mensual de Sal Industrial en Grano (Cloruro de Sodio) para la regeneración es de 165 TM.

Durante el día (24 horas) se hace un promedio de cuatro regeneraciones por ablandador.

Horas de trabajo de los Ablandadores:

Retrolavado 15 min.

Regeneración 45 min.

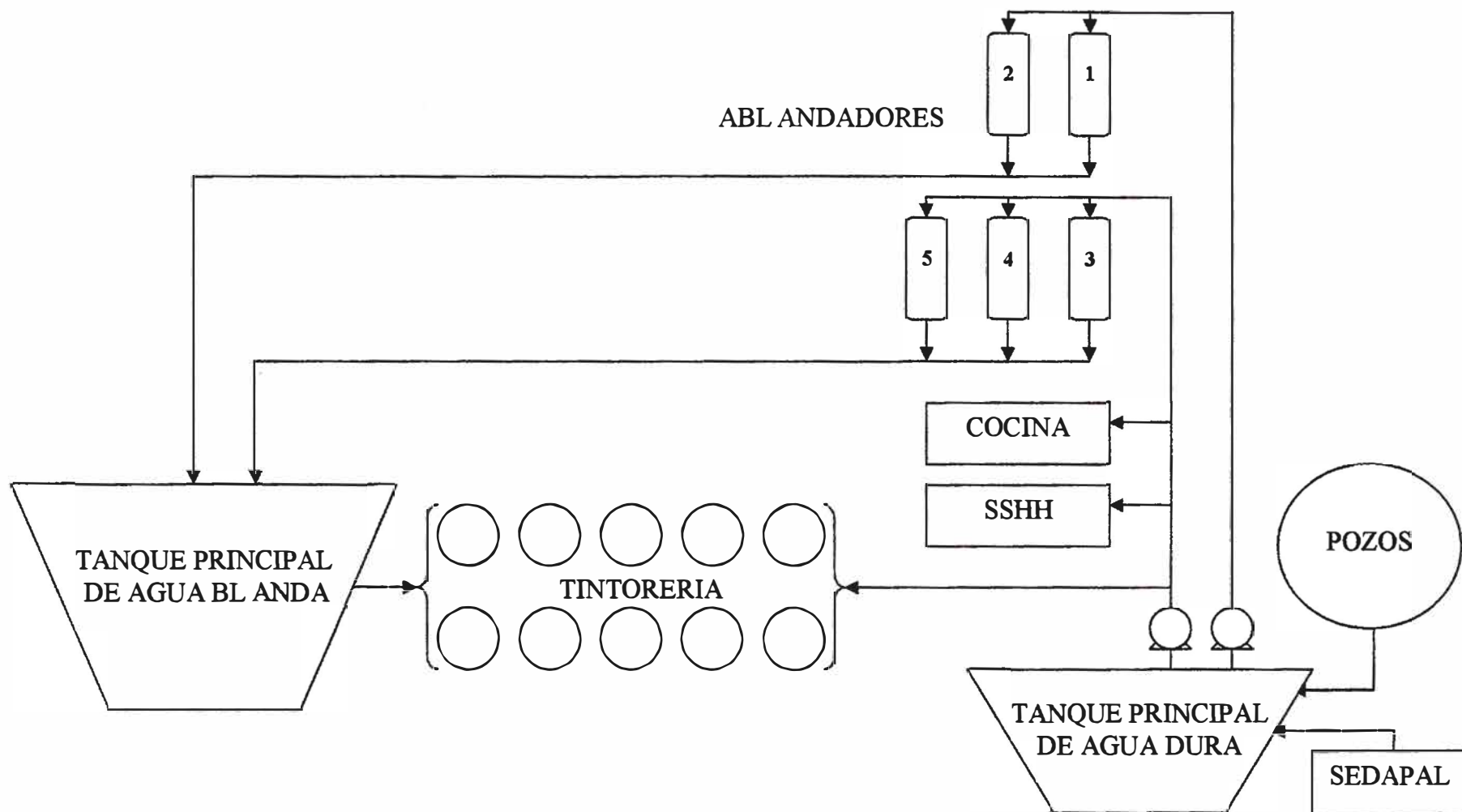
Enjuague 10 min.

Tiempo total por regeneración 1 hora y 10 min.

Debido a los altos consumos de Sal Industrial en grano en el proceso de Ablandamiento convencional por la alta dureza del agua de Alimentación, se plantea la instalación de un Sistema de Osmosis Inversa piloto combinado en paralelo con el Sistema Convencional de Ablandamiento por Intercambiadores Iónicos.

En el siguiente capítulo se presenta la descripción del Equipo de Osmosis Inversa, para luego presentar la Evaluación Económica.

FIGURA N° 27. Sistema Convencional de Ablandamiento de Aguas por Intercambio Iónico.



3.5.- REDISEÑO DEL SISTEMA DE ABLANDAMIENTO

3.5.1.- CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA

El equipo de Osmosis Inversa, es un equipo de marca RG Systems Serie C que dispone de:

Prefiltros de cartuchos.

Válvulas reguladoras.

Presostato de mínima.

Bomba de alta tipo vertical.

24 Membranas tipo PA.

Distribución: 2 etapas.

Tipo de Enrollamiento Espiral.

2 medidores de caudal: permeado, rechazo.

Manómetros tipo glicerina.

Medidor de Conductividad.

Estructura en inox.

Central de Control PLC.

Sistema de Limpieza.

Incluye 2 equipos de dosificación.

CODIGO	MODELO	PRODUCCION	MEMBRANA
RO-0406-07	RO-C1880	18.000 l/h	24x80x40

3.5.2.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El equipo de Osmosis inversa de la empresa, es un equipo que recibe agua de la mezcla de las dos fuentes Sedapal y Pozos.

Así mismo, el agua producto del equipo de Ósmosis alimenta a un tanque para uso de tres calderos pirotubulares de potencia máxima de 150 psi.

Parámetros de operación de la OI

Alimentación	114.3 gpm
Producto	79.2 gpm = 432 m ³ /día
Rechazo	35 gpm

Presión	275 psi
Recuperación	70%
Temperatura de diseño	25°C
Flux promedio	12 gal/ft ² día (GFD)

Pretratamiento del Agua Alimentación al Equipo de Ósmosis Inversa

Con la finalidad de evitar daños en las membranas y eliminar sustancias indeseables; el agua aporte al equipo de Osmosis Inversa debe ser acondicionada física y químicamente antes de ser impulsada a las membranas por la bomba de alta presión.

ANTI-INCRUSTANTE RG81	Evitar las precipitaciones de Sales en las membranas.
	Proteger ante CO ₃ Ca y SO ₄ Ca
REDUCTOR DE OXIGENO/DECLORADOR RG82	Evitar materia orgánica en las membranas
	Reductor de Cloro Residual

Características Principales de los Componentes:

- **Componentes Hidráulicos**
 - Válvulas de salida de permeado
 - Entradas de dosificación de los Aditivos
 - Medidor de Temperatura
 - Válvula de muestreo del Agua de alimentación
 - Válvula de salida de concentrado o rechazo, al desagüe
 - Bombas y motor
 - Válvula de estrangulación de la bomba
 - Válvula de retención
 - Montaje de módulo de OI
- **Componentes Eléctricos**
 - Panel de Fuerza
 - Interruptor principal

Sensores de Nivel del tanque de Permeado
Sensores de Nivel de Aditivos
Interruptor de baja presión y alarma
Panel de Control que es conectado al PLC

FIGURA N° 28. Equipo de Osmosis Inversa.



FIGURA N° 29. Arreglo 3/1 Unidad de Osmosis Inversa.

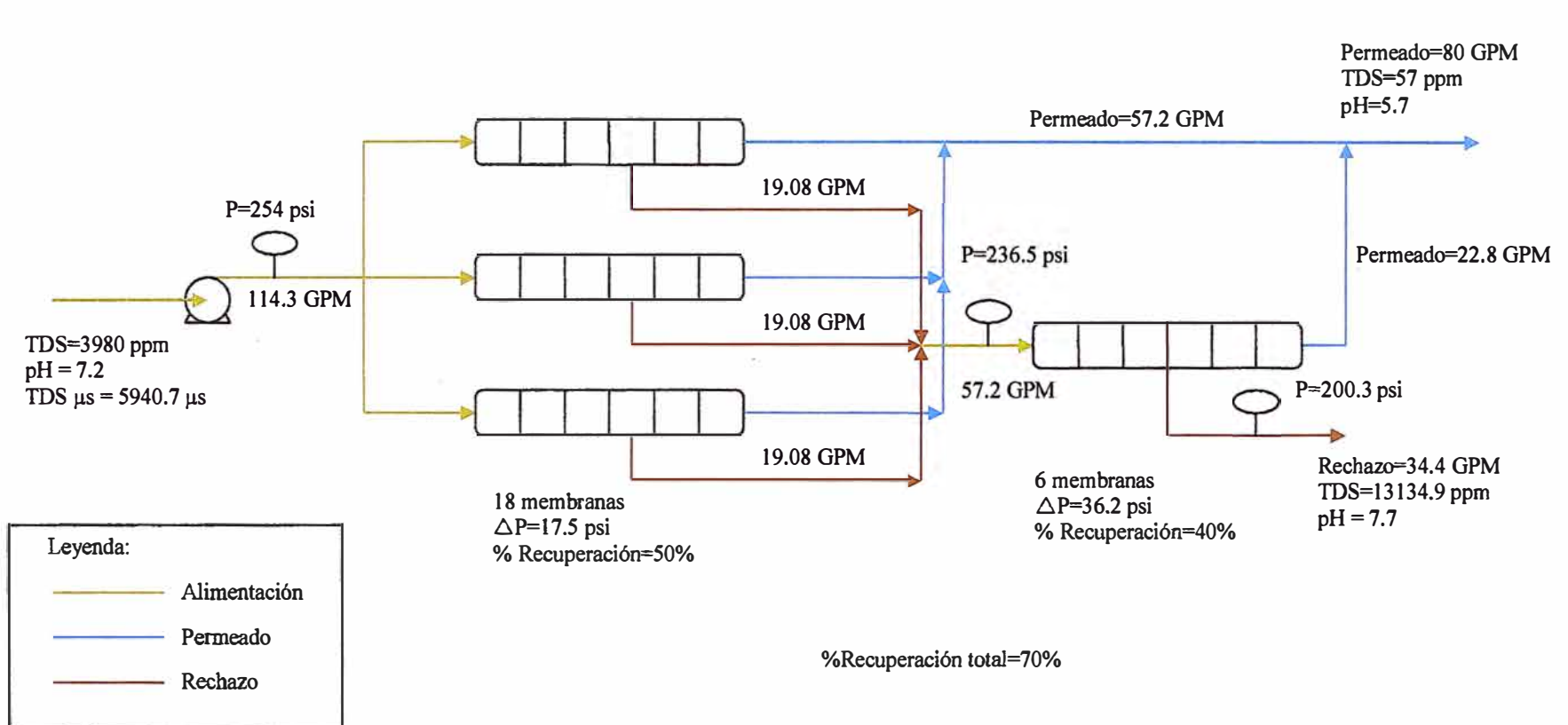


TABLA N° 9. Resultados Obtenidos con la Implementación del Sistema de Ablandamiento OI.

<u>Parámetro</u>	<u>Unid.</u>	<u>30/06/06</u>	<u>07/07/06</u>	<u>15/07/06</u>	<u>31/07/06</u>
Temp. Agua de ingreso	°C	25.1	24.3	24.5	24.2
Flujo Agua Alim. (Fa)	gpm	114.3	115	114.9	115
Presión Bomba	psi	275	278	280	275
TDS agua de ingreso (Ca)	ppm	3879	3798	3850	3871
TDS agua producto (Cp)	ppm	42.99	41	43	42.5
Rechazo de sales (RS)	%	98.89	98.92	98.88	98.9
Flujo de agua Producto (Fp)	gpm	79.2	80	80.2	79.8
Flujo de Agua Rechazo (Fr)	gpm	35.1	35	34.7	35.2
Recuperación (R)	%	69.3	69.6	69.8	69.4
Paso de Sales (PS)	%	1.11	1.08	1.12	1.10
Conductividad	uS/cm	80.5	80.1	80.3	80

FIGURA N° 30. Sistema de Ablandamiento de Aguas por Osmosis Inversa en Paralelo con Intercambio Iónico.

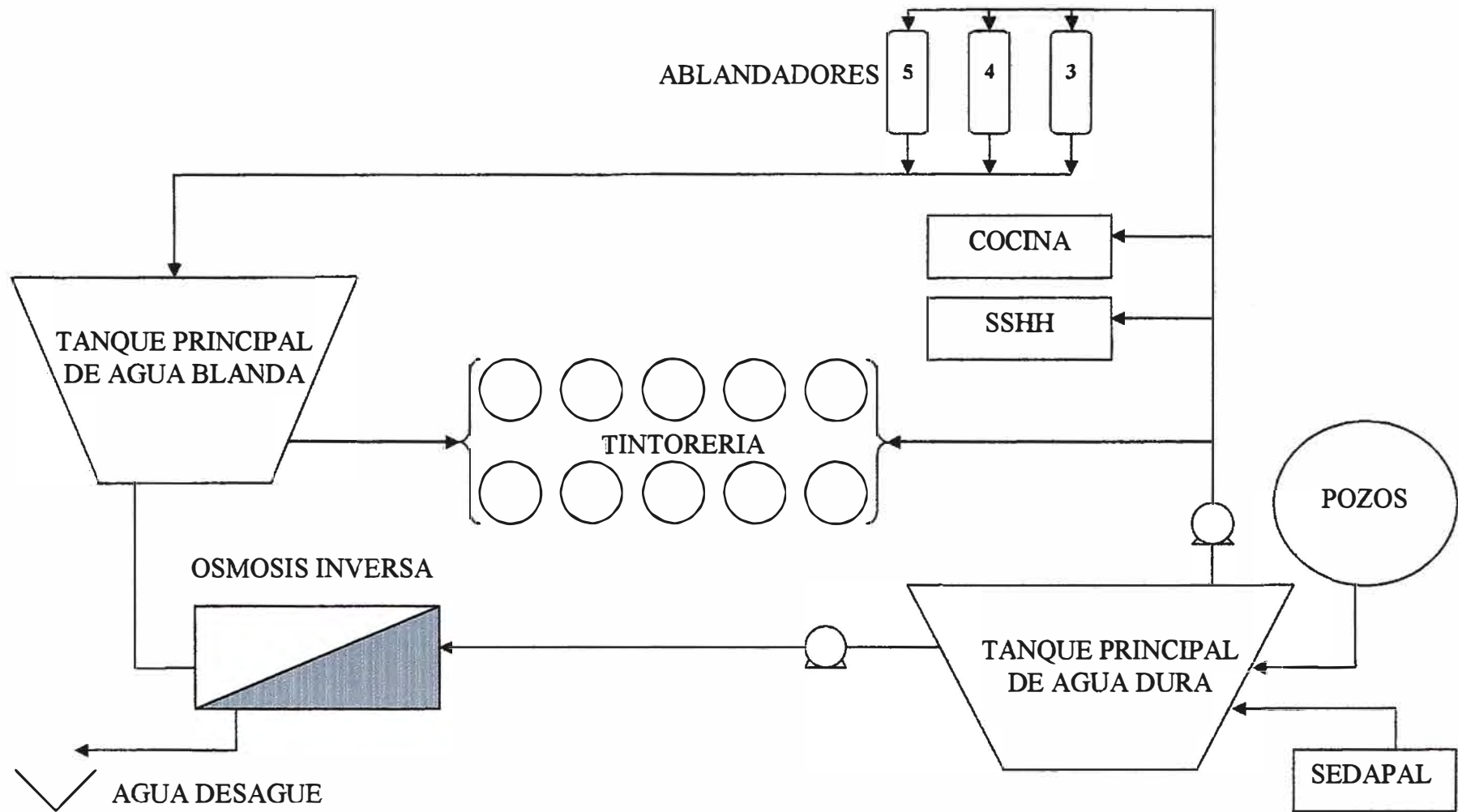


TABLA N° 10. Comparación de los Sistemas de Ablandamiento.

Fecha	Muestra de Agua	Dureza °A		Alcalinidad			PH	Cloruros NaCl	SD ppm	Conductividad uS/cm _e
		Total	Calcio	F	M	HCO ₃ ⁻				
28/05/06	Ablandadores (5)	3	2	0	320	320	7.52	1100	2150	3872
30/06/06	Osmosis Inversa (OI)	0	0	0	5	5	6.8	30	42.99	80.5
31/07/06	Pozo (OI+3 Ablandadores)	1	1	0	110	110	7.31	320	1072.8	1745

3.6.- EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.6.1.- ANTECEDENTES (SISTEMA CONVENCIONAL)

En el Sistema convencional de Ablandamiento por Intercambio Iónico; el Consumo de Sal Industrial en Grano es de 275 kg por regeneración para un ablandador, como trabajaban 5 ablandadores el consumo será de 1375 kg por regeneración, en un día de Operación se debe llevar a cabo un promedio de 4 regeneraciones por ablandador, entonces el consumo por día sería de 5500 kg/día de NaCl.

El Costo aproximado es de:

NaCl 0.06 US\$/Kg

Por lo tanto el costo por regeneración sería de:

1375 kg de NaCl x 0.06 US\$/Kg = US\$ 82.50

Para 4 regeneraciones en un día = US\$ 330.00 /día

Costo mensual total = US\$ 9900.00

Los sistemas de Ablandamiento por Intercambio Iónico no son recomendables para aguas pozo con un contenido alto de sólidos disueltos totales; ya que el agua producto no es de óptima calidad; además resultan ser demasiados los consumos de Sal Industrial en Grano (regenerante).

3.6.2.- COSTOS DE ADQUISICIÓN EQUIPO Y ADITIVOS DE PRETRATAMIENTO

El equipo de Osmosis Inversa, de marca RG Systems Serie C

Modelo RO-C1880

Código:RO-0406-07

Precio puesto en planta: US\$ 90000

ANTI-INCRUSTANTE RG8

US\$ 1815.0 / 55 gal (duración promedio 2 meses)

Costo mensual US\$ 907.50

REDUCTOR DE OXIGENO/DECLORADOR RG82

US\$ 360 / 15 gal (duración promedio 1 mes y medio)

Costo mensual US\$ 240.00

3.6.3.- COSTOS NUEVO SISTEMA DE ABLANDAMIENTO

En la actualidad la planta esta trabajando con un Sistema de Osmosis Inversa piloto combinado en paralelo con el Sistema Convencional de Ablandamiento por Intercambiadores Iónicos (3 ablandadores).

Como anteriormente se indicó el Consumo de Sal Industrial en Grano es de 275 kg por regeneración para un ablandador, pero ahora sólo trabajaban 3 ablandadores el consumo será de 825 kg por regeneración, en un día de Operación se debe llevar a cabo un promedio de 4 regeneraciones por ablandador, entonces el consumo por día sería de 3300 kg/día de NaCl.

El Costo aproximado es de:

NaCl 0.06 US\$/Kg

Por lo tanto el costo por regeneración sería de:

825 kg de NaCl x 0.06 US\$/Kg = US\$ 49.5

Para 4 regeneraciones en un día = US\$ 198.0 /día

Costo mensual = US\$ 5940.00

Costo mensual ANTI-INCRUSTANTE RG8 = US\$ 907.50

Costo mensual REDUCTOR DE OXIGENO/DECLORADOR RG82
= US\$ 240.00

Costo mensual total = US\$ 7087.50

3.6.4.- ESTRUCTURA DE COSTOS PARA EL EQUIPO DE OSMOSIS INVERSA

Datos:

Capacidad de Producción : 432 m³/día

Días de Operación al año : 360 días

Factor Planta ÓI : 0.98

Consumo Antiincrustante : 0.92 gal /día

Costo Antiincrustante : 10890 US\$ / año

Consumo Red. de Oxigeno / declorador : 0.33 gal / día

Costo Red. de Oxig. / declorador : 2880 US\$ / año

Consumo Electricidad : 20 Kw

Costo Energía : 0.06 US\$/ Kw-hr

Costo Químicos Limpieza	: 5400 US\$/año
Costo Repuestos Consumibles	: 4500 US\$/año
Membranas (elementos)	: 24
Costo membrana	: 1000 US\$ * elemento
Periodo Recambio membrana	: 3 años
Factor de Internamiento	: 1.25

COSTO TOTAL = COSTOS FIJOS + COSTOS VARIABLES

COSTOS FIJOS:

• **AMORTIZACIÓN**

La Inversión incluye Captación, conducciones, construcciones, equipos mecánicos, equipos de control, montaje y puesta en marcha.

Para la producción de 432 m³/día \approx 500 m³/día; la Inversión en 1000 \$/m³/día es de 0.62 (Agua Superficial + Agua de Pozo)

Costo de Inversión = US\$ = 432 m³/día * \$/m³/día 620 = 267 840

TABLA N° 11. Estructura de la Inversión

Componente	%Inversión
Membranas	30
Bombas	20
Tuberías, Válvulas	18
Equipos Eléctricos	9
Instrumentación	3
Construcciones	10
Toma de Agua	3
Impulsión del Producto	7

Tiempo de Amortización: 6 años

Amortización = 267 840 / 6 años = 44 640 US\$ / año

Amortización por Unidad de Volumen = 44 640 / (432*360) = 0.287 US\$/m³

- **COSTO DE PERSONAL**

Personal de Operación; no se incluye, ya que los Operarios que manejan los Intercambiadores Iónicos son los mismos que manejan el equipo de Osmosis Inversa (En paralelo).

Se requiere de un Técnico de mantenimiento a medio tiempo/turno. Considerando 14 sueldos al año.

Técnico de Mantenimiento = $1.5 * 14 * 300 \text{ US\$/mes} = 6300 \text{ US\$}$

Costo unitario = $6300 \text{ US\$} / (432 * 360) = 0.041 \text{ US\$/m}^3$

COSTOS VARIABLES:

- Costo de Antiincrustante = $10890 / (432 * 360) = 0.070 \text{ US\$/m}^3$
- Costo de Red. de Oxig. / decl = $2880 / (432 * 360) = 0.019 \text{ US\$/m}^3$
- Costo de Quím. de Limpieza = $5400 / (432 * 360) = 0.035 \text{ US\$/m}^3$
- Costo de Energía Eléctrica = $(0.06 * 20 * 24) / 432 = 0.067 \text{ US\$/m}^3$
- Costo de Rep. Consumibles = $4500 / (432 * 360) = 0.029 \text{ US\$/m}^3$
- Costo de Reposición de Membranas
= $(24 * 1000 * 1.25) / (432 * 360 * 3)$
= $0.064 \text{ US\$/m}^3$

Costo Variable = $0.284 \text{ US\$/m}^3$

COSTO TOTAL = $0.287 + 0.041 + 0.284 = 0.612 \text{ US\$/m}^3$

COSTO AJUSTADO = $0.612 / 0.98 = 0.62 \text{ US\$/m}^3$

3.6.5.- VENTAJAS OBTENIDAS CON EL NUEVO SISTEMA

- Mejor Calidad de Agua para el proceso Textil en General:

Libre de sólidos en suspensión, el problema era la filtración de los productos químicos.

No presentará acidez o alcalinidad M excesiva (reduce la alcalinidad), por lo que no interfiere con algunos procesos textiles. La alcalinidad no era controlada en el Sistema de Ablandamiento por Intercambiadores Iónicos.

Libre o escaso contenido de metales pesados, que afectaban seriamente las operaciones de blanqueo y tintura.

Dureza cálcica y magnésica media a baja, lo cuál provocaba problema de precipitados durante el pretratamiento y defectos en la tintura.

Bajo contenido de cloro residual; lo cuál provocaba con el sistema anterior cambios de tono, manchas y dificultades de reproductibilidad al teñir.

- Mejor control en la migración y difusión de los colorantes en el material, mejor reproductibilidad y solidez.
- Reducción de Costos por el menor uso de Secuestrante y Controlador de Bicarbonato a lo largo del proceso de teñido.
- Otro factor que hay que considerar al tener un agua mejor tratada es que disminuye el problema de corrosión de las tuberías y superficies metálicas; así como mejores niveles de eficiencia térmica en las calderas ya que los tubos se encuentran limpios (sin caliche), generando un ahorro monetario. El número de purgas a disminuido de 1 purga/2 hora a 1 purga/4 horas.
- Disminución en la operatividad de equipos; el equipo de OI trabaja automáticamente, menos manipulación de solución regenerante lo cual ocasionaba mayores riesgos en aspecto de seguridad. Sólo requiere de un técnico para el mantenimiento a medio tiempo/turno para hacer las revisiones respectivas.
- Los costos en el tratamiento químico realizado a las calderas ha disminuido ya que el consumo de los productos químicos utilizados ha descendido.
- Disminución en la mano de Obra de Operario que manipulaba la solución regenerante.

IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los iones que interesa controlar en la industria textil son el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} y HCO_3^- (bicarbonatos); según un análisis, el agua de alimentación contiene despreciables cantidades de iones Fe^{2+} y Cu^{2+} , por lo tanto lo que es más importante controlar para los procesos es el Calcio y Magnesio (provocan dureza del agua) y HCO_3^- que es mejor controlado con el nuevo sistema de ablandamiento.
- Debido a las impurezas que trae la fibra, es necesario el uso de un Agente Secuestrante y Controlador de Bicarbonatos para controlar la dureza y alcalinidad respectivamente del baño de teñido; el consumo de estos auxiliares será mayor y su eficiencia será incierta si ambos parámetros no son controlados en el agua fuente o cruda.
- Otra aplicación de la Osmosis Inversa en la Industria Textil es la concentración de tintes y recuperación (reutilización) de agua de proceso.
- La recuperación máxima de cada etapa de la Unidad de Osmosis Inversa no debe superar el 50% (máxima conversión de trabajo) es por ello que se agrupó 3/1 en serie el arreglo de la Unidad de Ósmosis Inversa para obtener una conversión global de 70%.
- El agua rechazo de la Unidad de Osmosis Inversa podría ser utilizada para los servicios higiénicos.
- En el Perú no existen aún normas legales sobre límites de rechazo que protejan el Medio Ambiente, pero la tendencia ecológica apunta a revisar los procedimientos para contrarrestar posibles impactos.
- Los parámetros de trabajo de la Unidad de Osmosis Inversa se establecen considerando las características del agua de alimentación. Para otro tipo de fuente pueden variar dichos parámetros.

V.- BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- Aptel, P; Buckley, C. Tipos de Operaciones de Membranas. Tratamiento del Agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones. American Water Works Asociation Research Fundation. Madrid. McGrawHill, 1998, pág. 13-39.
- 2.- Medina S.J.,J.A. Desalación de Aguas Salobres y de Mar: Osmosis Inversa. Editorial Mundi-Prensa, Madrid España 2000 pág 13-54.
- 3.- Kyung-In Synthetic Corporation. Teñido y Colorantes Synozol Ver.2.0 pág 25-27.
- 4.- Charlton S; Parkes D.T. Factores críticos para una tintura exitosa con reactivos en fibras celulósicas para exportación. Chromatech Inglaterra 2001, pág.10-12.
- 5.- División de Tecnologías Ambientales de la Corporación de Investigación Tecnológica Intec-Chile. Documento de difusión Opciones de gestión ambiental Sector tintorerías textiles, pág 4-6.