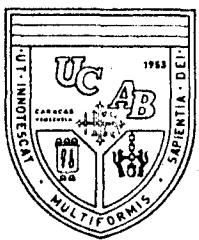


aac7977

TESIS
JULIO 1990
AS
E.2.



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**Diseño de una Unidad Desaladora
de agua de mar, mediante el proceso de
Osmosis Inversa.**

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: SOBRESALIENTE

JURADO EXAMINADOR

Firma:

Nombre:

Joséba LASCURAIN

Firma:

Nombre:

Juan FORGER

Firma:

Nombre:

REALIZADO POR

PROFESOR GUIA

FECHA

**ANDRADE R. Rafael
MORADEI B. Massimiliano
LASCURAIN Joseba.**

MAYO, 1990

A José Andrade y Laurinda
de Andrade, por darme la
vida y la formación para ser
cada día mejor. A ustedes les
debo lo que soy, lo que tengo
y ahora, el éxito alcanzado,
también es de Ustedes,

Rafael

A Dios y a la Virgen por
iluminar mi mente.

A ustedes Carlos y María por
haberme dado la vida y todo
lo que soy y tengo.

A ti Aracelis por tu apoyo
incondicional y por haber
estado siempre a mi lado en
el momento apropiado.

A ti Ana María por ser como
eres

Massimiliano

AGRADECIMIENTO.

A través de estos párrafos, queremos expresar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas, empresas o instituciones que de una forma u otra permitieron la realización de este trabajo especial de grado. Entre las empresas queremos destacar el incondicional aporte de **BEQUIM Industria Farmacéutica** y a todas las personas involucradas en la reproducción de este ejemplar.

Es muy difícil mencionar a todos aquellos que se involucraron de cualquier manera durante todo el tiempo transcurrido y al mismo tiempo es facil pasar por alto a alguien, logicamente sin quererlo. Por lo tanto quedará entre nosotros y ustedes el saber que en un momento determinado "trabajamos juntos" y estamos infinitamente agradecidos por ello.

De manera muy especial queremos expresar nuestro mas sincero agradecimiento a nuestro Tutor: Dr. Joseba Lascurain, por las valiosas orientaciones e indicaciones aportadas, además de su apoyo en los momentos mas críticos con sacrificio de tiempo y esfuerzo.

Queremos agradecer de manera muy especial a **Nuestros Padres** por todo el esfuerzo realizado para permitir el feliz término tanto del presente trabajo como de la carrera de Ingeniería Industrial, dedicada íntegramente a ellos.

Por ultimo y no por ser menos importantes queremos agradecerle a **Aracelis Abreu** y a **Ana María Moradel** por su incondicional dedicación para que lo que empezó por unos pocos párrafos e ideas llegara a ser lo que es hoy en dia y lo que pueda representar para el futuro.

A todos Ustedes,
Muchas Gracias.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	i
INDICE DE FIGURAS	viii
SINOPSIS	xi
INTRODUCCION.	1
CAPITULO 1: Generalidades.	4
1.1.- Principio de Operación del Proceso.	4
1.2.- Membranas de Osmosis Inversa.	8
1.3.- Configuración Modular de las Membranas.	12
1.3.1.- Configuración de Plato y Marco.	13
1.3.2.- Configuración Tubular.	14
1.3.3.- Configuración en Espiral.	15
1.3.4.- Configuración en haz de Fibras Huecas.	16
1.4.- Ventajas, Desventajas y Aplicaciones de la Osmosis Inversa.	20
CAPITULO 2: Teorías del Mecanismo de Transporte a través de Membranas.	23
2.1.- Relaciones Termodinámicas entre Potencial Químico y Presión Osmótica.	23
2.2.- Descripción general de los procesos de separación a través de Membranas.	
2.3.- Mecanismos de Rechazo de Sales	31
2.3.1.- Mecanismo de Filtrado	31
2.3.2.- Mecanismo de Superficie Húmeda	32
2.3.3.- Mecanismo de Solución-Difusión	32
2.3.4.- Mecanismo de "Atracción Preferencial-Flujo Capilar"	33

2.4.- Solubilidad, Permeabilidad y Difusividad	37
2.5.- Modelos de Transporte Teóricos de las Membranas	40
2.5.1.- Clasificación	40
2.5.2.- Modelos basados en la Termodinámica Irreversible	41
2.5.2.1.- Ecuaciones Fenomenológicas. Leyes de Linealidad	43
2.5.3.- Modelo de Kedem-Katchalsky	44
2.5.4.- Modelo de Spiegler-Kedem	47
2.5.5.- Efecto de la Convexión	48
2.5.6.- Modelo de Solución-Difusión	49
2.5.7.- Modelo de Solución-Difusión con Imperfecciones	50
2.5.8.- Modelo de Perfecta Porosidad	51
2.5.9.- Modelo de Flujo del Mecanismo de "Atracción Preferencial-Flujo Capilar"	52
2.5.10.- Comparación de los Modelos de Transporte	55
 CAPITULO 3: Selección y Diseño del Sistema de Membranas	58
3.1.- Alternativas de Membranas	58
3.2.- Criterios utilizados en la selección de Membranas	59
3.2.1.- Coeficiente de transporte de sales	59
3.2.2.- Coeficiente de permeabilidad al agua	60
3.2.3.- Productividad	60
3.2.4.- Otros criterios	60
3.3.- Características y Parámetros principales de las distintas Membranas	61
3.3.1.- Ecuaciones utilizadas para el cálculo de los Parámetros Operativos	62
3.3.2.- Factores que influyen sobre el Coeficiente de	

permeabilidad al agua	64
3.3.3.- Factores que influyen sobre el Coeficiente de transporte de sales	67
3.4.- Selección de la Membrana	68
3.5.- Parámetros y curvas de Operación de la Membrana seleccionada	84
 CAPITULO 4: Pre y Post-tratamientos requeridos en una Planta de Osmosis Inversa 102	
4.1.- Finalidad del Pre-tratamiento	102
4.2.- Factores que afectan la operatividad de un Sistema Osmosis Inversa	104
4.2.1.- Incrustaciones en la Membrana	105
4.2.2.- Deposición de óxidos y sales metálicas	106
4.2.3.- Deposición de partículas	109
4.2.4.- Ensuciamiento Coloidal	110
4.2.5.- Ensuciamiento Biológico	111
4.2.6.- Otros factores	112
4.3.- Técnicas de Pre-tratamiento	114
4.3.1.- Acidificación	115
4.3.2.- Adición de inhibidores	116
4.3.3.- Oxidación-filtración	117
4.3.4.- Filtración	117
4.3.5.- Coagulación-filtración continua	118
4.3.6.- Cloración-decloración	119
4.3.7.- Dosificación de bisulfito de sodio	119
4.4.- Determinación del Pre-tratamiento requerido	120
4.4.1.- Cálculo y ajuste del "Stiff & Davis Stability Index"	120
4.4.2.- Cálculo del potencial de precipitación de sulfatos	133

4.4.3.- Cálculo del potencial de precipiación de hidróxidos	135
4.4.4.- Cantidad requerida de bisulfito de sodio	135
4.4.5.- Cálculo del punto de saturación de la sílice	140
4.4.6.- Sistema de filtración del agua de alimentación	140
4.5.- Post-tratamiento del agua	143
 CAPITULO 5: Selección de los materiales	145
5.1.- Factores que intervienen en la selección de los materiales	145
5.2.- Tuberías	145
5.2.1.- Tuberías de alta presión	146
5.2.2.- Tuberías de baja presión	149
5.3.- Estructura de apoyo y rigidización	150
5.4.- Tanques	151
5.4.1.- Tanque de producto	151
5.4.2.- Tanque de ácido	153
5.5.- Recipiente contenedor de la membrana	153
5.6.- Otros elementos	154
5.7.- Protecciones adicionales	154
5.8.- Elementos adicionales que deben ser considerados	155
 CAPITULO 6: Sistema de manejo de fluidos	158
6.1.- Diagrama de flujo de los fluidos	158
6.2.- Selección de los elementos para el manejo de fluidos	162
6.2.1.- Válvulas	162
6.2.1.1.- Válvulas de control	162
6.2.1.2.- Válvula de reducción	165
6.2.1.3.- Válvula de seguridad y disco de ruptura	167
6.2.1.4.- Válvulas de paso y cierre	168
6.2.1.5.- Válvulas de retención	169

6.2.2.- Tuberías	170
6.2.2.1.- Tuberías de alta presión	171
6.2.2.2.- Tuberías de baja presión	172
6.2.3.- Bombas	173
6.2.3.1.- Bombas de alta presión	173
6.2.3.2.- Bomba de baja presión	175
6.3.- Isometria de la tubería	176
6.4.- Cálculo de las pérdidas de carga del sistema y de las potencias requeridas en el bombeo	176
 CAPITULO 7: Recipiente contenedor de la membrana y sistema estructural de apoyo y rigidización	 191
7.1.- Diseño del módulo contenedor del elemento de membrana	191
7.2.- Estructura de soporte	194
 CAPITULO 8: Sistema de control, monitoreo y alimentación eléctrica.	 201
8.1.- Selección de los actuadores	201
8.2.- Válvulas solenoides	204
8.3.- Sensores	204
8.4.- Sistema de control y monitoreo	208
8.4.1.- Parámetros a controlar	208
8.4.2.- Sistema de control	211
8.5.- Sistema eléctrico	215
 CAPITULO 9: Sistema de limpieza de la membrana	 220
9.1.- Necesidad de limpieza	220
9.2.- Precauciones durante el proceso de limpieza	221
9.3.- Procedimiento de limpieza	222
9.4.- Soluciones y elementos químicos requeridos para la	

limpieza	223
9.5.- Flujo de Fluidos de la unidad de limpieza	225
9.5.1.- Selección de las válvulas de paso y corte	225
9.5.3.- Determinación de la capacidad de la bomba	227
9.5.4.- Determinación del flujo menor	228
9.6.- Sistema estructural de rigidización	230
9.7.- Sistema de control de la unidad de limpieza	231
 CAPITULO 10: Configuración modular de la unidad	234
10.1.- Configuración modular	234
10.1.1.- Transporte de la unidad	234
10.1.2.- Armado e instalación	235
10.2.- Incremento de las exigencias del producto	236
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	241
BIBLIOGRAFIA	245
APENDICES	250
A.- Conceptos y definiciones importantes	251
B.- Nomenclatura	253
C.- Tablas mencionadas en el Capítulo 3	255
D.- Características Fisico-químicas de las soluciones NaCl-agua	256
Calculo del coeficiente de transferencia de masa.	
E.- Comportamiento de la membrana a distintos pH.	260
F.- Cálculo de pérdidas de la unidad desaladora	264
G.- Tramos que comprende la unidad de limpieza	291
 ANEXOS	295
1.- Membranas de Osmosis Inversa	296
2.- Equipos para el pre y post-tratamiento	306
3.- Equipo de control y manejo de fluidos	315

4.- Equipos de control electrónicos	336
5.- Normas consultadas	347
PLANOS	379

INDICE DE FIGURAS.

1.1. Rango de operación del proceso de Osmosis Inversa	3.a
1.1.a.- Flujo Osmótico	5
1.1.b.- Equilibrio Osmótico	5
1.1.c.- Osmosis Inversa	6
1.2.- Sistema básico de Osmosis Inversa	7
1.3.- Corte transversal de una fibra hueca	11
1.4.- Configuración tipo filtro prensa	13
1.5.- Configuración en espiral	16
1.6.- Configuración en haz de fibras huecas	18
2.1.- Procesos que pueden ocurrir a través de membranas según los niveles de Potencial Químico	23
2.2.- Representación esquemática del proceso de transporte	28
2.3.- Mecanismo de "Absorción Preferencial-Flujo Capilar"	33
3.1.- Calidad del producto vs. concentración de alimentación	73
3.2.- Calidad del producto vs. conversión	74
3.3.- Rechazo vs. concentración de alimentación	75
3.4.- Rechazo vs. conversión	76
3.5.- Productividad vs. concentración de alimentación (memb. 2,5")	77
3.6.- Productividad vs. concentración de alimentación (memb. 4")	78
3.7.- Productividad vs. concentración de alimentación (memb. 8")	79
3.8.- Productividad vs. conversión (membranas de 2,5")	80
3.9.- Productividad vs. conversión (membranas de 4")	81
3.10.- Productividad vs. conversión (membranas de 8")	82
3.11.- Conversión de TDS de agua de mar (ppm) a su equivalente iso-osmótico de solución de NaCl (ppm)	86
3.12.- Curvas de operación	89
3.13.- Curvas de operación	90
3.14.- Curvas de operación	91

3.15.- Curvas de operación	92
3.16.- Curvas de operación	93
3.17.- Curvas de operación	94
3.18.- Curvas de operación	95
3.19.- Curvas de operación	96
3.20.- Curvas de operación	97
3.21.- Curvas de operación	98
3.22.- Curvas de operación	99
3.23.- Curvas de operación	100
3.24.- Curvas de operación	101
4.1.- Productividad de la membrana vs. tiempo	103
4.2.- Determinación del pH en función de HCO_3/CO_2	123
4.3.- Determinación del pH en función de HCO_3/CO_2	124
4.4.- Curvas de dosificación de HCl	127
4.5.- Curvas de dosificación de HCl	128
4.6.- Equivalencia de HCl(100%) con soluciones diluidas	129
4.7.- Factor de corrección por Ca^{++}	130
4.8.- Precipitación de carbonato de calcio	132
4.9.- Dosificación de bisulfito de sodio para la eliminación del Cloro libre	136
4.10.- Dosificación de bisulfito de sodio para la eliminación del Oxígeno disuelto	137
4.11.- Equivalencia de bisulfito (100%) con soluciones diluidas	138
4.12.- Solubilidad de la sílice vs. temperatura	141
4.13.- Factor de corrección de SiO_2 vs. pH	142
6.1.- Diagrama del flujo de fluido en la unidad desaladora	161
6.2.a.- Isometría de la tubería de alimentación	177
6.2.b.- Isometría de la tubería de rechazo	177
6.2.c.- Isometría de la tubería de producto	177
6.3.- Curva de operación del sistema de circulación	189
6.4.- Curva de operación del sistema de la bomba reciprocante	190

7.1.- Sistema de cierre del recipiente contenedor de la membrana	193
7.2.- Gancho de unión de las estructuras de soporte	195
7.3.- Determinación de los esfuerzos	196
7.4.- Determinación de los esfuerzos	198
7.5.- Sistema de anclaje para motor y bomba	199
8.1.- Relación entre corriente y presión	207
8.2.- Relación entre voltaje y velocidad	207
8.3.- Relación entre conductividad y concentración de NaCl	209
8.4.- Sistema regulador de pH	212
8.5.- Diagrama de control	213
8.6.- Panel de control	216
8.7.- Sistema de distribución de energía eléctrica	219
9.1.- Diagrama de flujo	226
9.2.- Determinación de los esfuerzos	231
10.1.- Sistema de distribución de los fluidos	237

Sinopsis.

El objetivo fundamental de este trabajo especial de grado es el Diseño de una Unidad compacta y modular de desalación de agua de mar a través del proceso: Osmosis Inversa.

Para ello se aplicaron muchos de los conocimientos y capacidades adquiridas a lo largo de la carrera, principalmente la capacidad crítica y de análisis, conjuntamente con una serie de nuevos conocimientos adquiridos de los fenómenos físico-químicos de los procesos de membranas y tratamiento de aguas.

El objetivo fundamental se logró a través del desarrollo de diez capítulos con sus respectivos apéndices y anexos, los cuales se mencionan a continuación:

Introducción: En ella se exponen las necesidades de la potabilización de las aguas de mar, los tipos de procesos posibles para ello y una breve evolución de la Osmosis Inversa como proceso factible para el logro de este objetivo.

Capítulo 1: Generalidades. En este capítulo se exponen los conceptos fundamentales de la Osmosis Inversa como proceso de desalación y todos los elementos que involucra, haciendo especial incapié en la membrana, por ser el "corazón" del mismo alrededor del cual giran todos los demás elementos. Igualmente se presentan las ventajas y desventajas de este proceso comparado principalmente con el otro proceso económicamente válido y probado en la desalación de las aguas: la destilación.

Capítulo 2: Teorías del mecanismo de transporte a través de membranas. El proceso de Osmosis Inversa tiene tras de él muchas investigaciones científicas principalmente dedicadas hacia la obtención de los modelos matemáticos en los que se basa su comportamiento físico-químico. Aquí se exponen los principales desarrollos logrados hasta el momento y las distintas teorías de este mecanismo. Se menciona igual-

mente la teoría que se considera más válida en el desarrollo práctico de sistemas de Osmosis Inversa.

Capítulo 3: Selección y diseño del sistema de membranas. Una evaluación exhaustiva de las diferentes membranas existentes en el mercado para la selección de la mas idónea para una determinada aplicación es uno de los factores mas importantes a considerar en el diseño de una Unidad de Osmosis Inversa, ya que como se mencionó anteriormente, la membrana es el elemento primordial para la obtención de los mejores resultados. Aquí se expone un procedimiento innovador para la selección de la membrana mas idónea entre un grupo de alternativas presentadas. Además, una vez seleccionada la membrana, se presentan las curvas de operación de la misma bajo distintas condiciones de trabajo.

Capítulo 4: Pre y Post-tratamiento requeridos en una Planta de Osmosis Inversa. Una vez seleccionada la membrana, es necesario el diseño del sistema de protección de la misma dependiendo de las características específicas de la fuente de agua que se utiliza como alimentación. Este sistema es el pre-tratamiento de dicha agua para que no ocasione daños irreversibles a la membrana. Se exponen las técnicas de pre-tratamiento utilizadas normalmente y aquellas seleccionadas para esta Unidad específica tomando en cuenta los factores: espacio y efectividad. Conjuntamente se presentan los posibles post-tratamientos que pueden realizarse, sin embargo, en las condiciones normales de funcionamiento, el agua no requiere de la aplicación de ninguno de ellos. Se plantea un método práctico y gráfico para la determinación de la dosificación requerida bajo cualquier condición típica de trabajo del agua de alimentación.

Capítulo 5: Selección de los materiales. Los factores corrosión y resistencia son evaluados para la utilización de aquellos materiales mas idóneos en las distintas partes del equipo. Todos ellos deben estar capacitados para soportar lo que para ellos podrían llamarse las condiciones normales de operación, que implican el interactuar con un fluido

altamente corrosivo y además estar ubicados en ambientes marinos (también muy corrosivos). El factor resistencia es evaluado en las distintas partes del equipo que requieren su operación normal a alta presión y en aquellos casos que se requiera debido al factor "seguridad".

Capítulo 6: Sistema de manejo de los fluidos. El sistema de bombeo es el encargado de transmitir al fluido las condiciones mínimas (presión, caudal) que este debe poseer para que una vez se encuentre en contacto con la membrana, esta última trabaje correctamente. Por su parte, las tuberías son el medio de transporte del fluido a través de todo el sistema. En este Capítulo se dimensionan bombas, tuberías, válvulas de control y afines; se determinan las pérdidas de carga y se presentan las curvas propias del sistema de fluido en las condiciones de operación conjuntamente con las de las bombas para la determinación del punto de operación.

Capítulo 7: Recipiente contenedor de la membrana y sistema estructural de apoyo y rigidización. En este Capítulo se presentan los cálculos estructurales más críticos del sistema, requeridos para poder dimensionar la estructura de apoyo. Un elemento crítico es el recipiente contenedor de la membrana, el cual debe ser capaz de soportar las altas presiones sin presentar fallas de ningún tipo; las dimensiones de este son calculadas según normas de diseño específicas. Este también incluye un innovador sistema de cierre (o tapas laterales) mucho más sencillo que otros existentes en el mercado.

Capítulo 8: Sistema de control, monitoreo y alimentación eléctrica. Se establecen los puntos de control del sistema conjuntamente con las acciones que deben tomarse en caso de que cambien las condiciones de operación o se dé una señal de emergencia que requiera la detención del sistema. El control de la Unidad puede realizarse de una forma completamente automática que requeriría la aplicación de los conceptos de microprocesadores o de la forma tradicional que es prácticamente manual. Se incluyen los diagramas de alimentación y con-

trol conjuntamente con un diseño del tablero de control que comprende los elementos de visualización de las variables involucradas mas importantes.

Capítulo 9: Sistema de limpieza de la membrana. Este capítulo comprende todo lo relacionado con el lavado o limpieza a la que debe someterse la membrana una vez que sus características operativas se hayan salido del rango de control de la Unidad. En él se detallan procedimientos y diseño del equipo que va a ser utilizado para tal fin; este último incluye sistema de fluidos, estructural y de control del mismo adaptado al tipo y tamaño de membrana utilizada.

Capítulo 10: Concepción modular de la Unidad. En este Capítulo se presentan las características modulares de la Unidad, conjuntamente con el diseño del equipo que se requeriría para la conexión de varias unidades en paralelo en caso que se requieran mayores caudales de agua.

Conclusiones y Recomendaciones: Se presentan aquellas conclusiones que se consideraron importantes y los objetivos logrados en el trabajo. Se incluyen además aquellos puntos específicos relacionados con el proceso que podrían considerarse como una innovación para dejar fe escrita de estos logros alcanzados.

Bibliografía: se presentan en forma ordenada según el orden de utilización de la misma todos los textos y publicaciones consultados durante la realización de este trabajo especial.

Por último en los Apéndices se incluye aquella información que podría causar distracción en el proceso de lectura de este trabajo, no dejando por esto de ser importante para el lector.

En los Anexos se incluyen aquellas Normas Internacionales e informaciones técnicas que pueden ser útiles en caso de que se considere la construcción de la Unidad.

INTRODUCCION

La Tierra es un reservorio de enormes cantidades de agua, sin la cual la vida no existiría. El ciclo hidrológico tiene un rol irremplazable no solamente en el desarrollo vegetal o animal sino también en la evolución, civilización y el destino mismo del Ser Humano, ya que abundantes cantidades y alta calidad del agua promueven el desarrollo y establecimiento de actividades agrícolas e industriales, siendo así responsable del destino de comunidades, ciudades y naciones.

Sin embargo, el 99% de la suma total del agua que se encuentra en este planeta está bajo forma de hielo en las regiones polares o formando parte, como solvente, de una solución de sales en mares y océanos. Gran parte de la pequeña fracción remanente circula constantemente y llega a ser, en determinadas etapas, agua potable; parte de ella está atrapada bajo tierra y otra pequeña cantidad está distribuida en lagos, ríos y en la atmósfera.

Debido a la polución y a los incrementos en la población y por ende de sus necesidades, estas fuentes de agua comienzan a ser inappropriadas o insuficientes, por lo que es necesario desarrollar sistemas que potabilicen parte de las aguas de mares y océanos, ya que estos constituyen los más grandes reservorios de agua de los que se puede disponer para tal fin.

La separación del agua pura de estas soluciones salinas (minerales) no ocurre espontáneamente, por esto, en aquellas áreas de la Tierra en las que se requiera agua con un bajo contenido de minerales disueltos, es necesario crear regiones controladas en las cuales debe forcedarse el proceso de separación, para lo cual deben emplearse recursos externos que actúen como agentes impulsores y se opongan a la tendencia natural, aprovechando para ello los distintos tipos de energía (calórica, eléctrica, química, atómica, etc.)

Los procesos de conversión existentes hasta el momento pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- a.- Procesos en los que se promueve la separación del agua de la solución.
- b.- Procesos de extracción de las sales disueltas en la solución.

En el primer grupo se incluyen las distintas modalidades de Evaporación o Destilación, Cristalización y Osmosis Inversa, mientras que procesos como Electrodialisis, Intercambio Iónico, Adsorción y Difusión controlada están comprendidos en el segundo grupo.

De todos estos procesos, los que ya han encontrado aplicación práctica económicamente probada en la desalación de aguas de mares y océanos son la Destilación y la Osmosis Inversa. La Destilación fué hasta hace poco mas de veinte años el único proceso práctico y económico para lograr este objetivo; pero en la década de los años 60 comienza a experimentarse a nivel de laboratorio, pero con fines de ser aplicados e implementados a gran escala, la rama de procesos que tienen como elemento principal para lograr la separación a una membrana capaz de permitir el paso a través de ella del solvente, pero rechazar o retener un alto porcentaje del soluto disuelto en la solución con la que se pone en contacto; a este grupo de procesos pertenece la Osmosis Inversa.

Existen diferentes razones detrás del gran entusiasmo por la Osmosis Inversa, entre las cuales quizás la más importante sean los recientes desarrollos de membranas que combinan un alto rechazo de sales con una moderadamente alta permeabilidad al agua pura a presiones razonables. Otras razones son la simplicidad conceptual del método, que consiste esencialmente en el "filtrado" (por lo que en cierta bibliografía puede encontrarse con el nombre de "Hiperfiltración") del agua por medio de la aplicación de presión; operabilidad a temperatura ambiente, lo que tiende a minimizar los problemas de precipitación de sales y

corrosión; bajos requerimientos de energía, baja labor de mantenimiento; mínimo impacto ambiental por la disposición de la salmuera; tamaños compactos y operación modular.

El término Osmosis Inversa usualmente se aplica cuando las partículas que desean eliminarse son de magnitudes iónicas o moleculares, es decir, procesos en los cuales las moléculas de soluto y solvente tienen tamaños similares, por lo que no debe confundirse con otros procesos de filtración de macromoléculas o partículas coloidales. En la figura 1 puede observarse el rango de partículas en el que opera este proceso, comparado con el de otros procesos de filtración.

La tecnología de la desalación del agua de mar por Osmosis Inversa ha progresado firmemente durante los últimos años. Factores como: Salinidad (o concentración de sólidos disueltos) y temperatura del agua de alimentación, presión de alimentación y factor de recuperación o conversión de agua, son claves para la obtención de altas calidades del producto; por lo tanto, frecuentemente eran utilizados procesos en dos etapas ya que se disponía de elementos de membranas con insuficiente rechazo de sales y baja durabilidad operando a altas presiones y moderadas temperaturas. Hoy en día, debido a los avances logrados en el desarrollo de las membranas, pueden lograrse óptimas calidades de agua en procesos de una sola etapa, los cuales son más simples, compactos y a su vez se facilita la operación, el mantenimiento e igualmente se reducen los niveles de energía. A este tipo de plantas está dirigido el objetivo de este trabajo.

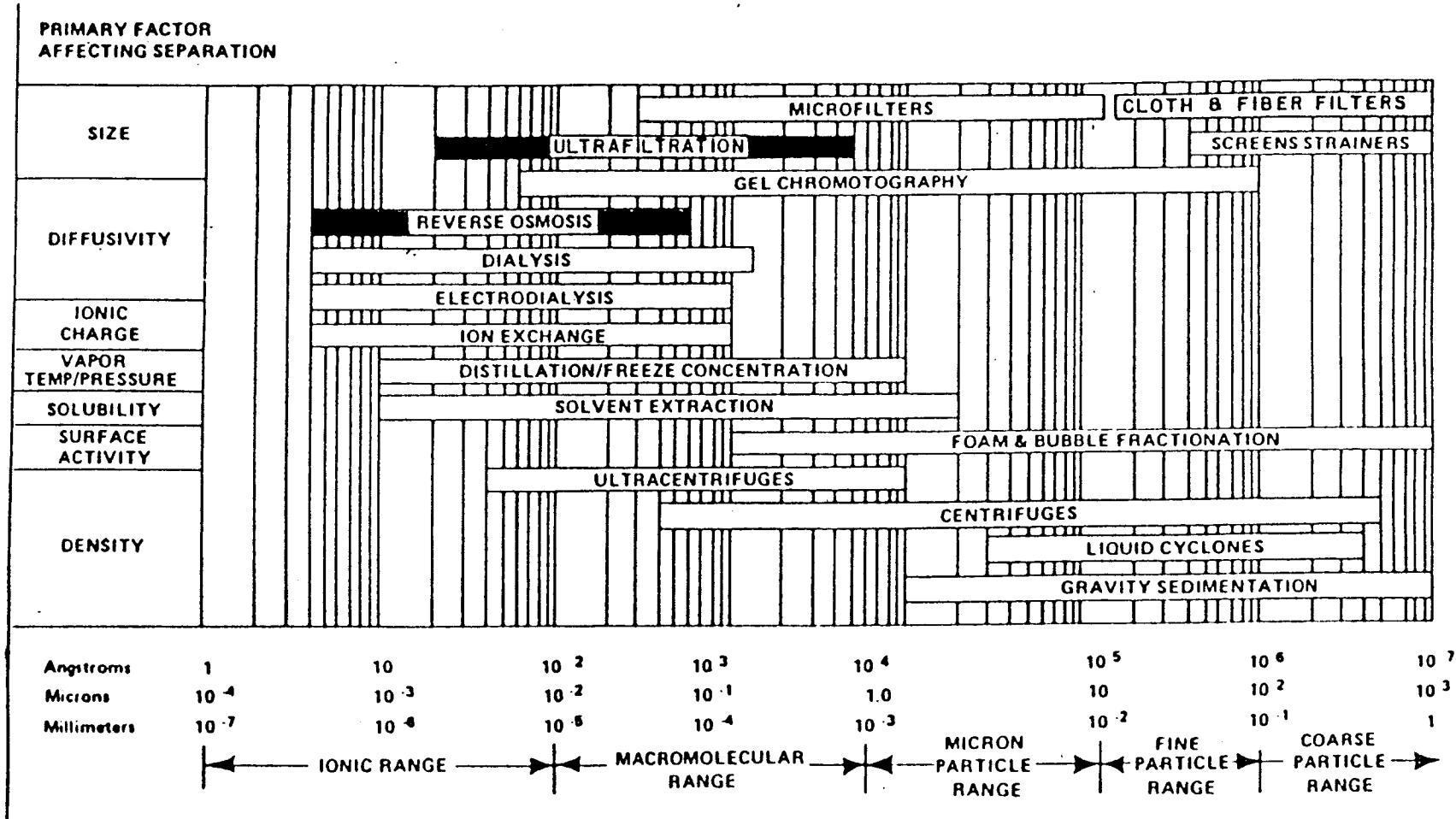


FIGURA 1

Rango de Operación del proceso de OSMOSIS INVERSA

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Principio de Operación del Proceso

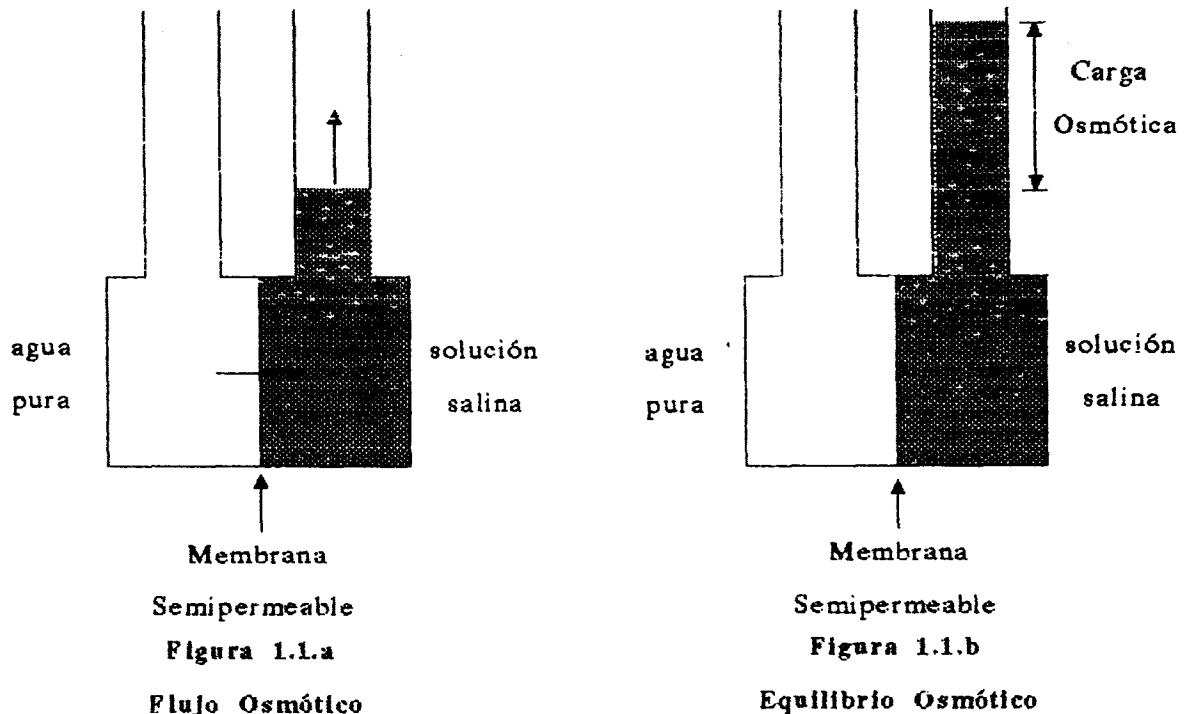
La Osmosis es un proceso físico-químico natural que ocurre en todas las células vivas. Se conoce desde hace más de 200 años, pero es apenas en los años sucesivos de la segunda mitad del siglo veinte cuando logra entenderse su principio de operación y se plantean fórmulas y modelos matemáticos que lo describen con gran precisión.

Antes de indicar en qué consiste dicho proceso, es conveniente definir el término Membrana Semipermeable, ya que es el medio a través del cual ocurre el proceso osmótico: es un tejido flexible, elástico y delgado (animal, vegetal o sintético) que puede ser atravesado o permite fácilmente el paso de un solvente (como el agua), pero rechaza o dificulta el flujo de la mayoría de los solutos iónicos o moleculares que se encuentran disueltos en el solvente¹.

El proceso de Osmosis tiene lugar cuando un determinado solvente fluye a través de una membrana semipermeable, que divide a dos soluciones con diferentes concentraciones, desde la solución más diluida hacia la solución más concentrada y el flujo de soluto es despreciable. Sin embargo, en membranas reales existe también un pequeño flujo de soluto, usualmente en dirección opuesta al flujo de solvente (es decir, desde la solución más concentrada hacia la más diluida) basado en el mecanismo de difusión², debido a que ninguna membrana es completamente selectiva. Una representación de este proceso está esquematizada

1 El mecanismo de rechazo de sales aún no se conoce con certeza, pero existen algunas hipótesis que serán expuestas en el capítulo siguiente.

2 Ver capítulo siguiente.

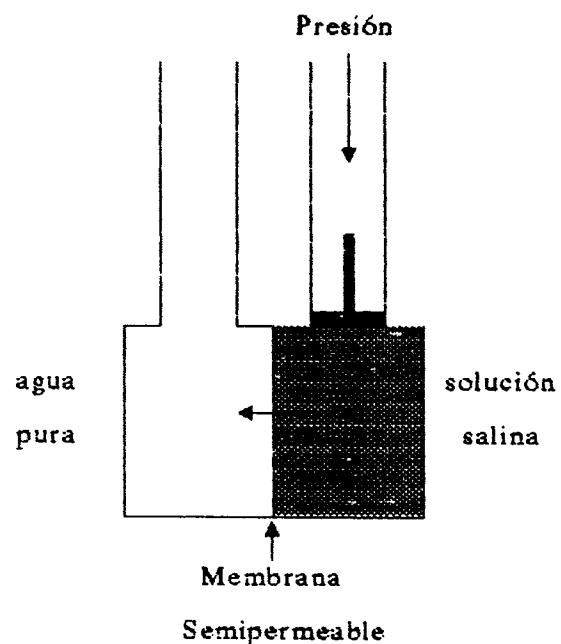


en la figura 1.1.a.

Este flujo natural ocurre hasta que se igualan las concentraciones o la presión (hidráulica, en el caso de la figura 1.1.b) alcanza un valor tal que se opone al agente impulsor del flujo, que se conoce con el nombre de Presión Osmótica, la cual depende de la concentración del soluto en la solución y la temperatura de la misma. En este momento existe un equilibrio osmótico y el flujo de solvente a través de la membrana es nulo (aunque sigue ocurriendo el pequeño flujo de sales debido a las diferentes concentraciones a ambos lados de la membrana).

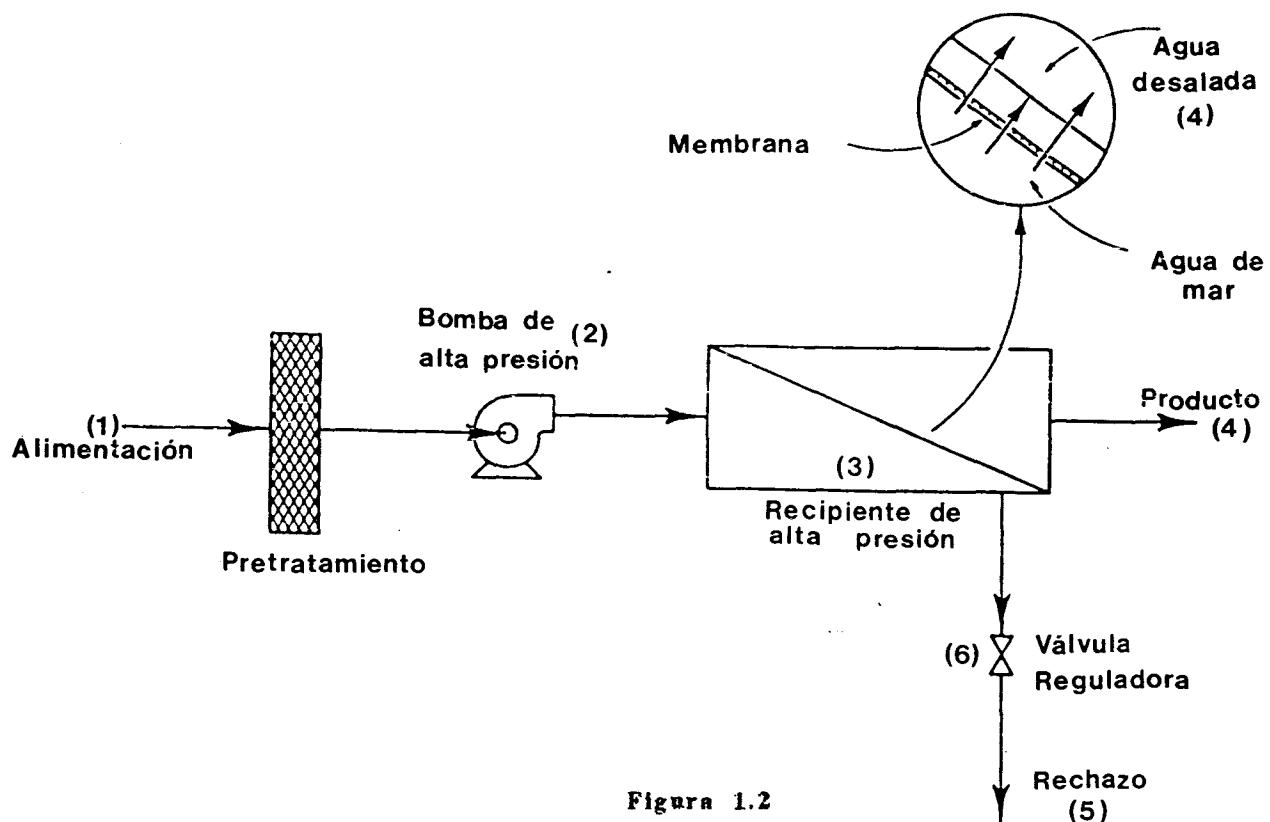
Si la solución de mayor concentración se encuentra en un compartimiento cerrado y se le aplica una presión superior a la presión osmótica, se revierte la dirección del flujo de solvente, tal como se indica en la figura 1.1.c. Este proceso es llamado Osmosis Inversa, pero debe notarse que no es totalmente inverso con respecto a la ósmosis natural, ya que el flujo de soluto se dirige en el mismo sentido inicial. Se obtiene así por un lado una solución más diluida y por el otro un aumento en la concentración del soluto.

A través de este sencillo proceso de "filtración molecular", es posible remover hasta un 95-99.5% de los minerales disueltos, 95-97% de compuestos orgánicos y más de un 98% de materia biológica y coloidal del agua, lo que lo hace muy competitivo en la desalación de aguas de mares y océanos.



Para que este fenómeno tenga aplicación práctica en la desalación de las aguas u otras aplicaciones, debe ser la base para la implementación de un proceso continuo, a través del cual pueda obtenerse agua potable sin tener que detenerlo para la extracción de la misma del sistema. La figura 1.2 representa esquemáticamente y simplificadamente como opera este proceso: La solución de alimentación (1) es continuamente presurizada y bombeada (2) hacia el recipiente que contiene a la membrana (3), el cual tiene que ser capaz de resistir altas presiones; el agua pura fluye a través de la membrana conjuntamente con una pequeña cantidad de sales (4); a este flujo se le conoce con el nombre de producto o permeado y es extraído continuamente del recipiente, generalmente a presión atmosférica. Por otra parte se extrae la solución concentrada presurizada, llamada rechazo o salmuera (5), la cual es llevada a presión atmosférica a través de una válvula reguladora (6).

Figura 1.1.c
Osmosis Inversa



El flujo de la zona de alta presión de la membrana es sumamente importante, debido a que es el responsable del barrido de las sales rechazadas; si este barrido no es efectivo, aumenta considerablemente la concentración de sales en la interfase membrana-solución, aumentando la presión osmótica e igualmente se corre el riesgo de que ocurra la precipitación de dichas sales sobre la membrana, lo que provocaría una disminución de su capacidad de operación. A este fenómeno se le conoce con el nombre de **Polarización de la Concentración**.

La válvula reguladora a su vez controla la conversión del sistema, es decir, el porcentaje de la solución de alimentación que se recupera como Permeado.

El caudal de agua purificada depende de varios factores intrínsecos de la membrana: constitución química, espesor y área. También depende de la temperatura de la solución y de la presión neta de trabajo (diferencia entre la presión externa a la que se somete el sistema y la presión osmótica de la solución). La pequeña cantidad de sales disueltos

que pasa a través de la membrana es función, al igual que el flujo de agua, de los mismos factores intrínsecos de la membrana y de la diferencia de concentraciones entre las soluciones con las que esta se encuentra en contacto, pero es independiente de la presión neta de trabajo.

1.2.- Membranas de Osmosis Inversa

El éxito de un proceso de desalación por Osmosis Inversa depende ampliamente de las propiedades de la membrana que se utilice; debido a ello, en los últimos años ha prevalecido la tendencia de diferenciar las membranas de Osmosis Inversa de las membranas semipermeables corrientes utilizadas en los procesos de ósmosis.

Las características más resaltantes que requieren los materiales que componen a este tipo de membranas son:

- Alto rechazo de sales, combinado con una alta premeabilidad al agua.
- Alta resistencia, ya que con ellos deben formarse membranas muy delgadas.
- Amplios rangos de operación con respecto a presión y temperatura.
- Resistencia a ataques químicos y biológicos para obtener una larga vida útil.
- Bajo costo.

El acetato de celulosa fué el primer material utilizado para la fabricación de las membranas de Osmosis Inversa no experimentales debido a sus buenas características de rechazo, especialmente cuando las concentraciones de la solución de alimentación no son muy elevadas. Estas primeras membranas eran planas y de espesores considerablemente

mayores a las utilizadas hoy en día, ya que su estructura debía ser capaz de soportar las altas presiones de operación a las que eran sometidas para obtener características de rechazo de sales aceptables, sin embargo este factor era contraproducente para el caudal de agua producto que se podía obtener de ellas debido a su gran resistencia al flujo del mismo. La consecuencia de esto era su bajo rendimiento, lo que ponía a la Osmosis Inversa en considerable desventaja a nivel económico con respecto a los procesos de desalación por Evaporación, unido esto a las altas calidades de agua obtenidas por estos últimos, las cuales no era posible obtener a través de membranas. El rechazo oscilaba entre el 60% y el 85% dependiendo del tipo de molécula, siendo mayor para las grandes moléculas orgánicas y disminuyendo progresivamente hasta llegar a los valores mínimos para iones disueltos (Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , etc.)

Posteriormente se desarrolló la técnica de fabricación de las membranas asimétricas, formadas por una estructura de acetato de celulosa muy porosa, adosada a una capa extremadamente delgada y densa del mismo material que le confería excelentes características de rechazo sin perjudicar notablemente al flujo del producto (debido al bajo espesor de la misma). Por su parte, la estructura porosa era capaz de dar rigidez a la membrana para soportar las altas presiones de operación oponiendo una menor resistencia al flujo. Con este tipo de membranas se disminuyeron significativamente las presiones de operación y se produjo un aumento considerable en las características de rechazo de las membranas (90%-97%). Sin embargo se mantuvieron ciertos problemas que no eran capaces de ser resueltos:

- * El acetato de celulosa, aunque excelente en el rechazo de sales, no es el más idóneo como elemento estructural de soporte, por lo tanto es compactado por efecto de las altas presiones de operación (principalmente las estructuras muy

porosas), aumentando así su resistencia al paso del fluido y disminuyendo considerablemente su productividad con el paso del tiempo. Este efecto es incrementado si acompaña con temperaturas del fluido superiores a 35° C.

- * Este material es susceptible a la degradación microbiológica, ya que es atacado y digerido por ciertos micro-organismos comunes.
- * Es atacado con facilidad por elementos fuertemente oxidantes como el Cl₂, el cual puede estar presente en el agua en concentraciones capaces de promover la degradación de la membrana.
- * El pH de operación y de almacenamiento debe mantenerse inferior a 6 debido a que el acetato de celulosa puede "hidrolizarse", es decir convertirse nuevamente en celulosa en presencia de los iones OH⁻. Esto reduce considerablemente la vida útil de las membranas.

Estas membranas aún hoy en día se utilizan para purificar aguas salobres con bajo contenido de sólidos disueltos y bajo condiciones muy controladas del agua de alimentación.

Posteriormente desarrollaron membranas asimétricas fabricadas a partir de polímeros sintéticos, resultando las poliamidas los más adecuados debido a que su capacidad para el rechazo de sales es superior al acetato de celulosa (95%-98%). Conjuntamente se lograron obtener mayores productividades ya que este tipo de membranas puede ser mucho más delgada debido a la mayor resistencia mecánica de las poliamidas. Este factor es de notable importancia en la durabilidad de las membranas porque se reduce también el efecto de compactación de las mismas.

Las poliamidas tampoco son susceptibles a la degradación biológica y a la hidrólisis, aunque presentan el mismo problema que el acetato de celulosa en presencia de agentes oxidantes en el agua de alimentación.

Con la introducción de las poliamidas en el campo de la Osmosis Inversa se desarrolló con éxito un nuevo concepto de membranas: "las fibras huecas" (figura 1.3). Debido a la estructura tubular de estas membranas (que les transmite una mayor resistencia mecánica para soportar las altas presiones), se reducen considerablemente los espesores de las mismas, disminuyendo así su resistencia al paso del flujo y aumentando su productividad. Con estas membranas puede lograrse un rechazo de sales promedio de hasta 98,5% con valores máximos cercanos al 99,2%. Este tipo de membranas son fabricadas a partir de poliamidas aromáticas asimétricas. En el punto siguiente se da una descripción más detallada del comportamiento y las aplicaciones de este tipo de fibra.

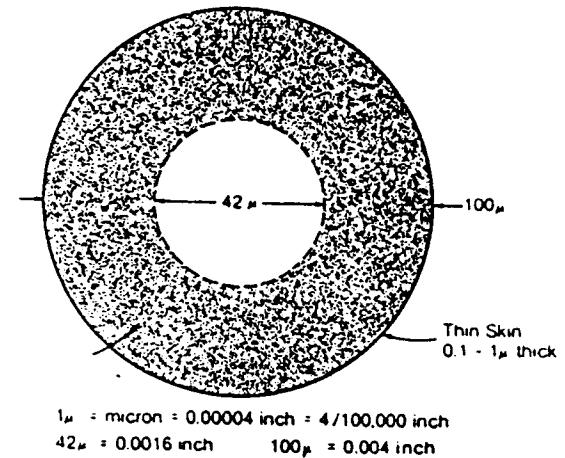


Figura 1.3
Corte transversal de una fibra hueca

Los desarrollos más recientes en la ciencia de los polímeros han dirigido al proceso de búsqueda de nuevas técnicas de fabricación de membranas hacia el objetivo de combinar la alta resistencia mecánica de algunos polímeros con el excelente rechazo de sales de otros. Surgieron así las membranas planas del tipo compuesto, las cuales poseen una capa extremadamente densa (idealmente no porosa) y ultradelgada que cubre a una segunda lámina llamada "capa de transporte", ambas soportadas a su vez por un tercer polímero que le da estabilidad al conjunto. El espesor global de estas membranas está en el orden de 30-50 micrones.

Los polímeros más frecuentemente utilizados en la fabricación de estas membranas son: poli(eter/amidas) entrecruzadas para la capa densa, poli(eter/amidas) para la capa de transporte y polisulfonas porosas como material de soporte, acompañados a veces por un tejido de resfuerzo. Utilizando esta combinación se ha logrado obtener altas productividades a presiones razonables conjuntamente con un rechazo de sales máximo de 99,8% y valores promedio de este que oscilan alrededor de 99,2%.

Estas membranas prácticamente no presentan compactación progresiva en el tiempo sino solamente al ser presurizadas por primera vez (trabajando dentro de los límites de presión recomendados por el fabricante); soportan un amplio rango de pH (3-11) y temperaturas de operación (hasta 45° C); no son atacadas por microrganismos y solamente son degradables químicamente por el efecto de agentes fuertemente oxidantes como el Cl₂ y el KMnO₄, por lo que la vida útil de las mismas es considerablemente mayor a las "viejas" membranas de Acetato de Celulosa.

Todos estos avances logrados a través de los años colocan a la Osmosis Inversa a la par de los procesos de Evaporación para la desalación de aguas de mares y océanos.

1.3 Configuración Modular de las Membranas.

Para que un sistema de Osmosis Inversa sea económicamente productivo, deben aplicarse altas presiones para así superar la presión osmótica de la solución (especialmente cuando se trabaja con agua de mar) y alcanzar altos valores de presión neta de trabajo. Esto hace necesario el empleo de dispositivos que soporten estas altas presiones y a su vez provean a las membranas del adecuado soporte mecánico. Conjuntamente con esto, como el flujo de agua a través de la membrana

es directamente proporcional a su área e inversamente proporcional a su espesor, es deseable construir módulos con la mayor área de membrana posible por unidad de volumen y a su vez que esta posea el menor espesor posible.

Estas y otras consideraciones con distintos grados de importancia han sido tomadas en cuenta en el diseño de las configuraciones o módulos usados hoy en día en los sistemas que operan según el principio de Osmosis Inversa, los cuales pueden clasificarse en:

- a.- Plato y marco;
- b.- Tubular;
- c.- Enrollamiento en espiral;
- d.- Haz de fibras huecas.

1.3.1.- Configuración de Plato y Marco (tipo filtro Prensa).

Los primeros ingenieros que experimentaron en el campo de la Osmosis Inversa vieron el gran potencial que tenían los procesos de separación por membranas de ser considerados como una Operación Unitaria, por lo que notaron la similitud existente entre este nuevo proceso con otra Operación Unitaria ya ampliamente conocida, la Filtración. Construyeron entonces módulos de Osmosis Inversa similares a los filtros Prensa de Platos y Marcos, en los cuales la membrana es soportada por un plato

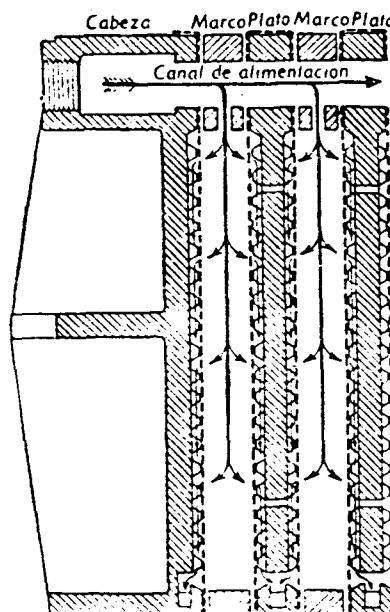


Figura 1.4
Configuración tipo "Filtro Prensa"

poroso y liso. Estos grupos están alternados con marcos espaciadores provistos de los respectivos canales para los flujos de alimentación, permeado y salmuera como se indica en la figura 1.4.

Algunas desventajas que presentó inicialmente este tipo de configuración eran:

- * Las membranas, por excesivo manejo en el montaje y desmontaje, fallaban con frecuencia debido a la delicada naturaleza de las mismas.
- * Altos costos de mantenimiento al ocurrir fallas de las membranas.
- * Baja relación entre el área de la membrana y el volumen ocupado, por lo que los sistemas eran excesivamente voluminosos.

Hoy en día estas desventajas han sido superadas con la excepción de la baja relación área/volumen por lo que esta configuración no es utilizada en los sistemas de desalación de agua, aunque tiene algunas aplicaciones en la Industria Alimenticia y Farmacéutica debido a su gran facilidad para ser lavadas y esterilizadas.

1.3.2.- Configuración Tubular.

La membrana de Osmosis Inversa es insertada o moldeada en el interior de un tubo poroso o perforado, resistente a altas presiones; usualmente se inserta un material de soporte poroso entre la membrana y el tubo. La solución bajo presión se introduce dentro del tubo a través de uno de sus extremos; el producto atraviesa a la membrana y a la pared del tubo y es recolectado en el exterior. La salmuera fluye por el interior del tubo hasta salir por el otro extremo del mismo.

Esta configuración tuvo gran impulso comercial a finales de los años 60, ya que debido a su facilidad de limpieza y capacidad de tratar fluidos turbios y con altos contenidos de sólidos, encontró grandes aplicaciones en la Industria Alimenticia y Farmacéutica como también en las Separaciones Químicas.

Con esta configuración se mejoró la relación de área de membrana por unidad de volumen con respecto a la anterior, pero aún se mantiene baja, lo que la hace muy costosa e impráctica para la desalación de grandes volúmenes de agua.

Generalmente son ensamblados en módulos que pueden interconectarse en serie o en paralelo, según la conveniencia, la capacidad y las necesidades de una determinada aplicación.

Otra desventaja de esta configuración es el alto costo de la estructura de soporte por unidad de área de la membrana. Una forma de reducir este costo es aprovechando la mayor resistencia que tiene la estructura tubular a compresión, colocando la membrana en el exterior del tubo; así el agua se alimenta por el exterior del tubo y el producto es removido por su interior.

1.3.3.- Configuración en Espiral.

Este tipo de módulos son ensamblados a partir de dos membranas planas rectangulares, las cuales están separadas y soportadas por una lámina de material poroso (usualmente una fibra bastante compacta). Este grupo está sellado a lo largo de los dos lados longitudinales y uno de los extremos formando un "sandwich" con la lámina de material de apoyo. El otro extremo es sellado a un tubo perforado o poroso, el cual recolectará el permeado proveniente de las membranas. Un tejido espaciador es colocado sobre una cara de este grupo, el cual es enrollado alrededor del tubo colector formando así el módulo. El flujo de

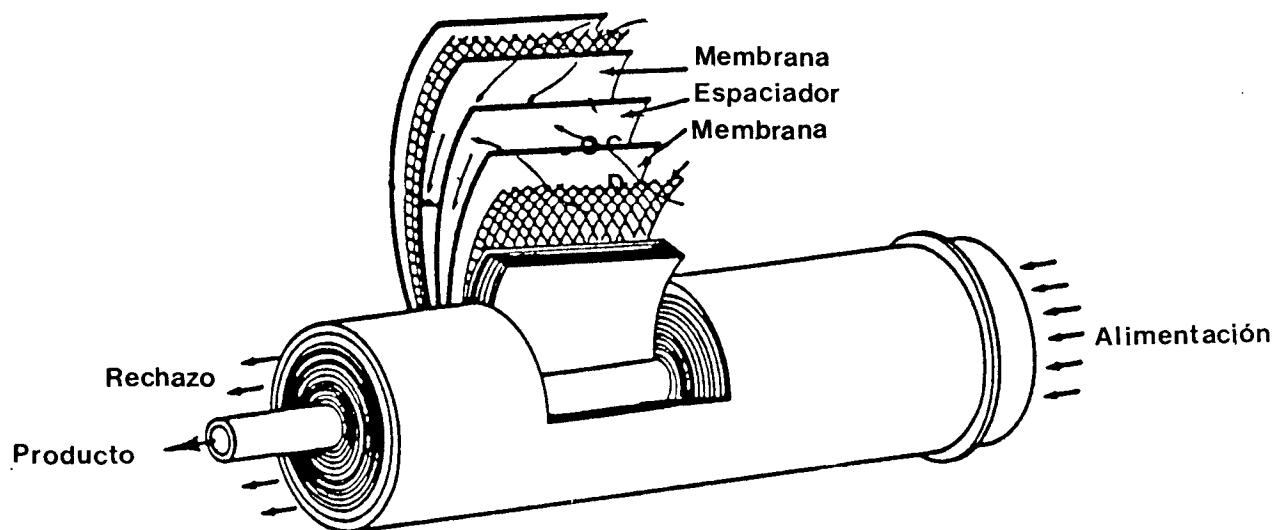
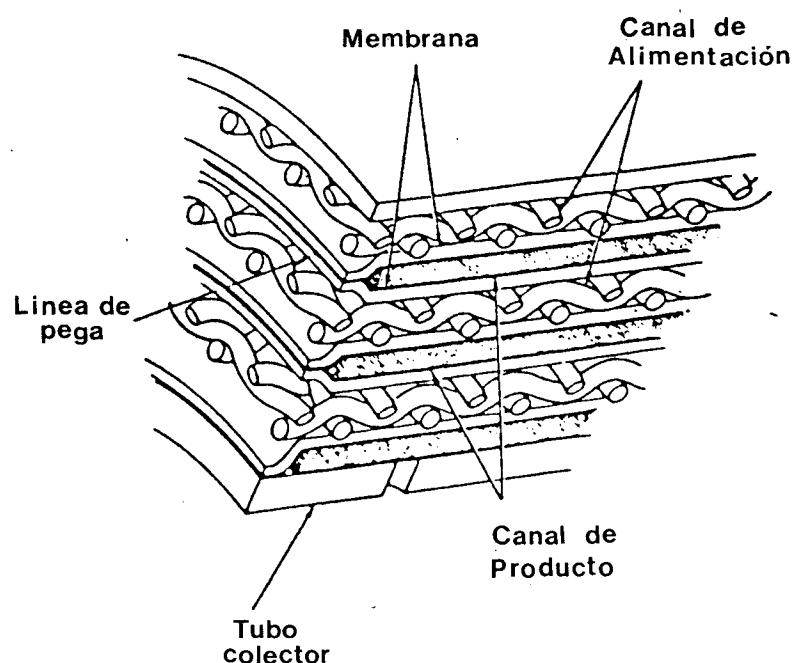


Figura 1.5
Configuración en espiral

alimentación presurizado entra axialmente y circula por el espacio existente entre las membranas a través del tejido espaciador, concentrándose cada vez más a medida que pasa a través del elemento para salir por el lado opuesto como salmuera. El producto atraviesa la membrana, circula por la lámina de soporte poroso hasta pasar al tubo colector y salir del módulo axialmente. La figura 1.5 da una visión más clara de este tipo de configuración.

Este tipo de módulos poseen una alta relación de área de membrana por unidad de volumen con respecto a los Tubulares; a su vez, el costo de la estructura de soporte por unidad de área es mucho menor.

Uno o más módulos interconectados en serie son colocados en el interior de recipientes cilíndricos provistos de los respectivos canales para la alimentación y las salidas del producto y la salmuera. Estos recipientes a su vez, pueden conectarse en serie o en paralelo según los requerimientos, cantidades y calidades de agua deseadas.

1.3.4.- Configuración en haz de Fibras Huecas.

El concepto de fibra hueca surge de las membranas tubulares sometidas a compresión, a las cuales, reduciéndole significativamente el diámetro se les aumenta la relación de área por unidad de volumen. Estas a su vez son agrupadas en haces que pueden contener millones de fibras de diámetros similares a los de un cabello. Las dimensiones de estas fibras están reflejadas en la figura 1.6.

Están fabricadas generalmente de Poliamidas Aromáticas y pertenecen a la familia de membranas asimétricas, ya que poseen una capa densa externa con un espesor que oscila entre 0,1 y 1 micras. Fibras de este tamaño conjuntamente con una relación de diámetro externo a interno de aproximadamente 2:1 pueden soportar altos esfuerzos com-

presivos debidos a altas presiones externas, sin colapsar, por lo que son las únicas membranas de Osmosis Inversa que no requieren de un material de soporte.

Para formar el módulo, el hálz de fibras es doblado en forma de "U" y sellado en un disco epóxico que le da estabilidad mecánica. Por el otro lado, los terminales de las fibras son sellados en otro disco epóxico, sobre el cual se realiza un mecanizado para lograr la apertura de todos los extremos de las fibras. Este manojo de fibras es colocado alrededor de un tubo poroso y todo el grupo insertado en un recipiente cilíndrico como se presenta en la figura 1.6.

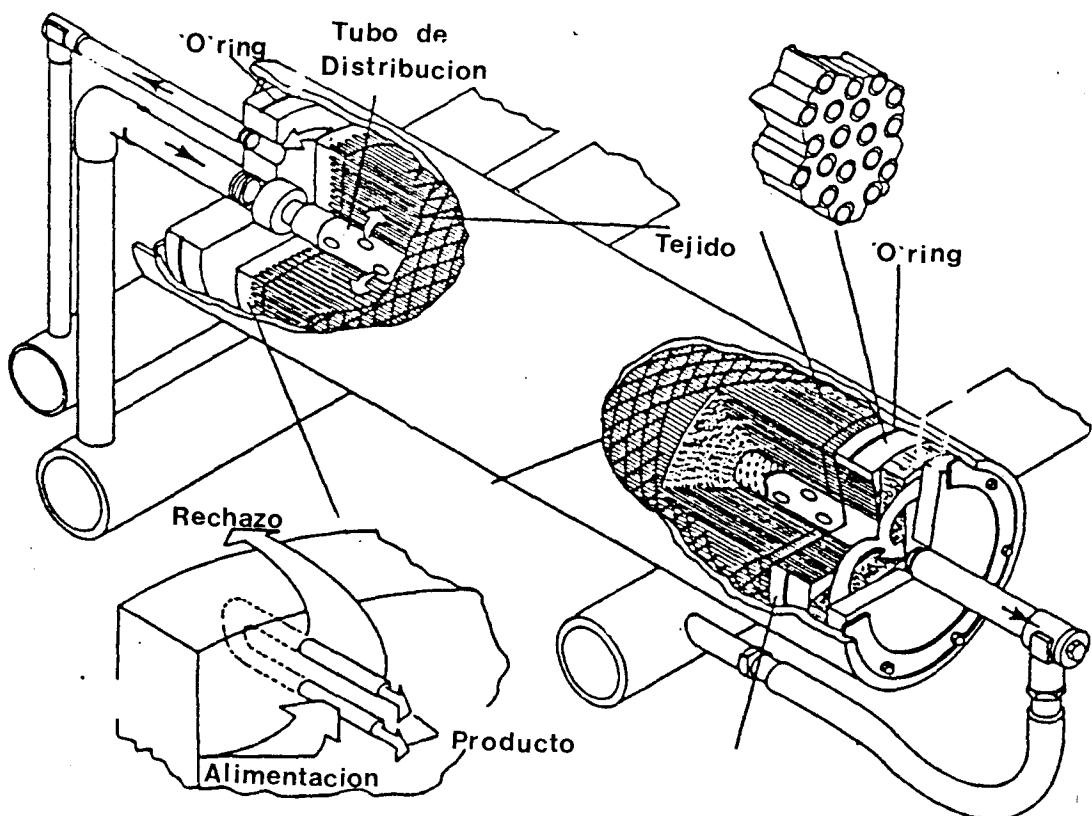


Figura 1.6
Configuración en haz de fibras huecas

El flujo bajo presión entra al módulo y pasa al distribuidor poroso de donde sale radialmente hacia las fibras. Al entrar en contacto con estas, el agua atraviesa la membrana, fluye por el centro de cada fibra hacia un colector poroso y sale finalmente del Permeador® (nombre que Dupont da a sus módulos de membranas para Osmosis Inversa). La salmuera, debido a una diferencia de presiones pasa a través de un anillo formado entre el recipiente y el disco epóxico que soporta la parte cerrada de las fibras huecas, hacia la cámara de salida y posteriormente sale del módulo.

Estos módulos tienen una muy baja productividad por unidad de área de membrana, compensada por una muy alta relación de área por unidad de volumen, debido a lo cual son muy compactos. Sin embargo son susceptibles a un fácil ensuciamiento ya que las velocidades del flujo en su interior son bajas comparadas con las que se alcanzan en los módulos de membranas enrolladas en espiral; igualmente son difíciles de limpiar. Por estas razones requieren de un buen pre-tratamiento del agua antes de ser introducida al sistema.

Las configuraciones utilizadas universalmente en la desalación del agua de mar son las de Membranas enrolladas en Espiral y Haces de Fibras Huecas debido a la alta productividad que poseen por unidad de volumen, aunque todas tienen sus ventajas, desventajas y aplicaciones más idóneas dependiendo de las características del fluido que se desea manejar, del sistema y de los resultados deseados.

1.4.- Ventajas, Desventajas y Aplicaciones de la Osmosis Inversa.

Las ventajas que presenta el proceso de Osmosis Inversa en la desalación de mares y océanos se evidencian por si mismas, aunque para concluir es importante hacer una breve reseña de las mismas:

- * **Bajo consumo de energía:** solamente es necesario presurizar al fluido de operación dentro del recipiente que contiene a la membrana para que el proceso comience a ocurrir.
- * **Baja precipitación de sales:** debido a la alta concentración de sales disueltos en el agua de mar, al tratar de extraer el agua con la mínima cantidad posible de estos, los restantes tienden a precipitar; este efecto es agravado a altas temperaturas (utilizadas en la Evaporación). Como en la Osmosis Inversa se trabaja a temperaturas ambientales, se reduce considerablemente la posibilidad de precipitación de dichas sales.
- * **Simplicidad del Sistema:** compuesto básicamente por el sistema de bombeo y las membranas, aunque a veces es necesaria la implementación de un Pre-tratamiento y un Post-tratamiento para minimizar ciertos problemas operativos.
- * **Sistemas de control y medición no muy sofisticados:** equipos sencillos para el control de procesos.
- * **Tamaños variables:** pueden ser muy compactos (para uso familiar) hasta enormes plantas que abastecan de agua a Industrias y poblaciones enteras.
- * **Operación modular:** lo que permite la utilización de alguna de las unidades mientras otras están paradas; esto contribuye con la confiabilidad del servicio.

- * Bajos problemas Operativos y de Mantenimiento: debido a la sencillez del sistema, al tipo de energía requerida y a los rangos de temperaturas de operación, este tipo de Plantas es muy fácil de operar y se reducen significativamente las labores de Mantenimiento.

Las desventajas de este proceso con respecto a la Evaporación son:

- * La calidad del producto suele ser inferior. Para igualarla es necesaria la implementación de la Osmosis Inversa en varias etapas.
- * Menores volúmenes de agua producidos.
- * Menor factor de conversión del agua de alimentación.

La Osmosis Inversa puede ser utilizada para muchos usos y no solamente para la conversión del agua de mar en agua potable. Ante todo, la utilización y usos que pueden darse al agua puede ser muy diversos, de acuerdo a lo cual la calidad del agua podrá ser mejor o peor. La fuente u origen del agua que se desea purificar también puede ser muy variada, desde aguas duras salobres y con relativamente bajas cantidades de sales disueltos, hasta el agua de mar, pasando también por aguas cloacales con grán cantidad de materia orgánica.

Se conocen casos de que el agua producto sea utilizada en:

- * Industrias de alimentos;
- * Industrias de componentes electrónicos;
- * Centrales termoeléctricas;
- * Industrias de productos químicos;
- * Suministro de agua a pueblos y ciudades;
- * Creación de lagos artificiales a partir de aguas negras;
- * etc.

Además de la purificación del agua, la Osmosis Inversa es utilizada en la purificación de sustancias y productos químicos.

También se utiliza para el proceso contrario a la purificación, es decir la concentración de ciertas sustancias como en el caso del "licor" diluido en las Plantas de "Pulpa y Papel" y los jugos en la Industria Alimenticia.

Capítulo 2: Teorías del Mecanismo de Transporte a través de Membranas.

2.1.- Relaciones Termodinámicas entre Potencial Químico y Presión Osmótica.

En condiciones isotérmicas, la dirección del transporte preferencial del solvente a través de una membrana de Osmosis Inversa es siempre desde la solución con potencial químico mayor hacia aquella de menor potencial. En estas condiciones, el potencial químico depende únicamente de la presión a la que se somete una determinada solución y de la concentración de sales disueltos en la misma. En base a dicho transporte del solvente en función del gradiente de potencial químico, los distintos procesos que pueden ocurrir a través de membranas semipermeables pueden esquematizarse en la Figura 2.1.

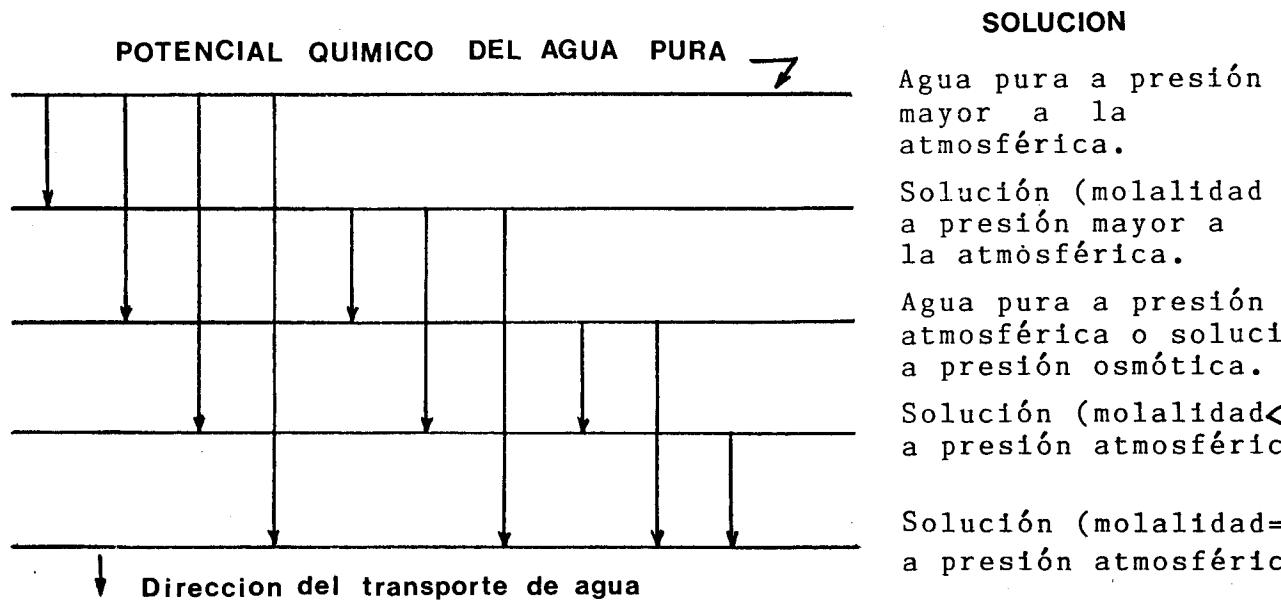


Figura 2.1
Procesos que pueden ocurrir a través de membranas
según los niveles de potencial químico.

Para alcanzar nuevamente el equilibrio osmótico, es necesario incrementar la presión sobre la solución hasta un nuevo valor p_2 , para el cual el potencial químico del agua en la solución se iguala nuevamente al del agua pura. Este aumento debido al incremento de presión entre p_1 y p_2 se obtiene a partir de la Ecuación 2.1 resultando:

$$\mu_{w1} = \mu_{w2} \quad (2.3)$$

El sub-índice 1 indica la referencia al agua pura mientras que el 2 corresponde a la solución acuosa.

$$\mu_{w^*} = \mu_{w^*} + RT \ln a_w + \left[V_w dP - \int_{T_1}^{T_2} S dT \right] \quad (2.4)$$

por lo tanto, para condiciones isotérmicas:

$$\mu_{w^*} = \mu_{w^*} + RT \ln a_w + \int_{P_1}^{P_2} V_w dP \quad (2.5)$$

$$- RT \ln a_w = \int_{P_1}^{P_2} V_w dP \quad (2.6)$$

Debido a que el agua puede considerarse incompresible en estas condiciones de presión y temperatura; V_w se supone constante y la ecuación (2.6) se reduce a:

$$\bar{V}_w (p_2 - p_1) = - RT \ln a_w \quad (2.7)$$

A la diferencia de presiones ($p_2 - p_1$) se define con el nombre de Presión Osmótica (Π) de la solución, entonces:

$$\bar{V}_w \Pi = -RT \ln a_w \quad (2.8)$$

La actividad del agua de una solución (a_w) se obtiene a partir de la relación:

$$a_w = p_w/p_w^* \quad (2.9)$$

donde: p_w = presión de vapor del agua en equilibrio con la solución;

p_w^* = presión de vapor del agua pura.

Ambas a la misma temperatura.

La actividad del agua puede determinarse también como una función de la molalidad de la solución a través de la ecuación de Gibbs-Duhem¹, en la cual interviene un coeficiente osmótico (Φ) definido para un gran número de soluciones acuosas:

$$\ln a_w = - i^* m^* M^* \Phi / 1000 \quad (2.10)$$

donde: i = número de iones en los que se divide un mol de soluto;

m = molalidad de la solución;

M = peso molecular del agua;

Φ = coeficiente osmótico.

Sustituyendo en la ecuación 2.8 se obtiene la presión osmótica en función del coeficiente osmótico y de la densidad del agua:

$$\Pi = i^* R^* T^* p_w^* m^* \Phi / 1000 \quad (2.11)$$

Esta ecuación tiene utilidad práctica cuando en una solución hay solamente una clase de sal disuelta, pero no puede aplicarse al agua de mar que es una solución con múltiples sales disueltas, debido a ello, para estos casos es más práctica la utilización de las ecuaciones 2.8 y 2.9 para la determinación de la Presión Osmótica.

2.2.- Descripción general de los Procesos de Separación a través de membranas.

Para el proceso de Osmosis Inversa, las propiedades más importantes de las membranas son las relacionadas con el transporte, específicamente la difusividad y permeabilidad del soluto y del solvente; además, el equilibrio de solubilidades de los elementos de la solución en la fase membrana juega un papel muy importante en el mecanismo de separación.

La permeación es un fenómeno que consiste en la transferencia de masa a través de un medio determinado, no solamente por difusión sino por una gran variedad de mecanismos de transporte, debido a la influencia de agentes externos e ese medio. En el caso de la Osmosis Inversa estos agentes son el gradiente de las concentraciones y el gradiente de las presiones, tal como se mencionó anteriormente.

Debido a que el mecanismo de transporte a través de membranas no es conocido con certeza, prácticamente se utiliza el término "permeabilidad" como especificación típica de las membranas. De esta forma pueden usarse las condiciones de las soluciones de alimentación y producto para determinar la permeabilidad de la misma, descuidando el mecanismo de transporte de masa que ocurre en las capas límites de ambas superficies de la membrana y en el interior de la misma.

Por otra parte la difusividad no es fácil de determinar, ya que es necesario conocer las concentraciones de cada componente de la solución en cada instante, dentro de la membrana. Además, debido a que la estructura de la membrana es microporosa, donde los poros son del mismo orden de magnitud que las moléculas de soluto y/o solvente, el proceso de difusión molecular está limitado por el efecto de las paredes de los poros; por lo tanto para los procesos de separación por membranas es necesario definir la "difusividad efectiva o aparente", cuyo valor es generalmente de varios órdenes de magnitud menor a la difusividad

molecular y cercana a los valores de difusividad en sólidos¹.

En general, en un proceso de transferencia de masa a través de una membrana asimétrica o compuesta pueden identificarse las regiones indicadas a continuación y esquematizadas en la figura 2.2.

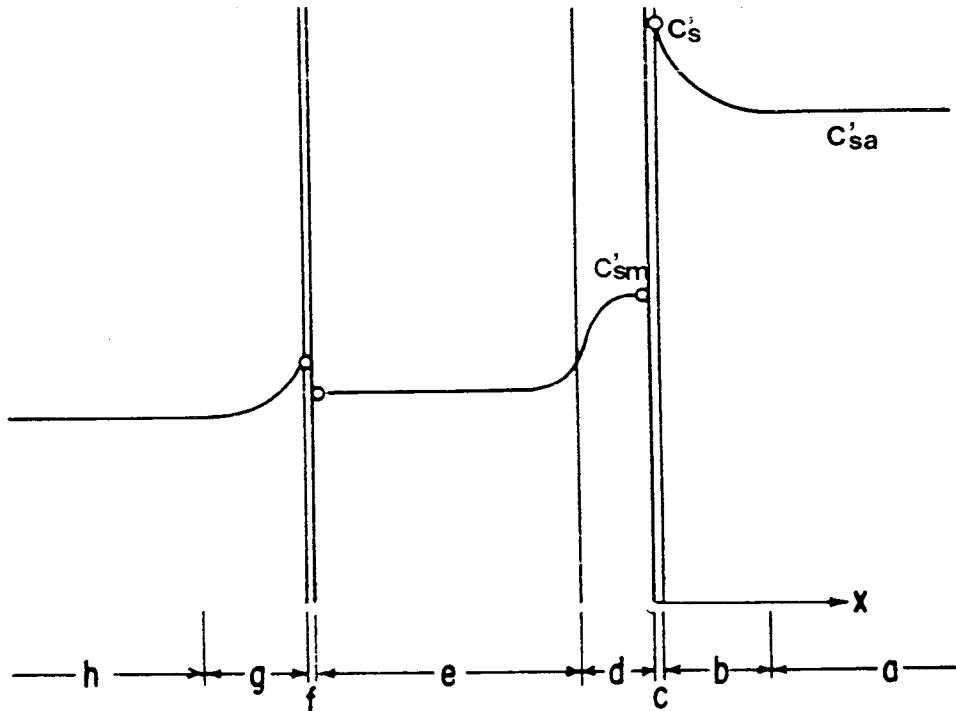


Figura 2.2

Representación esquemática del proceso de transporte

a.- Región I:

En esta región la concentración del soluto (C'_{sa}) es uniforme, es decir no hay un gradiente de concentración en dirección normal a la superficie de la membrana.

1 M. SOLTANIEH, W. GILL. "Review of Reverse Osmosis Membranes and transport models" - Chemical Eng. Communication - Vol.12 - pp. 279-363 - G & B, Science Publishers, Inc. 1981 - U.S.A.

Tanto la concentración de la solución como la presión son mayores en este lado de la membrana.

b.- Capa límite de la Región I:

El transporte de masa a través de esta región es unidireccional y normal a la superficie de la membrana. El soluto rechazado por la membrana, aumenta la concentración de la capa adyacente a esta y se difunde hacia la región "a". Este aumento de concentración se conoce con el nombre de "polarización de concentración" y es un fenómeno no deseable, ya que reduce fuertemente la eficiencia de un sistema. Cualquier forma de facilitar el proceso de difusión del soluto hacia la región "a" incrementa el flujo de solvente a través de la membrana y el rechazo de sales de la misma.

c.- Región Superficial I:

En esta región ocurren dos procesos diferentes:

- 1.- Debido a las imperfecciones de la membrana y los pequeños poros de su superficie, el solvente y los solutos se difunden a través de ella.
- 2.- Adsorción de solutos y solventes al interior de la membrana.

Este último fenómeno (2) es fundamental en el mecanismo de separación por Osmosis Inversa, ya que determina la gran diferencia en la solubilidad y difusividad en la membrana del solvente con respecto al soluto (mucho mayores en el solvente). Debido a esto, la concentración del soluto en la región superficial de la membrana (C_{sm}) es mucho menor que en la solución (C_s). La relación entre estas dos concentraciones se define usualmente como coeficiente de "partición", "solubilidad" o "distribución". Para lograr una separación efectiva, el coeficiente de partición del soluto debe ser mucho menor que el del solvente.

d.- Capa Densa de la Membrana:

Esta región es altamente densa e idealmente no porosa, aunque en los casos reales está formada por una estructura microporosa. Es una característica de las membranas asimétricas y compuestas y es responsable del efectivo rechazo de sales. Debe ser lo más delgada posible para reducir la resistencia al flujo de solvente, lo que incrementaría su permeabilidad. El transporte en esta capa es debido a la difusión y a la convección de las moléculas a través de los microporos de la membrana. En esta capa la concentración del soluto disminuye exponencialmente.

e.- Región de Soporte Poresa:

La utilidad de esta región es mejorar las características mecánicas de la membrana para poder soportar la presión externa aplicada. Es altamente porosa por lo que en ella no se produce rechazo de sales y su perfil de concentraciones es una linea recta. El mecanismo de transporte de solvente y soluto en su interior es el flujo convectivo a través de los poros. Aunque no afecta al rechazo de sales, aumenta la resistencia hidráulica a la permeabilidad de la membrana, lo que requiere una mayor diferencia de presiones a través de la misma para mantener un determinado flujo.

f.- Región Superficial II:

En esta región el soluto es des-adsorbido por la membrana. Como la región adyacente no es selectiva, el coeficiente de partición de este lado de la membrana tiene un valor cercano a la unidad, lo que significa que la concentración del soluto en su superficie es similar a la existente en la corriente que sale de ella.

g.- Capa Límite de la Región II:

Esta región solamente existe bajo condiciones de funcionamiento muy cambiantes (concentración de alimentación y flujo) ya que no se logra una estabilización en la concentración de la solución que ocupa la interface membrana-producto. Al igual que en la región "b" ocurre una difusión unidimensional en dirección normal a la superficie de la

membrana. En este caso no se produce el fenómeno de "polarización de concentración", ya que al contrario de la zona de alta presión, la concentración disminuye en la dirección del flujo.

h.- Región II:

Al igual que en la región I, la concentración del producto se mantiene constante bajo condiciones específicas de funcionamiento. Su importancia radica en el hecho que la permeabilidad de la membrana (tanto para el soluto como para el solvente) depende de las condiciones de la solución a ambos lados de la membrana.

La resistencia total a la transferencia de masa es la suma de la resistencia de las capas límites y la resistencia de las distintas capas de la membrana.

2.3.- Mecanismos de Rechazo de Sales.

A pesar del considerable trabajo y empeño dedicados en las últimas décadas al fenómeno de Osmosis Inversa, el mecanismo de separación y los criterios físico-químicos para explicar el rechazo de sales son todavía elementos de controversia. A continuación se presenta una breve descripción de los mecanismos más aceptados.

2.3.1.- Mecanismo de filtrado.

La separación está basada en la diferencia entre los tamaños moleculares del soluto y el solvente, con un tamaño de poros en el rango intermedio entre los dos. Este mecanismo no es aplicable si trata de explicarse la extracción del solvente de un sistema compuesto por cloruro de sodio u otras sales y agua, ya que en este caso los tamaños

de las moléculas e iones son similares. Sin embargo puede influir en el rechazo de grandes moléculas orgánicas y es el mecanismo principal en procesos de ultrafiltración.

2.3.2.- Mecanismo de Superficie Húmeda.

Se observa en los casos en que el material de la membrana se humedece con facilidad. Se basa en la tendencia que tiene el agua a adherirse por medio de los puentes de hidrógeno a la membrana, formando una delgada capa de agua sobre la superficie de la misma que obstruye los poros y evita el paso de iones y moléculas de soluto. El solvente fluye a través de la estructura de la membrana formando un puente de hidrógeno y rompiendo otro; como la cantidad de moléculas presentes en la membrana se mantiene siempre constante y ninguna de ellas está separada de la superficie de adsorción durante su migración, la energía requerida para ello es relativamente baja. Por el contrario, las moléculas de soluto se abren paso desplazando a las moléculas de solvente de sus lugares de adsorción, lo que requiere altos niveles de energía.

2.3.3.- Mecanismo de Solución-Difusión.

El soluto y el solvente se disuelven en la capa superficial, homogénea y no porosa de la membrana y son transportados separadamente a través del mecanismo de difusión. Según este mecanismo es deseable contar con membranas con una capa superficial absolutamente no porosa (membranas ideales), en las cuales la solubilidad y difusividad del solvente son muy altas comparadas con las del soluto. Según este modelo no existe flujo a través de los poros, lo que se opone a los

resultados de diversos experimentos osmóticos en los cuales se demostró que la mitad del flujo total es contribución de la convección. Sin embargo para membranas de alto rechazo, como las usadas en los procesos de Osmosis Inversa se ha demostrado que el flujo del solvente (agua) es debido principalmente al fenómeno difusivo, mientras que en el flujo de sal contribuyen la difusión y la convección.

En base a estos resultados surgió la idea del mecanismo "Solución-Difusión-Imperfecciones" en el que se toman en cuenta las imperfecciones de la superficie de la membrana, debido a lo cual ocurre flujo de soluto y solvente no diluidos a través de los poros.

2.3.4.- Mecanismo de "Atracción Preferencial-Flujo Capilar".

En este mecanismo propuesto por Sourirajan, la capa superficial de la membrana debe asumirse microporosa y heterogénea. La separación se debe parcialmente a fenómenos superficiales y también al transporte del fluido bajo presión a través de poros capilares, es decir, los elementos

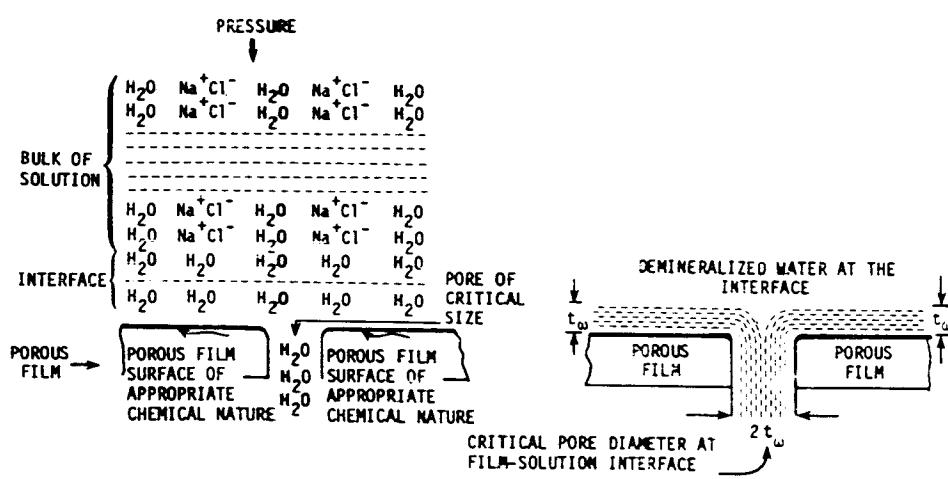


Figura 2.3

Mecanismo de absorción preferencial-flujo capilar. Sourirajan (1970)

importantes son el tamaño y número de poros, además de la naturaleza química de la membrana y su interacción con la solución. Si la naturaleza química de la capa densa de la membrana en contacto con la solución es tal que permite una atracción preferencial o repulsión preferencial hacia uno de los constituyentes de la solución, se crea un gradiente de concentración y se forma una capa del constituyente preferencialmente atraido en la interfase entre la membrana y la solución, la cual está enriquecida del otro constituyente. Las membranas poliméricas con baja constante dieléctrica repelen los iones de soluciones acuosas electrolíticas en las cercanías de su superficie, lo que se traduce en una atracción preferencial del agua. En la Figura 2.3 se esquematiza este mecanismo.

Para una membrana determinada y bajo ciertas condiciones de operación, hay un diámetro crítico de los poros de la misma con el cual se alcanza la óptima separación y permeabilidad del solvente. Este diámetro crítico, según Sourirajan debe ser el doble del espesor de la capa de agua atraída preferencialmente y puede ser a veces mayor que los diámetros de las moléculas e iones involucrados.

La selectividad de las membranas a diferentes iones de sales inorgánicas está basada en la energía libre de la interacción entre los iones y la membrana. Los requerimientos de energía libre para la atracción o repulsión de los iones en la interfase membrana-solución están dados por:

$$\Delta\Delta G = \Delta G_I - \Delta G_B \quad (2.12)$$

donde ΔG_I y ΔG_B son la energía libre de la interacción ión-solvente en la interfase (I) y en la alimentación (B). La Energía libre de la interacción ión-solvente está definida según la ecuación de Born como:

$$1/\Delta G = - (r_{ion} + \Delta)/E \quad (2.13)$$

donde: r_{i6n} = radio cristalográfico del ión (\AA);

Δ = ajuste al r_{i6n} (\AA);

$E = 1/2 * N_A^* (Z_i^* e)^2 * (1 - (1/d_w))$;

N_A = Número de Avogadro;

Z_i = valencia del ión;

e = carga electrónica;

d_w = constante dieléctrica del solvente.

Sustituyendo 2.14 en 2.13 y dividiendo entre RT resulta:

$$-(\Delta \Delta G/RT)_i = 1/RT \{ [E_i/(r_i + \Delta_i)] - [E_B/(r_i + \Delta_B)] \} \quad (2.14)$$

El valor $(-\Delta \Delta G/RT)_i$ se conoce como "parámetro de energía libre del ión i ", el cual está relacionado con el "Coeficiente de Permeabilidad del Soluto" $(D_s/K\delta)^1$ a través de:

$$D_s/K\delta = C^* \exp \{ \text{Sum.}(-\Delta \Delta G/RT)_i \} \quad (2.15)$$

donde C^* es una medida de la estructura porosa de la membrana.

Los valores calculados por Matsuura, et al (1975) y Dickson, et al (1975) para distintos cationes y aniones utilizando membranas de Poliamidas aromáticas están expuestos en la tabla 1 del Apéndice C.

Cuando el parámetro de energía libre de un ión es positivo, se requiere suministrarle energía para acercarlo a la membrana, es decir, el ión es repelido por la superficie de la membrana, lo contrario ocurre si este parámetro es positivo. De acuerdo a este modelo, si se conocen

1 Se define en este mismo Capítulo para el modelo de "absorción preferencial-flujo capilar"

valores aplicables de este parámetro para una determinada membrana es posible predecir la permeabilidad del soluto para cualquier solución formada por varios componentes.

Glueckauf extendió este comportamiento y propuso el siguiente modelo: En la entrada de un poro, el potencial de un ión se incrementa gradualmente hasta alcanzar el máximo valor a una determinada distancia; al disminuir esta distancia hay una gran posibilidad de que un ión de carga opuesta al primero (perteneciente a la nube iónica) pueda entrar al interior del poro, esto reduce considerablemente el potencial del primer ión. En base a la diferencia de energía entre un ión en la solución de alimentación y un ión en la solución acuosa interior al poro pueden predecirse las características de separación de una membrana para diferentes soluciones electrolíticas a distintas concentraciones.

La ecuación desarrollada por Glueckauf es:

$$\log \frac{m}{m_x} = \left(\frac{E^2 * Z^2}{4,6 * DkT} \right) * \left[\frac{(1-\alpha)Q}{R + \alpha bQ} \right] \quad (2.16)$$

donde: m =concentración molar de la solución en la superficie de la membrana;

m_x =concentración de la solución producto;

E =carga electrónica;

Z =valencia del ión;

D =constante dieléctrica del medio (78,3 para el agua a 25°C);

$Q=(D-D')/D$ donde D' es la constante dieléctrica del material de la membrana;

k =Constante de Boltzmann;

T =Temperatura absoluta;

R =radio de los poros de la membrana;

$\alpha=1-(1+K^2R^2)^{-1/2}$;

$K=(4\pi E^2 \sum (n_i Z_i^2)/DkT)^{1/2}$ donde n_i es el

número de iones por cm^3 ;
 b = radio iónico.

Según esta ecuación, la relación m/m_x disminuye, es decir disminuye el rechazo de la membrana cuando:

- * aumenta el radio de los poros de la membrana;
- * aumenta el radio iónico (lo que demuestra que el mecanismo de separación no se basa en el simple filtrado);
- * aumenta la concentración del soluto;
- * disminuye la carga iónica.

Los resultados obtenidos con esta ecuación son bastante satisfactorios en concentraciones inferiores a 1,5 molar. Aunque en este análisis no se hayan considerado todos los criterios que gobiernan el proceso de separación, provee de un criterio parcial acerca del fenómeno Físico-químico del mecanismo de "atracción preferencial" en la interfase membrana-solución.

2.4.- Solubilidad, Permeabilidad y Difusividad.

Como se mencionó anteriormente, las dos propiedades más importantes de cualquier membrana para lograr una buena selectividad son la solubilidad y la difusibilidad de solutos y solventes, las cuales determinan la permeabilidad de la membrana.

La solubilidad usualmente se define en función del coeficiente de partición.

$$k_s = \text{gr.soluto por cm}^3 \text{ de membrana} / \text{gr.soluto por cm}^3 \text{ solución}$$

Algunas afirmaciones pueden indicarse con referencia al coeficiente de partición para soluciones electrolíticas:

- * Existe una relación directa entre la efectividad de un proceso de Osmosis Inversa y el coeficiente de partición.
- * Disminuye al aumentar la carga del soluto y al decrecer el radio iónico y la cantidad de agua contenida en la membrana, aunque este efecto se ve reducido por los iones de carga opuesta que rodean al ión en cuestión.
- * Existen evidencias experimentales de la relación que existe entre el coeficiente de partición y el fenómeno de tensión superficial.

El procedimiento para la determinación del coeficiente de partición de una membrana está expuesto en el Apéndice C.

Se ha demostrado experimentalmente que k_s es prácticamente constante en función de la concentración de sales. A concentraciones superiores a 1 molar hay un ligero aumento debido al efecto de dilatación y contracción de la membrana.

El coeficiente de difusión de una sal en una membrana puede obtenerse a partir del análisis unidimensional de un proceso de transferencia de masa en condiciones no estacionarias cuya relación fué desarrollada por Clank y Park¹ para una lámina de espesor Δx :

$$(C_t - C_\infty) / (C_0 - C_\infty) = 8/\pi^2 \cdot \exp[\pi^2 \cdot D_s \cdot t / \Delta x^2] \quad (2.17)$$

donde C_t , C_0 , y C_∞ son las concentraciones de la sal en la membrana a un tiempo t , $t=0$ e infinito respectivamente y D_s es el Coeficiente de difusión de la sal en la membrana.

1 M.SOLTANIEH, W.GILL."Review of Reverse Osmosis Membranes and transport models" Chemical Eng. Commun. - Vol.12 - pp.279-363 - G&B, Science Publishers, Inc. 1981 - U.S.A.

En pruebas de adsorción, C_i es la concentración de equilibrio a partir de la cual se obtiene el coeficiente de partición, es decir, $k_s = C_i/C_{sb}$.

La ecuación 2.17 se cumple con buenas apreciaciones para valores de $t > 0,1 * \Delta x^2 * D_s / \Pi^2$, debido a que para su uso práctico se han despreciado los términos de segundo orden y mayores de una serie que presenta la ecuación de la cual deriva.

La permeabilidad al paso de sales es igual al producto entre el coeficiente de partición y el coeficiente de difusión, similarmente la permeabilidad al paso de agua es igual al producto entre la concentración de equilibrio del agua en la membrana por el coeficiente de difusión del agua en la membrana.

La tabla 2 del Apéndice C presenta los datos obtenidos experimentalmente de diferentes membranas a partir de la cual pueden surgir algunas conclusiones:

a.- El coeficiente de partición del acetato de celulosa es mucho menor en las poliamidas; por otra parte, en estas últimas el coeficiente de difusión a las sales es significativamente menor. De esto resulta que las permeabilidades ($k_s \times D_s$) para ambas membranas son del mismo orden de magnitud, pero inferiores para las poliamidas.

b.- Las permeabilidades medidas en experimentos de Osmosis Inversa son mucho mayores que las calculadas a partir de k_s y D_s . Esto sugiere un gran paso convectivo de sales a través de la membrana debido al flujo creado por la diferencia de presión, lo que se opone al modelo de Solución-Difusión, en el que se asume que el transporte de sales es puramente difusivo.

c.- Las membranas asimétricas o compuestas pueden disolver mayor cantidad de agua que las homogéneas debido a la estructura altamente porosa de la(s) capa(s) intermedia(s) que representan el 99% del espesor total.

d.- La permeabilidad al agua de las membranas es mucho mayor que a las sales, por lo que el proceso de separación con membranas (Osmosis Inversa) resulta efectivo y práctico.

2.5.- Modelos de Transporte Teóricos de las Membranas.

2.5.1.- Clasificación.

Existen modelos basados en los procesos Termodinámicos irreversibles, donde la membrana es considerada como una caja negra en la cual ocurren ciertos procesos lentamente en condiciones cercanas al equilibrio; en estos casos no se requiere información sobre los mecanismos de transporte para la aplicación de dicho modelo. Estos modelos son particularmente prácticos cuando existen efectos colaterales entre los distintos elementos transportados a través de la membrana.

En segundo lugar están los modelos en los cuales los flujos están relacionados con las fuerzas existentes en el Sistema por lo que las propiedades físico-químicas de la membrana y la solución están involucradas en los mismos; parámetros como características geométricas, porosidad, tortuosidad, diámetro de los poros, solubilidad y difusividad para el soluto y el solvente son importantes en la derivación del modelo. Cuando las características de la membrana no están disponibles, es tomada como una discontinuidad entre las dos soluciones, en cuyo caso todos los gradientes se consideran como diferencias; estos modelos son llamados discontinuos. Por otra parte, si los rasgos estructurales son conocidos, las ecuaciones de transporte pueden aplicarse a nivel local y la membrana no es una discontinuidad entre las soluciones; los modelos así derivados son llamados "continuos". Si el perfil de concentración no es lineal o los coeficientes que relacionan las fuerzas existentes con el movimiento dentro de la membrana cambian con la concentración o la presión, los

modelos continuos son más precisos debido a su cálculo más riguroso basado en diferenciales; pero debido a sus excesivas complicaciones solo se utilizan (y aún así limitadamente) para el desarrollo de nuevos tipos de membranas y no en el diseño de sistemas prácticos de Osmosis Inversa.

2.5.2.- Modelos basados en la "Termodinámica Irreversible".

Durante un proceso espontáneo irreversible en un determinado sistema ^{aislado} aumenta la entropía y consecuentemente es disipada parte de la energía libre de dicho sistema. La tasa de disipación local de esta energía por unidad de volumen en un proceso irreversible, está determinada por la "función de disipación" (ϕ) derivada por Katchalsky y Curran (1975)¹ partiendo de la Ecuación de Gibbs. Para soluciones electrolíticas:

$$\phi = J_{int}^* \text{grad}(-T) + \sum J_i^* \text{grad}(-\mu_i) + J_{ch}^* A \quad (2.18)$$

donde : J_{int} =rata de intercambio de entropía con el ambiente por unidad de área;

T =temperatura absoluta;

J_i =flujo molar del componente i

J_{ch} =velocidad de la reacción química por unidad de volumen;

$\mu_i = \mu_i^* + Z_i^* F^* \psi$: Potencial electroquímico del componente i ;

μ_i^* =potencial químico del componente i ;

Z_i =valencia del iésimo ión;

1 M.SOLTANIEH, W.GILL. "Review of Reverse Osmosis Membranes and transport models". Chemical Eng. Communications. Vol.12 - pp.279-363 - G & B, Science Publishers, Inc. 1981 - U.S.A.

$F = \text{constante de Faraday} = 96500 \text{ Coulombios/equivalente};$

$\psi = \text{potencial eléctrico};$

$A = \text{afinidad electroquímica} = -\sum v_i^* \mu_i$

$v_i = \text{número de moles que se obtienen por mol de soluto.}$

En el desarrollo de la ecuación 2.18 se asume que el sistema se encuentra en equilibrio mecánicamente, es decir, no actúan fuerzas externas sobre él, lo que implica que el término de flujo convectivo es despreciado. Esta ecuación es la base para la aplicación de este tipo de modelos y en general puede decirse que la "función de disipación" (ϕ) es igual a la suma de los productos del flujo y sus fuerzas conjugadas.

$$\phi = \sum J_i^* x_i \quad (2.19)$$

En la ecuación 2.18, J_{ent} , J_i y J_{ch} son los flujos del proceso y $\text{grad}(-T)$, $\text{grad}(-\mu_i)$ y A son sus fuerzas conjugadas.

Las condiciones que debe cumplir un determinado Sistema son:

- * Para cada serie de flujos, las fuerzas correspondientes deben satisfacer la ecuación 2.18, es decir, las unidades del producto de cualquier flujo con su fuerza conjugada deben ser equivalentes al aumento de entropía o rata de disipación de energía por unidad de volumen.

- * Las fuerzas combinadas deben cumplir que:

$$X_i = \delta S_e / \delta a_i \quad (2.20)$$

donde S_e es la entropía total y a_i^* son las desviaciones de las variables temperatura, presión, concentración, etc. conocidas como "coordenadas de Onsager". Cuando se alcanza el equilibrio, estas coordenadas deben ser iguales a cero.

2.5.2.1.- Ecuaciones fenomenológicas-Leyes de Linealidad.

Onsager en 1931 postuló que para procesos suficientemente lentos, existe una dependencia lineal entre todos los flujos y todas las fuerzas, conocidas como "ecuaciones fenomenológicas":

$$J_i = \sum L_{ik}^* X_k \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (2.21)$$

Es decir, para un sistema en el cual ocurren flujos o procesos simultáneos, existe una dependencia directa y lineal entre cada flujo (J_i) con su fuerza conjugada y también con las fuerzas no conjugadas; en base a esto puede decirse que el flujo es proporcional a su fuerza impulsora (L_{ii}) con las respectivas contribuciones de las fuerzas no conjugadas (L_{ij}).

Existen ciertas restricciones aplicables a los coeficientes fenomenológicos, las cuales se indican a continuación:

a.- Según los requerimientos termodinámicos, la entropía debe aumentar debido a que es un proceso irreversible, es decir, en la ecuación 2.18, $\phi > 0$. Aplicando 2.21 a 2.18 resulta:

$$\Phi = \sum (\sum L_{ik}^* X_k)^* X_i > 0 \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (2.22)$$

Para satisfacer esta condición debe cumplirse que:

$$L_{ii} \geq 0$$

$$L_{ii}^* L_{kk} \geq L_{ik}$$

b.- Principio de Curie-Prigogine:

Con referencia a las ecuaciones fenomenológicas, para un sistema isotrópico no puede existir influencia entre procesos donde las cantidades sean de diferentes órdenes, por ejemplo no hay

influencia entre procesos isobáricos con reacciones químicas (en los cuales son flujos y fuerzas son de magnitudes escalares) y procesos de intercambio de masa o calor (flujos y fuerzas de magnitudes vectoriales); es decir, la velocidad de reacción no afecta la rata de transferencia de masa y viceversa.

c.- Relaciones Recíprocas de Onsager (RRO)

En Sistemas con diversos flujos y fuerzas, existe un gran número de coeficientes fenomenológicos, lo que los hace imprácticos (Ej.: para Sistemas con dos flujos y dos fuerzas deben determinarse cuatro coeficientes; para Sistemas con tres flujos y tres fuerzas, nueve y así sucesivamente)

Onsager presentó una gran simplificación (1931) según la cual, para procesos cercanos al equilibrio, la matriz de los coeficientes fenomenológicos es simétrica ($L_{ik} = L_{ki}$, para i diferente de k).

La validez de estas relaciones depende de las asunciones tomadas por Onsager y son aplicables para los siguientes procesos:

- Procesos que comienzan cerca del equilibrio;
- Se cumplen las leyes de linealidad;
- El producto entre flujos y fuerzas conjugadas debe ser dimensionalmente equivalente al aumento de entropía.

En procesos de membranas, la validez de las relaciones recíprocas de Onsager está sujeta a controversias, particularmente cuando los efectos del flujo por convección son altos, por lo tanto la diferencia de concentración entre ambos lados de una membrana y el flujo volumétrico total deben ser muy bajo para que se cumplan.

2.5.3.- Modelo de Kedem-Katchalsky.

Es el primer modelo práctico que surgió basado en la termodinámica irreversible. Para sistemas isotérmicos y en ausencia de reacción química, la ecuación 2.18 se reduce a:

$$\phi = \sum J_i^* \text{grad}(-\mu_i) \quad (2.23)$$

Para un sistema estacionario donde el flujo de un componente i permanece constante, esta ecuación puede integrarse dando como resultado:

$$\phi_m = \sum J_i^* \Delta \mu_i \quad (2.24)$$

donde ϕ_m es la función de disipación de toda la membrana y μ_i representa la diferencia de potencial químico del componente i entre el lado de alta presión y el de baja presión.

Para sistemas de un solo soluto puede decirse que:

$$\phi_m = J_w^* \Delta \mu_w + J_s^* \Delta \mu_s \quad (2.25)$$

donde los subíndices w y s se refieren al solvente (usualmente agua) y al soluto (sal) respectivamente.

La diferencia de potenciales químicos es la fuerza termodinámica que actúa en este proceso, debido a lo cual es necesario convertir dichos potenciales en cantidades fácilmente medibles (actividad química, concentración, presión, etc.). El potencial químico de cualquier componente a cualquier temperatura y presión viene dado por:

$$\mu_i(T,p) = \mu_{i0}(T,p_0) + RT \ln a_i + V_i(p - p_0^0) \quad (2.26)$$

la variación de a_i y de V_i son despreciables y el término $RT \ln a_i$ se conoce como "término dependiente de la concentración" (μ_{s0}).

Sustituyendo 2.26 en 2.25 y sabiendo que $\Delta \mu_i = 0$, resulta:

$$\phi_m = J_w [RT \Delta \ln a_w + V_w \Delta p] + J_s [RT \Delta \ln a_s + V_s \Delta p] \quad (2.27)$$

donde D_p es la diferencia de presiones a través de la membrana. Reorganizando y utilizando las relaciones entre presión osmótica y actividad del agua, esta ecuación se reduce a:

$$\phi_m = [J_w^* V_w + J_s^* V_s]^* \Delta p + [J_s/(C_s)_{in} - J_w^* V_w]^* \Delta \Pi \quad (2.28)$$

La ecuación 2.25 há sido transformada a otra ecuación en la cual las fuerzas son cantidades medibles. El primer término de flujo representa el flujo total volumétrico, mientras que el segundo es la velocidad del soluto en relación al solvente; esta ecuación se reduce entonces a:

$$\phi_m = J_v^* \Delta p + J_d^* \Delta \Pi \quad (2.29)$$

Conociendo los flujos y fuerzas conjugadas, las leyes de linealidad pueden escribirse como:

$$J_v = L_p^* \Delta p + L_{pd}^* \Delta \Pi \quad (2.29)$$

$$J_d = L_{dp}^* \Delta p + L_d^* \Delta \Pi \quad (2.30)$$

donde L_p , L_{pd} , L_{dp} y L_d son los coeficientes fenomenológicos del proceso. La ecuación 3.29 puede escribirse como:

$$J_v = L_p^* (D_p - \sigma^* \Delta \Pi) \quad (2.31)$$

donde $\sigma = -L_{dp}/L_p$ es el coeficiente de reflexión, cuyo valor es representativo de las propiedades de rechazo de sales de la membrana (para $\sigma=0$, no hay rechazo y para $\sigma=1$, el rechazo es del 100%).

Para el solvente resulta:

$$J_s = (C_s) \ln^*(1-\sigma)^* J_v + w^* \Delta p \quad (2.32)$$

donde w es la permeabilidad del soluto cuando el flujo volumétrico es igual a cero.

Las ecuaciones 2.31 y 2.32 representan el modelo de Kedem-Katchalsky. En los coeficientes obtenidos, la influencia de la concentración es muy baja.

2.5.4.- Modelo de Spiegler-Kedem

Cuando el flujo volumétrico y el gradiente de concentraciones a través de la membrana son grandes, el modelo anterior no es muy preciso, ya que debe tomarse en cuenta el cambio del perfil de concentración a diferentes ratas de flujo. En estos casos es más apropiado partir de las ecuaciones diferenciales o locales de la función disipación, en la cual las fuerzas encargadas del proceso son los gradientes negativos de los potenciales químicos:

$$-\frac{d\mu_w}{dx} = -(\frac{d\mu_{wc}}{dx} + Vw^* \frac{dp}{dx}) \quad (2.33)$$

$$-\frac{d\mu_s}{dx} = -(\frac{d\mu_{sc}}{dx} + Vs^* \frac{dp}{dx}) \quad (2.34)$$

Las ecuaciones fenomenológicas del proceso son:

$$J_w = L_{ww}(-\frac{d\mu_w}{dx}) + L_{ws}(-\frac{d\mu_s}{dx}) \quad (2.25)$$

$$J_s = L_{sw}(-\frac{d\mu_w}{dx}) + L_{ss}(-\frac{d\mu_s}{dx}) \quad (2.26)$$

Desarrollando estas ecuaciones se obtienen las relaciones específicas de este modelo:

$$J_v = ph^*(dp/dx - \sigma^*d\Pi/dx) \quad (2.27)$$

$$\sigma = 1 - L_{ws}/L_{ww} * c_w/c_s \quad (2.28)$$

donde ph es la permeabilidad hidráulica local de la membrana y está definida como:

$$ph = -L_{ww} * V_{w2} \quad (2.29)$$

Para membranas compuestas o asimétricas, el coeficiente de reflexión δ está relacionado con los coeficientes de reflexión de las capas individuales δ_a , δ_b y las permeabilidades de dichas capas P_a y P_b de acuerdo a la ecuación:

$$\delta/P_m = \delta_a/P_a + \delta_b/P_b \quad (2.30)$$

donde P_m es la permeabilidad global de la membrana. En este tipo de membranas, la capa porosa cumple con la finalidad de soporte pero no es selectiva, es decir $\delta_b=0$, por lo que esta ecuación se reduce a:

$$\delta = P_m * (\delta_a/P_a) \quad (2.31)$$

2.5.5.- Efecto de la convección.

El desarrollo de los modelos de procesos de membranas basados en la termodinámica no toma en cuenta los efectos convectivos del flujo. Sin embargo la estructura microporosa de las membranas reales permite este efecto en los procesos de Osmosis Inversa. Por lo tanto, el flujo

total de cualquier componente está compuesto por un término difusivo y uno convectivo():

$$N_i = J_i + c_i^* v^* \quad (2.32)$$

donde c_i es la concentración molar local del componente i y v^* la velocidad molecular media.

2.5.6.- Modelo de Solución-difusión.

Este modelo plantea que el soluto y el solvente se disuelven en la capa superficial homogénea y porosa de la membrana y son transportados por difusión debido al gradiente de potencial químico. Los parámetros más importantes de este modelo son las solubilidades de los elementos en la membrana (coeficiente de partición) y la difusividad del soluto y el solvente.

Según el mecanismo de difusión, el flujo de agua está dado por:

$$J_w = -D_w^* dC_w/dx \quad (2.33)$$

donde C_w y D_w son la concentración y la difusividad del agua en la membrana respectivamente. Suponiendo que el sistema agua-membrana obedece a la Ley de Henry ($d\mu_w = -RT^* dC_w/C_w$), esta ecuación resulta:

$$J_w = D_w^* C_w / RT * \Delta\mu_w / \Delta x \quad (2.34)$$

Desarrollando esta ecuación se obtiene que:

$$J_w = A^* (\Delta p - \Delta \Pi) \quad (2.35)$$

donde A es el coeficiente de permeabilidad del solvente.

El flujo de sal a través de la membrana está dado por:

$$J_s = D_s * dC_s/dx \quad (2.36)$$

donde D_s es el coeficiente de difusión de la sal en la membrana. Si se introduce el concepto del "coeficiente de partición", esta ecuación se reduce a:

$$J_s = -D_s * k_s * (C_p - C_r)/x = K_2 * (C_r - C_p) \quad (2.37)$$

donde K_2 es el coeficiente de permeabilidad del soluto. Para las membranas utilizadas hace algunos años, demostró no ser muy válido debido a las imperfecciones y microporos que estas presentan, sin embargo a medida que se han desarrollado las membranas de alto rechazo, cada vez se ajusta con mejor exactitud a los resultados que se obtienen experimentalmente.

2.5.7.- Modelo de Solución-difusión con imperfecciones.

Este modelo se ajusta a las membranas de bajo rechazo, ya que incluye un término adicional relativo al flujo a través de los poros. El flujo total de agua N_w y el flujo total del soluto N_s están dados por:

$$N_w = J_w + K_3 * \Delta p * C_w = A * (\Delta p - \Delta \Pi) + K_3 * \Delta p * C_w \quad (2.38)$$

$$N_s = J_s + K_3 * \Delta p * C_r = K_2 * (C_r - C_p) + K_3 * \Delta p * C_r \quad (2.39)$$

donde C_w es la concentración del agua en la solución de alimentación y K_3 es el coeficiente de acople.

Los resultados experimentales demuestran que este modelo se ajusta más a la realidad que el mencionado anteriormente, aunque para membranas de alto rechazo como las utilizadas para agua de mar, el coeficiente K_3 suele ser extremadamente pequeño por lo que en la mayoría de los casos es despreciado.

Los coeficientes A , K_2 y K_3 varían con la concentración y la presión de alimentación: a medida que la presión aumenta, A disminuye, mientras que al aumentar la concentración aumentan K_2 y K_3 .

2.5.8.- Modelo de perfecta porosidad.

Las ecuaciones presentadas por este modelo están desarrolladas para la capa activa o densa de las membranas asimétricas o compuestas cuyos microporos tienen diámetros inferiores a 10 Å y está compuesta por esferas deformadas y parcialmente fundidas con un alto volumen libre entre ellas (poros dinámicos); esta estructura está casi libre de poros (poros permanentes o estáticos).

Debido a la existencia de los poros dinámicos, el mecanismo puro de difusión no es la representación más adecuada del transporte a través de la membrana.

Las características de este modelo son:

- a.- Existencia de un flujo acoplado de solvente y soluto debido al efecto convectivo.
- b.- La separación se logra si la concentración en los poros difiere de la concentración de la solución externa a la membrana (fenómeno de partición).
- c.- El flujo total de solvente es la suma del movimiento del centro de masa del fluido (flujo convectivo) y la difusión del soluto con respecto al centro de masa.

$$N_s = C_s * u + J_s \quad (2.40)$$

donde C_s es la concentración del soluto por unidad de volumen de membrana y J_s el término que representa el flujo difusivo.

Por la existencia de fricción entre las moléculas de soluto y las paredes de la membrana, el proceso de difusión es restringido, este efecto se incorpora al flujo difusivo como una fuerza de fricción entre el soluto y la membrana (F_{sm}):

$$J_s = m_{sw} * C_s * [-(d\mu_s/dC_s)T,p * dC_s/dx + F_{sm}] \quad (2.41)$$

donde m_{sw} es la movilidad del soluto en la membrana ($m_{sw} = 1/f_{sw}$).

2.5.9.- Modelo de flujo del mecanismo de atracción preferencial-flujo capilar.

Está basado en el modelo de flujo capilar generalizado para el transporte del solvente, difusión para el transporte de soluto y la teoría laminar para las capas límites. Debido a la aplicación de presión, el soluto y el solvente (agua) tienden a pasar a través de los microporos de la membrana, sin embargo, el agua es preferencialmente adsorbida y la sal rechazada en la superficie de la pared porosa por razones físico-químicas.

Para una determinada área de membrana (S), la permeabilidad del agua pura [PWP] es proporcional a la presión de operación y a una constante de proporcionalidad definida como A :

$$A = [PWP]/M_b \cdot S \cdot 3600 \cdot P \quad (2.42)$$

donde M_b es el peso molecular del agua. La constante A es una medida de la porosidad global de la membrana al paso del agua u otro solvente atraído preferencialmente.

El transporte de solvente $[N_b]$ a través de una membrana en un proceso de Osmosis Inversa viene dado entonces por:

$$N_w = A \cdot \Delta P = A \cdot [P - \Pi(X_{s2}) + \Pi(X_{s3})] \quad (2.43)$$

$\Pi(X_{s2})$ y $\Pi(X_{s3})$ son las presiones osmóticas correspondientes a la fracción molar del soluto en la capa límite concentrada del lado de alta presión y en el producto respectivamente.

A una presión determinada, "A" es constante e independiente de la concentración, pero N_w , X_{s2} y X_{s3} son función de la concentración de alimentación, del caudal de flujo de alimentación y del nivel de turbulencia en la superficie de la membrana. La ecuación 2.43 es válida cuando la viscosidad del producto es muy cercana a la del agua pura, lo que se cumple en todos los casos prácticos.

Durante el proceso de Osmosis Inversa, existe una diferencia de concentraciones entre ambos lados de la membrana, bajo estas condiciones el transporte de soluto en la fase de la membrana se debe básicamente a la difusión a través de los microporos. Por lo tanto el flujo de soluto puede expresarse según la relación:

$$N_s = D_{am}/t \cdot (C_{m2} \cdot X_{sm2} - C_{m3} \cdot X_{sm3}) \quad (2.44)$$

donde X_{sm2} y X_{sm3} son las fracciones molares del soluto en la membrana en equilibrio con X_{s2} y X_{s3} en la solución, C_{m2} y C_{m3} las respectivas densidades molares, D_{am} la difusividad del soluto en la membrana y t el espesor efectivo de la membrana.

Debido a que los valores X_{sm2} y X_{sm3} no son fácilmente medible, suele utilizarse la relación lineal $C^*X_s = k^*C_m^*X_{sm}$ para relacionar estos valores con los presentes en la solución. La relación 2.44 se convierte entonces en:

$$N_s = D_{am}/t^*k^*(C_2^*X_{s2} - C_3^*X_{s3}) \quad (2.45)$$

D_{am}/t^*k recibe el nombre de coeficiente de transporte de soluto. Entre los valores N_w y N_s pueden establecerse las relaciones:

$$N_w/(N_w + N_s) = X_{s3} \quad (2.46)$$

$$N_w = X_{s3}/(1-X_{s3}) * N_s \quad (2.47)$$

Sustituyendo en 2.45 resulta:

$$N_w = (D_{am}/t^*k)^*(1-X_{s3})/X_{s3} * (C_2^*X_{s2} - C_3^*X_{s3}) \quad (2.48)$$

Debido a que el soluto en la capa límite concentrada en la zona de alta presión difunde hacia la solución de alimentación menos concentrada, la transferencia de soluto desde dicha capa límite puede expresarse como:

$$N_s = X_s(N_w + N_s) - D_s^*C^*dX_s/dZ \quad (2.49)$$

donde D_s es la difusividad del soluto en la solución y Z el espesor de la capa límite. Resolviendo esta ecuación diferencial considerando los límites respectivos ($Z=0, X_s=X_{s1}$ y $Z=1, X_s=X_{s2}$) resulta:

$$\ln\{(X_{s2}-X_{s3})/(X_{s1}-X_{s3})\} = (N_s + N_w)/C * 1/D_s \quad (2.50)$$

Definiendo $D_s/l = k$ como el coeficiente de transferencia de masa en el lado de alta presión resulta:

$$N_w = k * C^* (1-X_{s3}) * \ln \{ (X_{s2}-X_{s3}) / (X_{s1}-X_{s3}) \} \quad (2.51)$$

Las ecuaciones 2.42, 2.43, 2.45 y 2.51 son las relaciones básicas de transporte para este modelo. En estas ecuaciones puede asumirse que la densidad molar es constante, $C = C_1 = C_2 = C_3$.

2.5.10.- Comparación de los modelos de transporte.

El uso de uno u otros modelos en la práctica depende del proceso específico y del tipo de membrana utilizada. Para procesos de Osmosis Inversa utilizando membranas altamente densas, homogéneas y libres de poros, en las cuales las velocidades de permeación son bajas, es apropiado el modelo de "solución-difusión", el cual tiene solamente dos parámetros de operación (A y K_2) y la relación entre los flujos y las fuerzas correspondientes es prácticamente lineal. Para membranas imperfectas (que presentan gran cantidad de microporos), el modelo de "solución-difusión con imperfecciones" es el más deseable debido a que se considera el flujo convectivo existente en el proceso, pero este modelo es de difícil aplicación por la dependencia de los parámetros definidos (A, K_2 y K_3) con la concentración y la presión si estas son muy altas como es el caso del agua de mar. Por otra parte, el modelo de "absorción preferencial-flujo capilar" se adapta fácilmente a estas variaciones a través de relaciones determinadas empíricamente, conjuntamente con esto, las ecuaciones que rigen el modelo son sumamente sencillas y proporcionan resultados de gran exactitud con respecto a los obtenidos experimentalmente; esto lo convierte en el modelo más ampliamente utilizado en el diseño de sistemas y experimentación con nuevas membranas de Osmosis.

Inversa.

Los modelos derivados de las ecuaciones fenomenológicas de la termodinámica irreversible tienen la misma complejidad que el modelo "solución-difusión con imperfecciones" y a su vez toman solamente en cuenta el flujo difusivo del soluto y el solvente a través de la membrana.

Los modelos no lineales (Spiegler-Kedam, Porosidad perfecta entre otros) son básicamente equivalentes; difieren en la interpretación de sus respectivos coeficientes. Las ecuaciones en las que se basan para la determinación de los parámetros de operación de un sistema son extremadamente complicadas por lo que no son aplicados en la práctica.

En resumen, los puntos más relevantes de las teorías de transporte por membranas presentadas son:

a.- Para membranas altamente densas, libres de poros y de alto rechazo (el tipo usado en la desalación del agua de mar), el flujo de solvente se corresponde con el presentado por los modelos "solución-difusión" y "absorción preferencial-flujo capilar", los cuales establecen que es proporcional a la presión neta efectiva ($\Delta p - \Delta \Pi$), lo que es aplicable para concentraciones de NaCl de hasta 40.000 ppm. En estos modelos el flujo total, que es la suma del flujo difusivo debido a la concentración y a la presión (no se toma en cuenta el flujo convectivo), es causado por el gradiente de potencial químico existente a través de la membrana. En la realidad, debido a las pequeñas imperfecciones de las membranas reales existe una contribución de flujo convectivo, sin embargo esta contribución en las membranas de Osmosis Inversa es prácticamente despreciable.

b.- La contribución del flujo convectivo en el flujo total de soluto es significativa debido a que la difusión del soluto a través de la membrana es muy lenta. Esto se ha demostrado en diversos experimentos, en los cuales el valor de permeabilidad del soluto, calculado multiplicando el coeficiente de difusión por el coeficiente de partición

($k_s^* D_s$) es mucho menor que el medido en experimentos de Osmosis Inversa, lo que indica que gran cantidad de soluto es transportado por convección a través de la membrana. Debido a esto, el modelo no lineal de "porosidad perfecta" es el más apropiado para describir el flujo de soluto, especialmente a altas concentraciones; sin embargo, como este modelo es difícilmente aplicable a casos prácticos, en estos se emplea el modelo de "absorción preferencial-flujo capilar" corrigiendo el "coeficiente de transporte del soluto" en función de la concentración de la capa límite y de la presión, a través de ciertas correlaciones experimentales que se presentarán en el capítulo siguiente.

c.- Los modelos existentes basados en la termodinámica irreversible no toman en cuenta el transporte debido a efectos convectivos sino solamente al efecto del gradiente de potencial químico, por lo que los resultados experimentales no se adecúan con los obtenidos mediante la aplicación de estos modelos.

Capítulo 3: Selección y Diseño del Sistema de Membranas.

3.1.- Alternativas de Membranas.

Durante los últimos años, las membranas que han arrojado mejores resultados en la desalación del agua de mar son aquellas fabricadas de poliamidas ya sean asimétricas o formando parte como capa densa en membranas del tipo compuesto; como se mencionó anteriormente, éstas poseen ciertas características que las hacen superiores a las de acetato de celulosa tales como:

- * Mejores características de rechazo de sales.
- * Mayores permeabilidades al agua pura.
- * Mayor resistencia a esfuerzos mecánicos (presión externa aplicada).
- * No son degradables biológicamente por microrganismos.
- * Estabilidad en un mayor rango de Temperatura y pH.

Siendo su principal desventaja la baja resistencia a elementos fuertemente oxidantes.

Las membranas de poliamidas se fabrican en forma "plana" o en "fibras huecas", por lo que están disponibles en las dos configuraciones modulares utilizadas prácticamente para el tratamiento de las aguas, a mencionar:

- * Enrollamiento en espiral.
- * Haz de fibras huecas.

Los elementos de membranas considerados en la selección del más adecuado para la Unidad Desaladora son los siguientes:

- * Permeadores Permasep® B-10, compuestos por membranas de fibra hueca de poliamida aromática asimétrica, fabricados por Dupont Co.
- * Elementos de configuración en espiral de membrana compuesta TFC, fabricados por Fluid System (división de Universal Oil products Inc.)
- * Elementos de configuración en espiral de membrana compuesta FT-30, fabricados por Film Tec Corporation.

3.2.- Criterios utilizados en la selección de la membrana.

Antes de presentar las características de cada una de las distintas configuraciones, es necesario establecer los criterios utilizados en la selección del tipo de membrana que formará parte de la Unidad Desaladora. Los dos criterios fundamentales se basan en los parámetros definidos por el modelo de "Absorción preferencial-Flujo capilar".

3.2.1.- Coeficiente de Transporte de Sales ($D_{am}/k\delta$ ó B).

Debido a que el fluido de alimentación es "agua de mar", la cual contiene una alta concentración de sales (alrededor de 35.000 ppm) y que el producto debe tener un máximo de 500 ppm según las Normas Internacionales para agua potable¹, la membrana deberá tener como condición indispensable un alto rechazo de sales y por consiguiente un bajo "coeficiente de transporte de sales" es el criterio primordial en la

1 En el Anexo 5 se presentan las Normas de mayor vigencia a nivel mundial

selección de la misma.

3.2.2.- Coeficiente de Permeabilidad al agua (A).

Como la Unidad Desaladora es de tipo compacto, el área y el volumen de la misma deben ser limitados, por lo tanto es conveniente obtener una producción máxima de agua en función del espacio físico utilizado. Esto se logra seleccionando una membrana cuyo "coeficiente de permeabilidad al agua" sea lo más alto posible.

Estos dos criterios pueden inter-relacionarse a través de la relación B/A, la cual debe ser lo más baja posible. Esto significa que la membrana debe tener la mínima capacidad para el transporte de sales a una mayor permeabilidad al agua pura.

3.2.3.- Productividad acorde con las necesidades.

La Unidad Desaladora debe ser capaz de suministrar la cantidad de agua requerida para el consumo normal de una familia de 5-6 personas. Estimando el consumo diario per cápita de 300 litros, debe proveer un mínimo de 1500-1800 litros por día de agua potable.

3.2.4.- Otros criterios.

Para iguales valores de la relación B/A de dos determinadas membranas, los criterios secundarios que permitirían una selección adecuada son el mantenimiento y la limpieza que requieren y en última instancia el peso de ellas. En el primer caso, se debe tratar de prescindir de equipo especializado y componentes químicos especiales durante la

operación normal de la unidad para darle mayor practicidad y autonomía; igualmente deberá seleccionarse aquella membrana que presente menos problemas operativos y de mantenimiento bajo las condiciones usuales de trabajo, es decir, sin sofisticados equipos para el pre-tratamiento del agua. Adicionalmente es conveniente que el peso del módulo de membrana sea lo más bajo posible para facilitar el transporte de la unidad y simplificar la estructura de soporte de la misma.

3.3.- Características y Parámetros principales de las distintas membranas.

Como se mencionó anteriormente, los coeficientes de "transporte de sales" y "permeabilidad del agua pura" deben ser los dos parámetros principales para la selección de la membrana. Estos deben calcularse en base a las condiciones de operación utilizadas en los ensayos realizados por los respectivos fabricantes para la determinación de la productividad y rechazo estándar (estos últimos no pueden ser utilizados como elemento de comparación, ya que varían en función de las condiciones de un determinado sistema). Debido a la variabilidad de la composición del agua de mar y a la posible presencia en la misma de elementos que pueden alterar el valor de los parámetros, en estos ensayos se utilizan soluciones de NaCl a distintas concentraciones. Esta condición suele ser muy acorde con la realidad debido a que la concentración de los iones de esta sal disociada en el agua de mar representa el 85-90% del total de iones presentes; el Rechazo es presentado en función de los valores obtenidos para el ión Cl⁻, ya que es el más difícil de ser rechazado por las membranas.

3.3.1.- Ecuaciones utilizadas para el cálculo de los Parámetros Operativos.

Los flujos de solvente (agua) y soluto (sal) se obtienen a partir de las relaciones fundamentales del modelo mencionado:

$$Q_w = A^* [P_a - P_p - (\Pi_m - \Pi_p)] \quad (3.1)$$

$$Q_s = B^* [C_m - C_p] \quad (3.2)$$

La concentración de la solución dentro de la membrana se toma como el promedio entre la alimentación y el producto. Esto es válido en los sistemas de baja conversión (hasta aprox. 20%), ya que la variación entre ellas suele ser inferior al 10%. Por lo tanto:

$$C_{ar} = (C_a + C_r)/2 \quad (3.3)$$

A su vez, la concentración de la solución más concentrada es calculada a través de un balance de masa alrededor de la membrana:

$$C_a^* Q_a = C_p^* Q_p + C_r^* Q_r \quad (3.4)$$

Esta ecuación puede ser también utilizada sustituyendo los caudales por la conversión o recuperación (R) del sistema:

$$C_a = C_p^* R + C_r^* (1-R) \quad (3.5)$$

El porcentaje de rechazo viene dado por la relación entre la concentración en el producto de un determinado ión y su concentración promedio de alimentación:

$$\text{Rechazo (\%)} = (1 - C_p/C_{ar}) * 100 \quad (3.6)$$

Las ecuaciones 3.1 y 3.2 tienen como variable a C_m . Esta no es más que la concentración de la sal (o mejor dicho de los iones) en la capa límite de la solución en contacto con la membrana, la cual es superior a la concentración promedio de alimentación debido al efecto de la polarización de concentración. Para membranas de alto rechazo y condiciones de flujo turbulentas C_m está dada por:

$$C_m = C_{ar} * \exp(Q_w/k) \quad (3.7)$$

donde k es el coeficiente de transferencia de masa en la zona de alta presión y representa la capacidad que tienen los iones de difundir en dirección opuesta a la membrana. El valor de k puede determinarse a través de la definición del Número de Sherwood:

$$Sh = k * dh / D \quad (3.8)$$

en la cual D es la difusividad del ión y dh el diámetro hidráulico del canal por el cual fluye el agua de alimentación-salmuera del módulo.

El número de Sherwood ha sido determinado con valores experimentales para los canales delgados con su respectivo tejido espaciador de las membranas en configuración espiral, obteniéndose la siguiente relación:

$$Sh = 0,065 * Re^{0,875} * Sc^{0,25} \quad (3.9)$$

donde Re es el número de Reynolds y Sc el número de Schmidt que vienen dados por:

$$Re = \rho * v_{ef} * dh / \nu \quad (3.10)$$

$$Sc = \nu / D \quad (3.11)$$

Las ecuaciones requeridas para el cálculo del diámetro hidráulico y la velocidad efectiva en los canales están presentadas en el Apéndice D.

La relación 3.9 se cumple adecuadamente en un régimen de flujo turbulento como el que se logra dentro de los canales hidráulicos de las membranas de configuración en espiral. En estos casos, aunque el Número de Reynold se encuentra dentro del rango que en condiciones normales se consideraría como laminar (100-1000), el efecto del tejido espaciador lo convierte en turbulento.

El efecto de polarización de concentración solo es tomado en cuenta en membranas de configuración en espiral, ya que para las fibras huecas, debido a la pequeña cantidad de flujo por unidad de área de la membrana, este es despreciable. Sin embargo en este tipo de membranas pueden existir zonas de estancamiento dentro de los módulos, en las cuales las concentraciones pueden incrementarse significativamente.

3.3.2.- Factores que influyen sobre el Coeficiente de Permeabilidad al agua.

El coeficiente de permeabilidad al agua, aunque en la mayoría de los casos se considera prácticamente constante, en los cálculos rigurosos debe ser corregido en función de las características de operación de un determinado sistema. Los factores que modifican a este coeficiente se detallan a continuación¹:

1 J.M.DICKSON, T.MATSUURA, P.BLAIS, S.SOURIRAJAN. "Some Transport Characteristics of Aromatic Polyamide Membranes in Reverse Osmosis" Journal of Applied Polymer Science - Vol.20 - pp. 1491-1499 - JW&Sons,Inc - 1976

a.- La presión de operación a la que se somete una determinada membrana modifica al coeficiente de permeabilidad según la relación empírica:

$$A = A_0 * \exp(-\alpha * P) \quad (3.12)$$

donde A_0 es el valor extrapolado de A cuando $P=0$ y α es una constante que depende del material del cual está fabricada la membrana. A_0 es función de la estructura porosa global de la membrana en sus condiciones iniciales y α representa el efecto compresivo debido a la presurización inicial del Sistema; para membranas fabricadas de Poliamidas el valor de esta constante es 0,001264.

Las presiones de operación de un determinado sistema generalmente no varían mucho con respecto a las presiones utilizadas en las pruebas de los fabricantes, por lo tanto las variaciones de A en función de la presión suelen ser poco significativas.

b.- La temperatura del agua de alimentación afecta directamente a sus características físicas; al aumentar disminuye su viscosidad y aumenta su energía molecular. Esto permite un aumento del flujo convectivo a través de los poros de la membrana y a su vez del fenómeno difusivo.

La temperatura estándar a la que se realizan las pruebas de capacidad de los módulos es de 25° C, por lo que si el diseño del sistema se hace para cualquier otra temperatura, la constante A deberá corregirse según la relación:

$$A = A_0 * 1,028^{(T-25)} \quad (3.13)$$

El factor temperatura debe ser controlado de cerca, ya que no es conveniente el aumento del flujo de agua por unidad de área de la membrana por encima de los parámetros de diseño recomendados por el fabricante, ya que conjuntamente aumenta la tasa de ensuciamiento, lo que podría reducir la vida útil de la misma.

c.- Existe una relación entre el valor de A y el pH del agua de alimentación, se cree sea debida a la influencia de los iones OH⁻ presentes en la solución sobre los puentes de hidrógeno que pueda formar el agua con el material de la membrana (responsables en parte de la atracción preferencial de esta por el agua).

Los fabricantes utilizan esta relación en función del porcentaje de rechazo de la membrana para un uso más práctico, pero hay que estar claro que su influencia directa es sobre el flujo de agua. La relación para membranas de poliamida es:

$$\text{Rechazo} = \text{Rechazo máximo} - 0,00105^*(\text{pH}-5,7) \quad (3.14)$$

donde el Rechazo máximo es el valor obtenido a un pH de 5,7 aproximadamente, por debajo del cual la influencia de los iones oxidrilos se vuelve prácticamente nula y la limitante pasa a ser solamente la propiedad de rechazo de la membrana.

d.- Compactación y ensuciamiento de la membrana:

Trabajando a altas presiones, se produce una disminución de la permeabilidad al agua con el transcurso del tiempo. Esta se debe principalmente al ensuciamiento progresivo de la membrana y a una compactación irreversible de la zona altamente porosa, tal como se mencionó en los Capítulos anteriores. La compactación en las membranas compuestas es prácticamente despreciable, mientras que el ensuciamiento gradual depende de las características del agua de alimentación, por lo que no se han desarrollado relaciones genéricas para la determinación de su efecto sobre las membranas.

3.3.3.- Factores que influyen sobre el "Coeficiente de Transporte de sales".

Al igual que el coeficiente de permeabilidad al agua, el de transporte de sales no es constante para cualquier condición de operación de la membrana. Los factores que tienen influencia sobre el se presentan a continuación¹:

a.- Al aumentar la concentración de la solución en la capa límite o concentrada, debido a la mayor cantidad de moléculas presentes en esta zona, el rechazo preferencial por parte de la membrana disminuye su eficiencia, por lo que una mayor cantidad de dichas moléculas es capaz de alcanzar la superficie de la membrana atravesándola posteriormente con una mayor facilidad. Se ha determinado experimentalmente que para membranas de poliamidas, la relación entre el coeficiente de transporte de sales y la fracción molar del soluto en la capa límite concentrada puede expresarse como:

$$D_{am}/K\delta \approx X_w^{0,299} \quad (3.15)$$

Para una membrana determinada trabajando a presión constante, el valor del coeficiente puede determinarse de forma práctica como:

$$D_{am}/K\delta = (D_{am}/K\delta)_{ref} * [X_w/X_{wref}]^{0,299} \quad (3.16)$$

1 J.M.DICKSON, T.MATSUURA, P.BLAIS, S.SOURIRAJAN. "Some Transport Characteristics of Aromatic Polyamide Membranes in Reverse Osmosis" Journal of Applied Polymer Science" Vol.20 - pp. 1491-1499 - JW&S,Inc. -1976

b.- Al incrementarse la presión de operación del sistema, se incrementa el coeficiente de transporte de sales de la membrana; esto se debe a que una mayor presión "empuja" a las moléculas o iones contra la pared de la membrana con una fuerza mayor capaz de disminuir el efecto repulsivo de la misma, dándoles mayor energía para el transporte difusivo y convectivo a través de ella. La correlación utilizada para tomar en cuenta este efecto es:

$$D_{\text{am}}/K\delta = (D_{\text{am}}/K\delta)_{\text{ref}} * [P/P_{\text{ref}}]^{0,176} \quad (3.16)$$

Estas correlaciones fueron determinadas para soluciones de NaCl.

3.4.- Selección de la Membrana.

Las tablas 3.1 a 3.3 presentadas en la páginas siguientes presentan los parámetros de operación, calculados según las ecuaciones mencionadas, de las distintas membranas alternativas consideradas. Estos valores fueron corregidos para ser llevados a una misma base, en función de las condiciones de operación de la membrana que anticipadamente se estimó como la más adecuada para el sistema. Esta membrana es la SW30HR-4040 de Film Tec Corporation. Las razones de esta selección previa fueron las mejores características de rechazo que posee esta membrana y la productividad de la misma dentro de los valores requeridos. Sin embargo es necesaria una evaluación exhaustiva de los parámetros indicados en los puntos anteriores.

Comparando los valores representativos de cada una de las membranas puede observarse que la relación B/A es menor para las Film Tec SW30HR.

Cálculo de los Parámetros de funcionamiento de la membrana

Permeadores Permasep B-10 de Dupont

	B-10/6440T	B-10/6845T
Ca (mg/l)	35000.00	35000.00
Cr (mg/l)	53536.28	53536.28
Car (mg/l)	44268.14	44268.14
Car (g-mol/cm^3)	7.574609E-04	7.574609E-04
Car (ppm)	43087.54	43087.54
k1 (cm/seg)		
Cm (g-mol/cm^3)		
Fracción molar NaCl		
Cm(ppm)		
Cp (mg/l)	575.49	575.49
Cp (g-mol/cm^3)	9.846992E-06	9.846992E-06
Cp (ppm)	576.99	576.99
Recup. (%)	35.00%	35.00%
Rechazo (%) @ pH=8	98.70%	98.70%
Pa(atm)	68.0462	68.0462
Pp (atm)	1.0000	1.0000
CPar (atm)	0.3402	0.3402
far (atm)	35.1528	35.1528
fip (atm)	0.4507	0.4507
T (°C)	25.00	25.00
Qw (l/d)	7570.00	26500.00
Qw (l/h)	315.42	1104.17
Qw (cm^3/seg)	87.62	306.71
Area (cm^2)		
Qw (cm^3/cm^2*seg)		
Qw (l/m^2*h)		
A (cm^3/seg*atm)	2.74	9.58
A (cm^3/cm^2*seg*atm)		
Qs (g-mol/seg)	8.627515E-04	3.020200E-03
Qs (g-mol/cm^2*seg)		
B ref.(cm^3/seg)	1.1540	4.0398
B ref.(cm^3/cm^2*seg)		
Factor correlativo		
B (cm^3/cm^2*seg)		
B/A	0.4215	0.4215
Qf (l/h)	901.19	3154.76
Qb (l/h)	585.77	2050.60

Cálculo de los Parámetros de funcionamiento de la membrana

Membranas TFC de UOP Fluid System

	TFC 2021SS	TFC 1020 SS	TFC 7020 SS
Ca (mg/l)	32000.00	32000.00	32000.00
C _r (mg/l)	34382.58	34382.58	34382.58
Car (mg/l)	33191.29	33191.29	33191.29
Car (g-mol/cm ³)	5.679278E-04	5.679278E-04	5.679278E-04
Car (ppm)	32544.68	32544.68	32544.68
k ₁ (cm/seg)	0.006243	0.005542	0.005259
C _m (g-mol/cm ³)	6.390916E-04	6.421770E-04	6.415787E-04
Fracción molar NaCl	0.01154924	0.01160504	0.01159395
C _m (ppm)	36520.22	36692.08	36658.75
C _p (mg/l)	345.69	345.69	345.69
C _p (g-mol/cm ³)	5.914968E-06	5.914968E-06	5.914968E-06
C _p (ppm)	346.63	346.63	346.63
Recup. (%)	7.00%	7.00%	7.00%
Rechazo (%) @ pH=6	98.96%	98.96%	98.96%
P _a (atm)	54.4370	54.4370	54.4370
P _p (atm)	1.0000	1.0000	1.0000
CPar (atm)	0.4011	0.6805	0.6805
Var (atm)	29.5918	29.7364	29.7083
Vp (atm)	0.2707	0.2707	0.2707
T (°C)	25.00	25.00	25.00
Q _w (l/d)	15140.00	3406.50	1040.88
Q _w (l/h)	630.83	141.94	43.37
Q _w (cm ³ /seg)	175.23	39.43	12.05
Area (cm ²)	237752.00	57900.00	18788.00
Q _w (cm ³ /cm ² *seg)	7.370347E-04	6.809514E-04	6.412159E-04
Q _w (l/m ² *h)	26.53	24.51	23.08
A (cm ³ /seg*atm)	7.33	1.67	0.51
A (cm ³ /cm ² *seg*atm)	3.081858E-05	2.881595E-05	2.710230E-05
Q _s (g-mol/seg)	1.036489E-03	2.332099E-04	7.125859E-05
Q _s (g-mol/cm ² *seg)	4.359537E-09	4.027806E-09	3.792772E-09
B ref.(cm ³ /seg)	1.6370	0.3665	0.1121
B ref.(cm ³ /cm ² *seg)	6.885183E-06	6.330419E-06	5.966632E-06
Factor correlativo	1.0537	1.0527	1.0530
B (cm ³ /cm ² *seg)	7.255216E-06	6.664055E-06	6.282890E-06
B/A	0.2354	0.2313	0.2318
Q _f (l/h)	9011.90	2027.68	619.57
Q _b (l/h)	8381.07	1885.74	576.20

Cálculo de los Parámetros de funcionamiento de la membrana

Membranas FT-30 de FilmTec Corporation

	SW30HR-8040	SW30HR-4040	SW30HR-2540
Ca (mg/l)	35758.48	35758.48	35758.48
Cr (mg/l)	39698.11	39698.11	39698.11
Car (mg/l)	37728.29	37728.29	37728.29
Car (g-mol/cm^3)	6.455593E-04	6.455593E-04	6.455593E-04
Car (ppm)	36880.43	36880.43	36880.43
k1 (cm/seg)	0.004732	0.004606	0.004551
Cm (g-mol/cm^3)	7.543580E-04	7.608043E-04	7.605766E-04
Fracción molar NaCl	0.01363430	0.01375425	0.01374671
Cm(ppm)	42912.55	43268.33	43255.77
Cp (mg/l)	301.83	301.83	301.83
Cp (g-mol/cm^3)	5.164475E-06	5.164475E-06	5.164475E-06
Cp (ppm)	302.66	302.66	302.66
Recup. (%)	10.00%	10.00%	10.00%
Rechazo (%) @ pH=8	99.20%	99.20%	99.20%
Pa(atm)	54.4370	54.4370	54.4370
Pp (atm)	1.0000	1.0000	1.0000
CPar (atm)	3.5502	0.3363	0.0486
Par (atm)	35.0037	35.3070	35.2963
Ip (atm)	0.2364	0.2364	0.2364
T (°C)	25.00	25.00	25.00
Qw (l/d)	15140.00	3785.00	1211.20
Qw (l/h)	630.83	157.71	50.47
Qw (cm^3/seg)	175.23	43.81	14.02
Area (cm^2)	237752.00	57900.00	18788.00
Qw (cm^3/cm^2*seg)	7.370347E-04	7.566126E-04	7.461421E-04
Qw (l/m^2*h)	26.53	27.24	26.86
A (cm^3/seg*atm)	10.37	2.41	0.76
A (cm^3/cm^2*seg*atm)	4.362556E-05	4.157635E-05	4.065553E-05
Qs (g-mol/seg)	9.049785E-04	2.262446E-04	7.239828E-05
Qs (g-mol/cm^2*seg)	3.806397E-09	3.907507E-09	3.853432E-09
B ref.(cm^3/seg)	1.2079	0.2994	0.0958
B ref.(cm^3/cm^2*seg)	5.080659E-06	5.171123E-06	5.101099E-06
Factor correlativo	1.0079	1.0000	0.9997
B (cm^3/cm^2*seg)	5.121002E-06	5.171123E-06	5.099558E-06
B/A	0.1174	0.1244	0.1254
Qf (l/h)	6308.33	1577.08	504.67
Qb (l/h)	5677.50	1419.38	454.20

Se descarta el uso de membranas de Fibra Hueca por los siguientes motivos:

- * Alta relación B/A (cercana a 0,5)
- * Este tipo de membranas son susceptibles a incrustaciones con más facilidad que las de configuración en espiral porque dentro de los módulos pueden ocurrir estancamientos del fluido de alimentación.
- * Requieren de un adecuado pre-tratamiento, para evitar el ensuciamiento.
- * Despues del lavado y limpieza de estos módulos es necesario la adición de una solución de acido tónico para recuperar las condiciones iniciales de la membrana.
- * La reposición de este tipo de membranas requiere de un manejo cuidadoso y herramientas especiales.

Tal como se observa en las figuras 3.1-3.10¹ en todos los casos se obtiene que las membranas SW30HR son superiores a las del tipo TFC, debido a ello se utilizará este tipo de membranas en la unidad.

Del tipo de membranas seleccionadas existen diferentes modelos: elementos de 2.5, 4 y 8 pulgadas de diámetro cuya diferencia entre ellas es el área total de la misma. Por lo tanto, el uso de uno u otro de estos elementos depende del caudal o flujo de producto que se requiera para una determinada aplicación.

1 Los valores obtenidos en estas gráficas se obtuvieron con la ayuda de una hoja de cálculo de microcomputadora, utilizando para ello las ecuaciones presentadas previamente.

**Calidad del producto
vs.
Concentracion de la alimentacion**

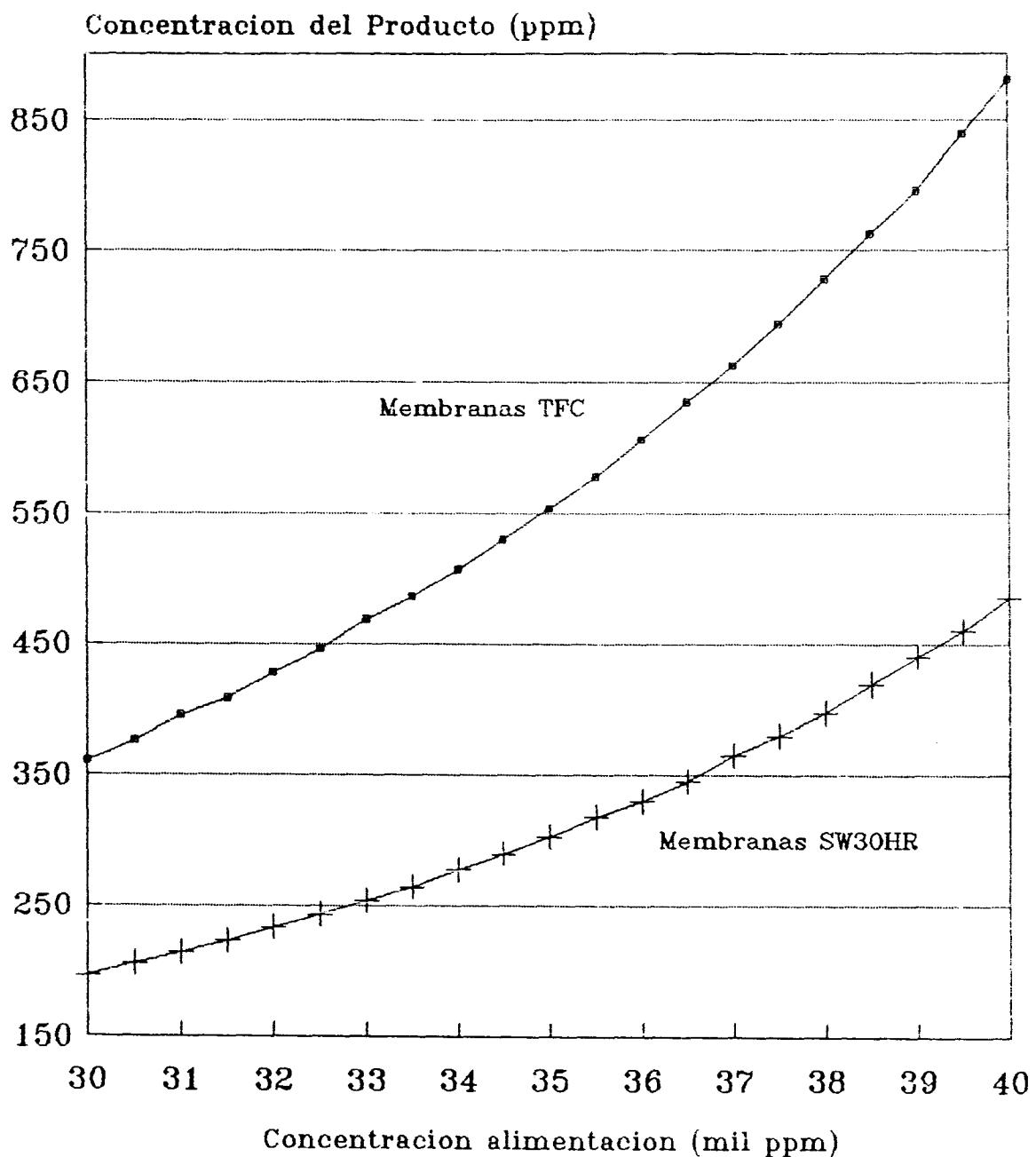


Figura 3.1

**Calidad del Producto
vs.
Conversion**

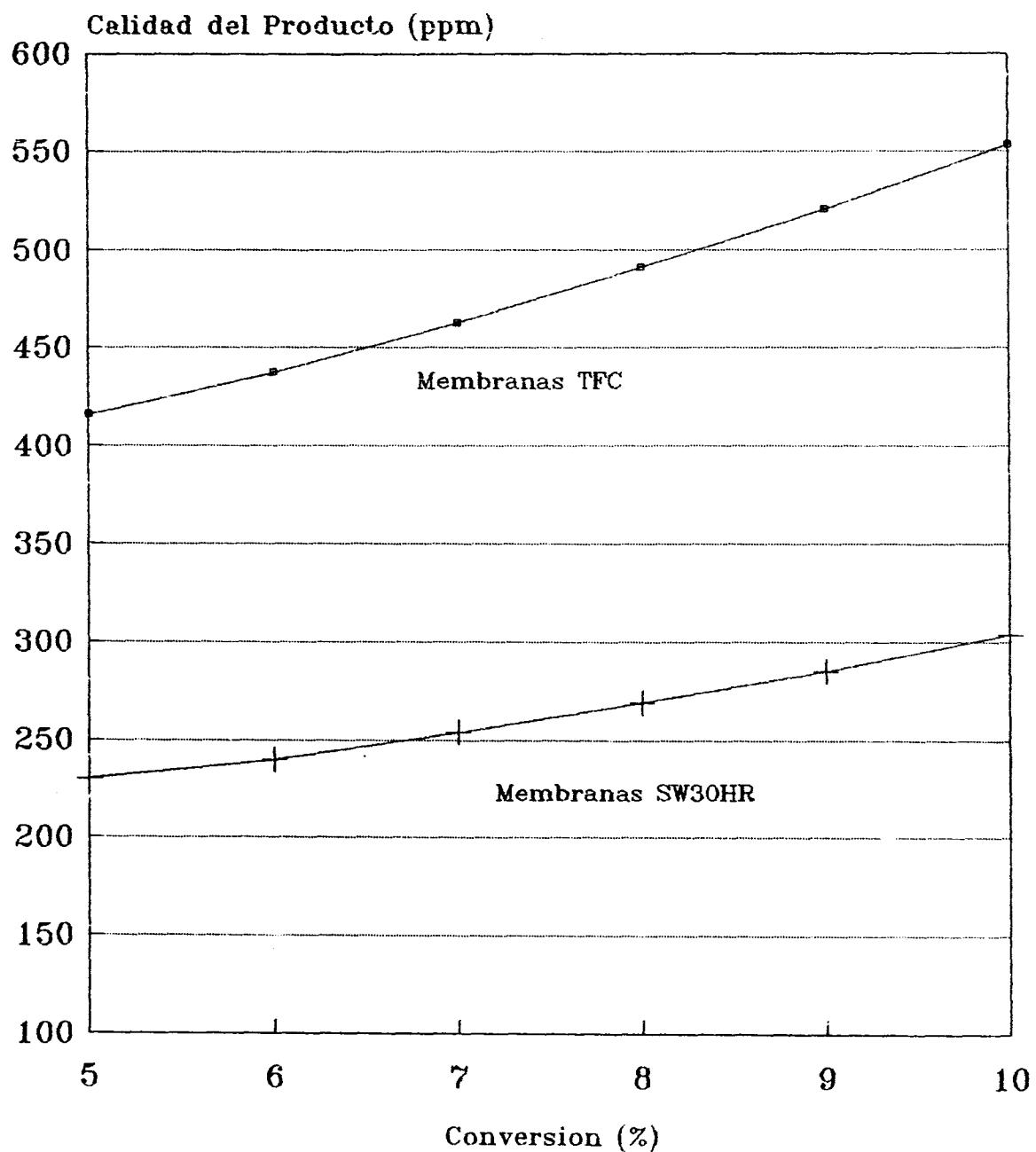


Figura 3.2

Rechazo
vs.
Concentracion de la alimentacion

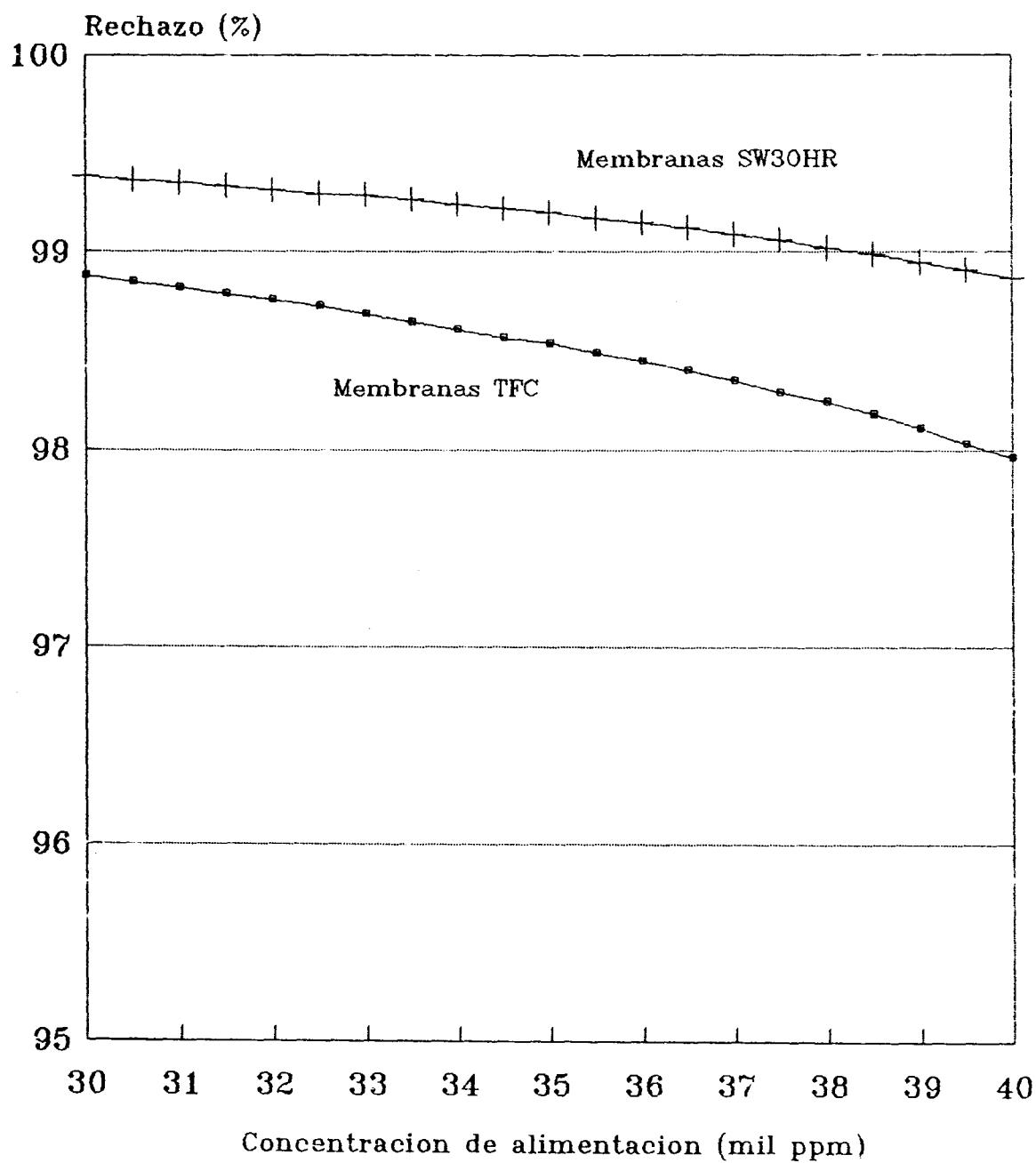


Figura 3.3

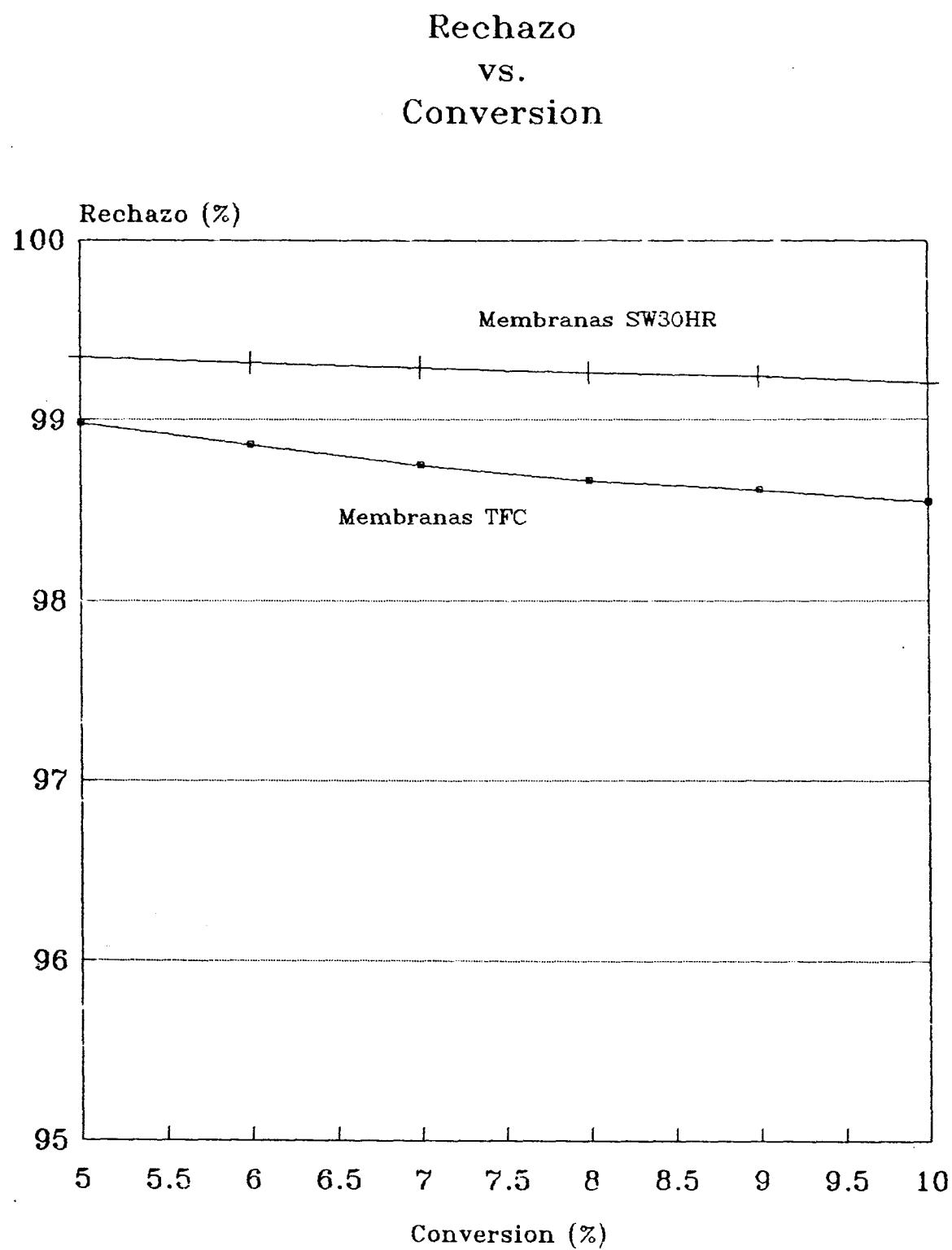


Figura 3.4

Membranas de 2.5''
Productividad vs.
Concentracion de la alimentacion

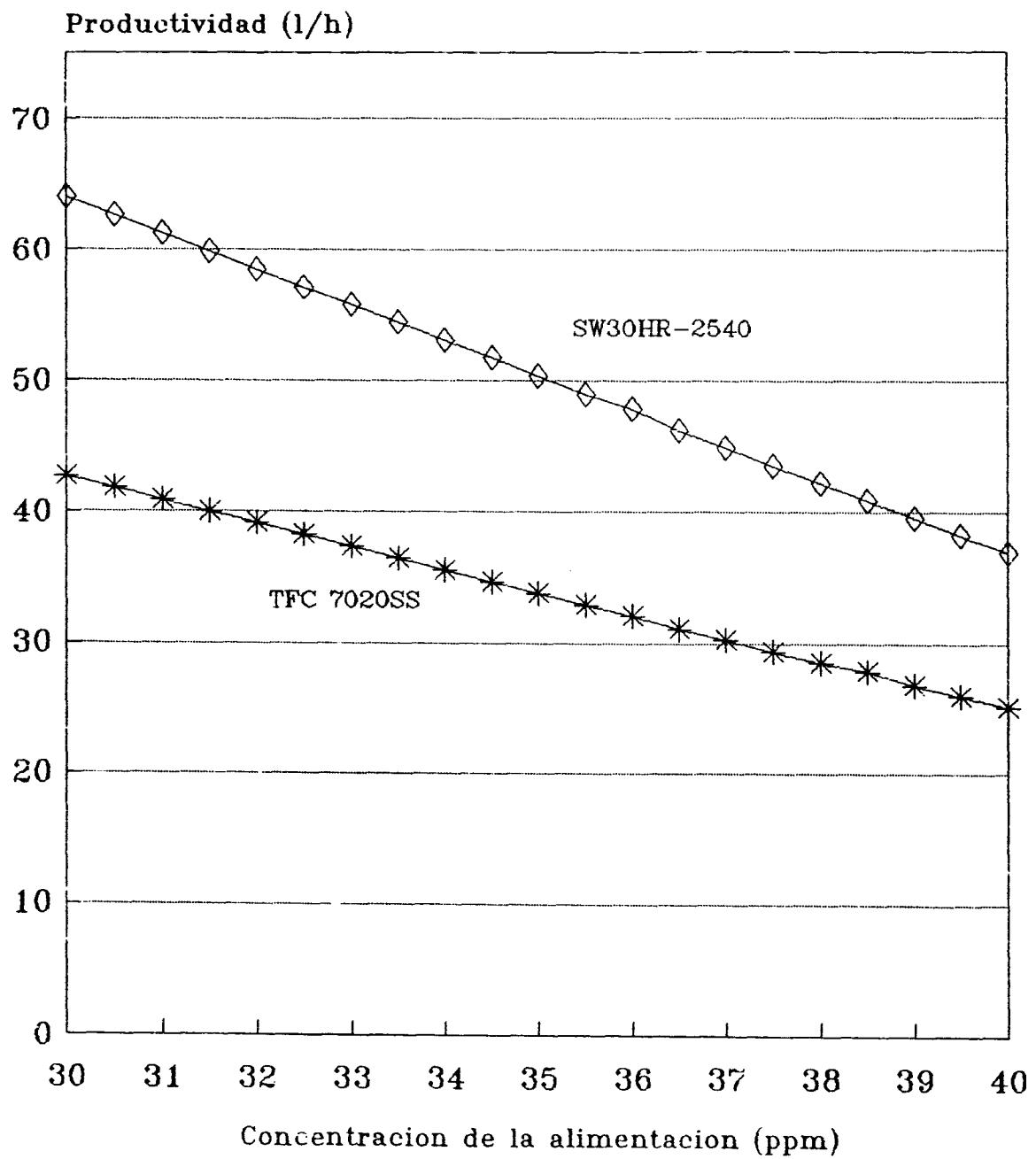


Figura 3.5

Membranas de 4"
Productividad vs.
Concentracion de la alimentacion

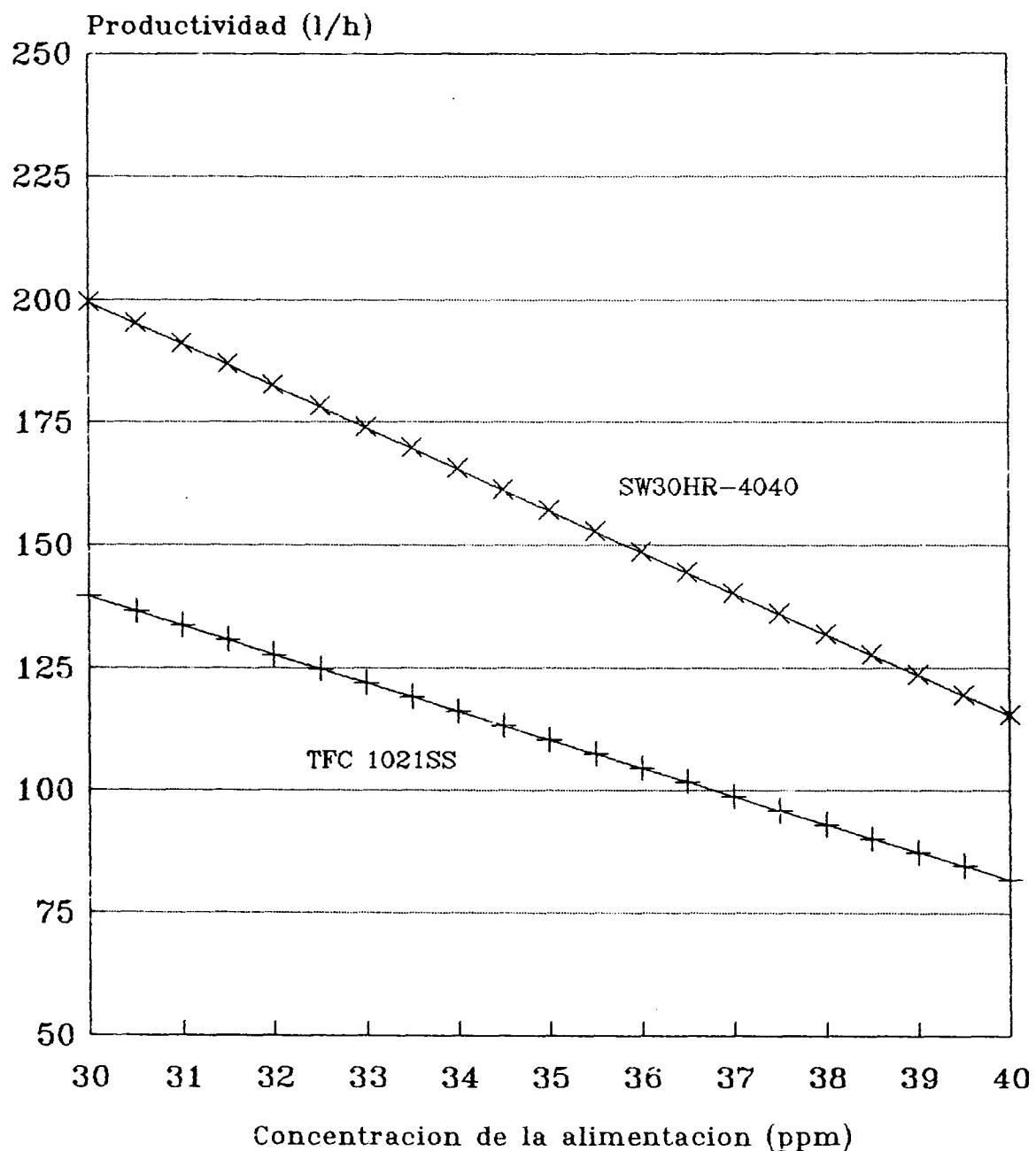


Figura 3.6

Membranas de 8"
Productividad vs.
Concentración de la alimentación

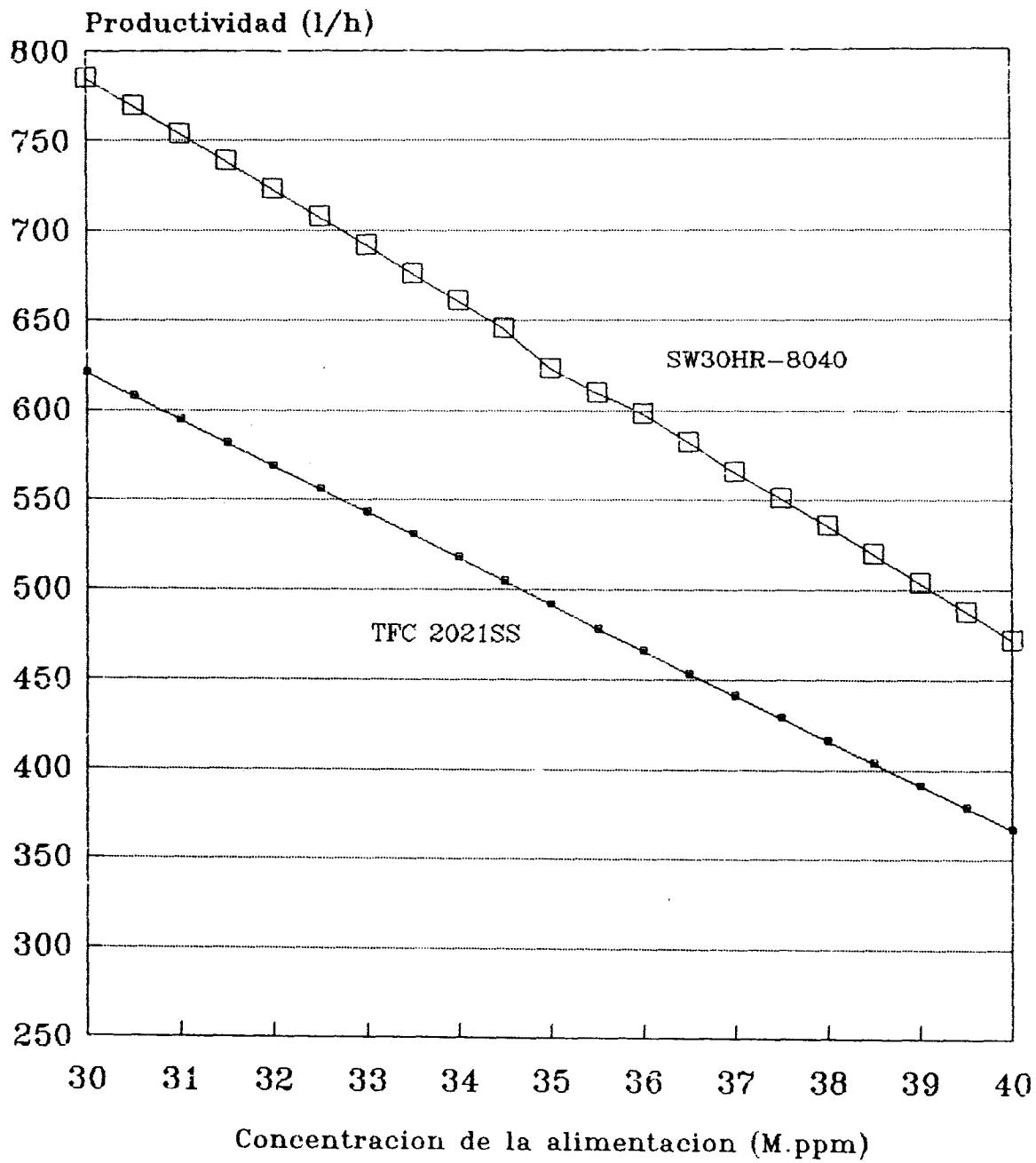


Figura 3.7

Membranas de 2,5"
Productividad vs.
Conversion

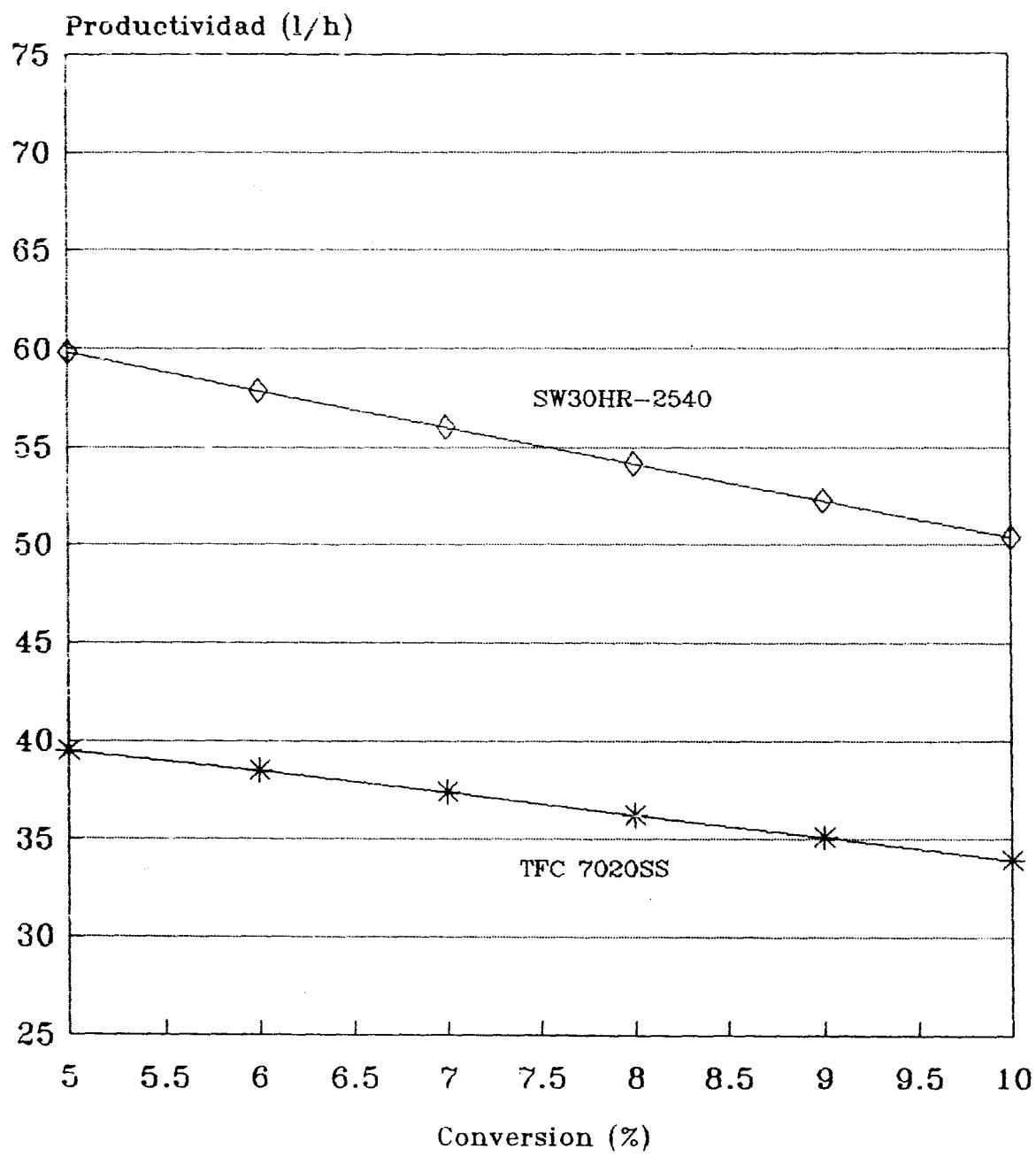


Figura 3.8

Membranas de 4'' Productividad vs. Conversion

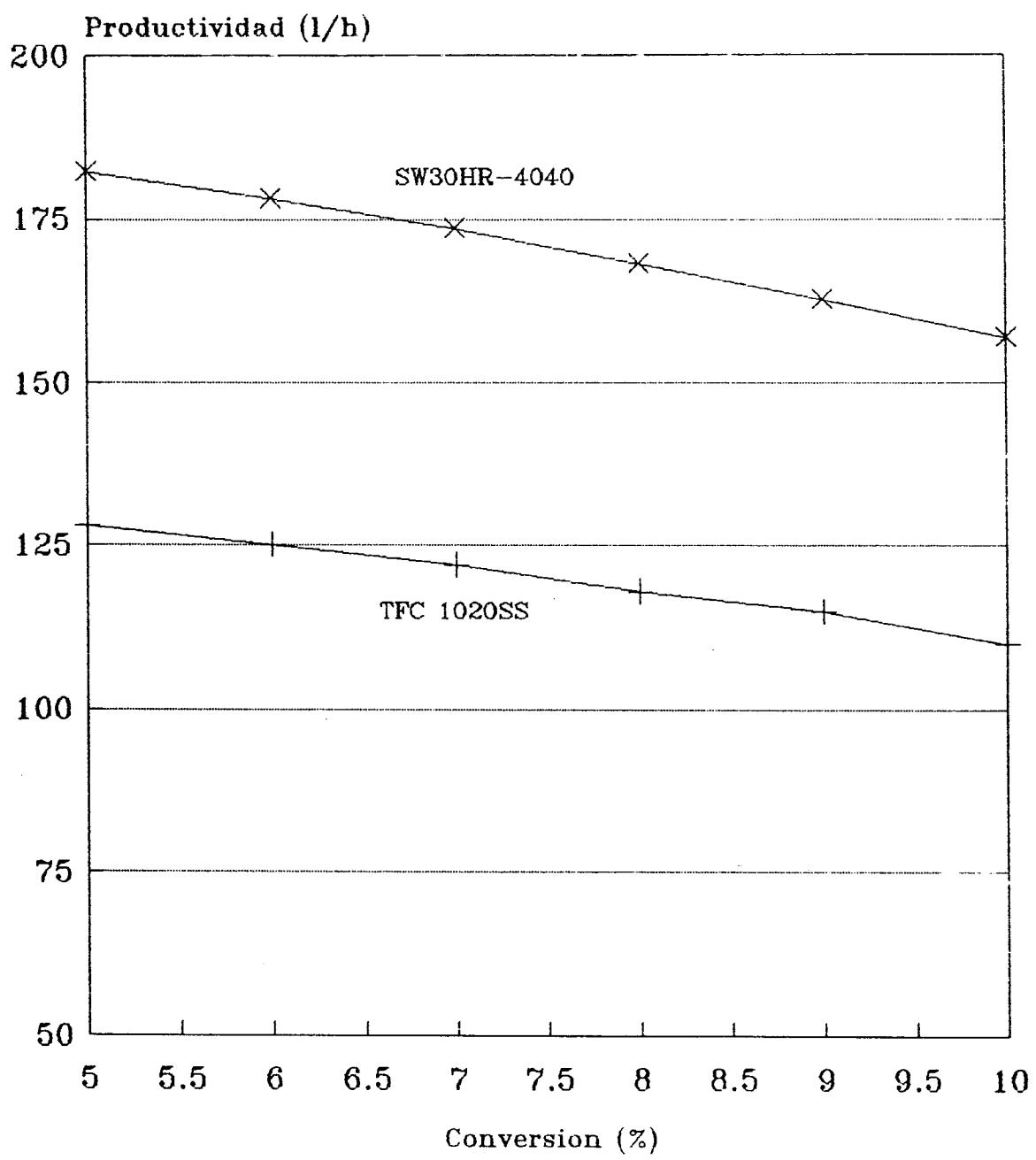
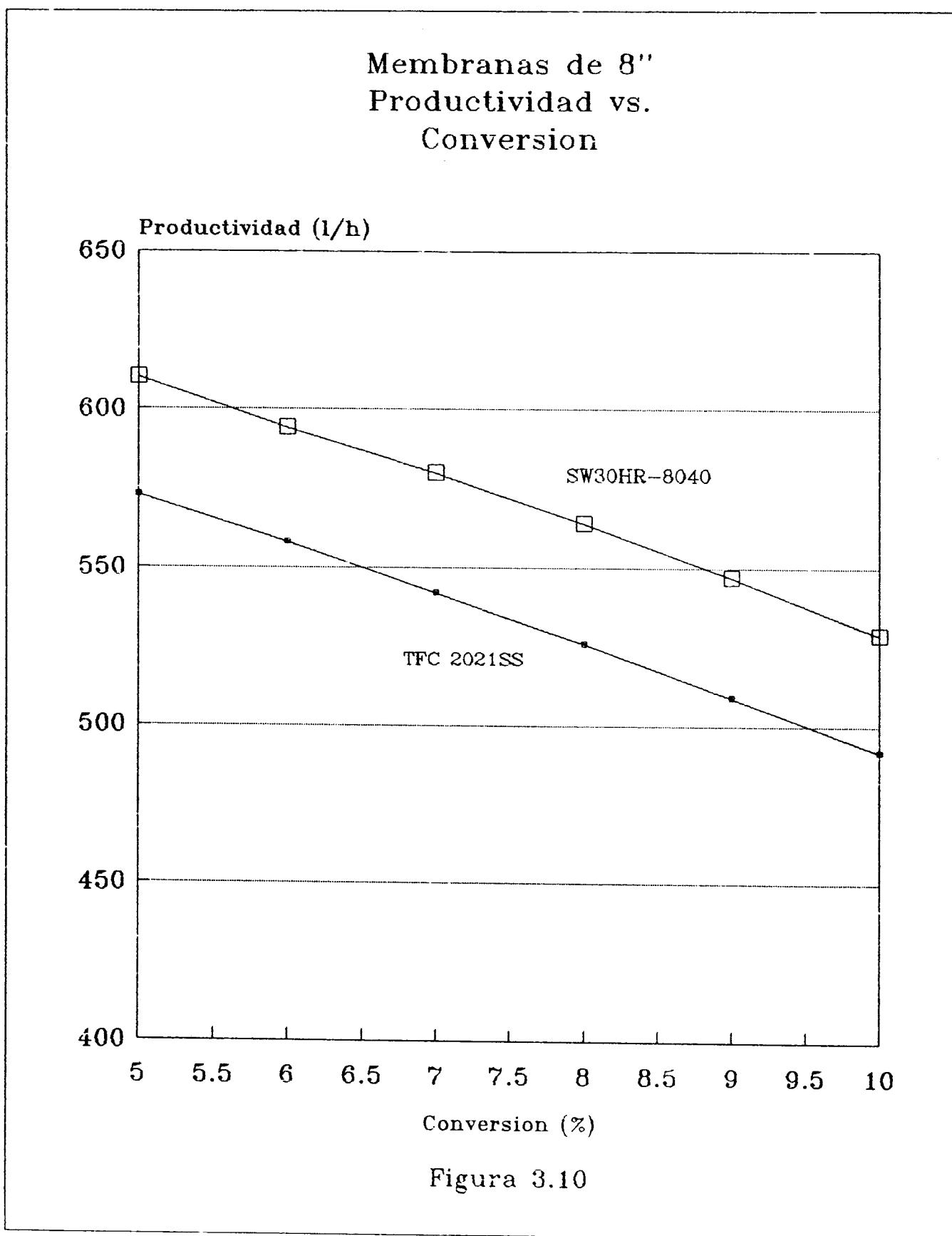


Figura 3.9



Resumen de las características físicas de las distintas membranas

Dimensiones	B-10		TFC			SW30HR		
	6440T	6845T	2021SS	1020SS	7020SS	8040	4040	2540
Diámetro ("")	5	8	6	4	2.5	2.5	4	2.5
Longitud ("")	50	59	40	40	40	40	40	40
Peso (kg)	32*	122*	18.1	4.5	1.8	18.1	4.5	1.8

* Incluyendo el recipiente contenedor

Aplicación	Solución Optima
Bajos consumos modulos de hasta 40-60 lt/hora	SW30HR-2540
Consumos medios (Familiares) Módulos de 120-180 l/h	SW30HR-4040
Altos consumos (Industriales) Módulos de 500-700 l/h	SW30HR-8040

En este caso, el objetivo es el diseño de una unidad de tipo modular, cuya configuración mínima permita el abastecimiento de agua a nivel familiar, es decir para 5-6 personas consumiendo 300 litros por día de agua, es decir, 1500-1800 litros diarios. Por lo tanto se selecciona al elemento SW30HR-4040, el cual es capaz de producir un promedio de 150 litros por hora de agua potable y 1800 litros trabajando aproximadamente doce horas diarias. Sin embargo estaría en capacidad de producir hasta el doble de esta cantidad si trabajara el día completo.

En la tabla 3.4 se presentan las alternativas de selección para diferentes aplicaciones.

3.4.- Parámetros y Curvas de Operación de la membrana seleccionada.

Como se mencionó anteriormente, el comportamiento de las membranas varía en función de las condiciones de operación a las que es sometida en un determinado sistema. El cálculo de los parámetros de comportamiento de las membranas que deben conocerse en ciertas condiciones específicas de funcionamiento, requiere de un proceso iterativo que relaciona todas las ecuaciones mencionadas previamente hasta la obtención de los mismos¹.

1 En el Apéndice D se presentan algunos de estos parámetros en distintas condiciones de trabajo, calculados a través de una Hoja de Cálculo obtenida con la ayuda de un microcomputador.

Todos los parámetros experimentales de las membranas se obtienen utilizando soluciones de NaCl, ya que existe un mayor control sobre la composición de las mismas, facilitando la experimentación con distintos valores de concentraciones. Sin embargo en la práctica, estas membranas son alimentadas con agua de mar, la cual difiere (aunque levemente) de las soluciones ideales mencionadas. Para trabajar con los valores obtenidos del proveedor, es necesaria la conversión de la concentración de sólidos disueltos en el agua de mar (dada en TDS) a una concentración equivalente de una solución pura de Cloruro de Sodio (dada en mg/l).

Si dos soluciones diferentes compuestas por el mismo solvente pero distintos solutos poseen la misma presión osmótica, el comportamiento molecular de estas soluciones es prácticamente el mismo, ya que dicha presión osmótica es una medida de este comportamiento (recuérdese que es una de las propiedades coligativas de las soluciones). Entonces la concentración del agua de mar puede ser convertida a su equivalente Iso-osmótico de NaCl conociendo la relación existente entre las concentraciones y la presión osmótica. La figura 3.11 presenta estas relaciones¹ para la conversión de una solución a la otra.

Como se ha venido mencionando en Capítulos anteriores, los elementos externos que tienen influencia sobre las características operativas de las membranas son muy variados y variables. Generalmente, los que pueden y deben ser controlados en un sistema específico son: TDS, temperatura y pH del agua de alimentación; diferencia de presiones externas a la que es sometida la membrana, es decir, diferencia entre presión de alimentación y presión de salida del producto y porcentaje de recuperación o conversión del sistema. Los parámetros principales

1 Valores obtenidos de las tablas A-16 (Agua de mar) y A-17 (NaCl-H₂O) de: S. SOURIRAJAN, "Reverse Osmosis" - Academic Press, New York - 1970.

Conversion de TDS de Agua de Mar (ppm) a su equivalente iso-osmotico de solucion de NaCl (ppm) - Temperatura 25oC

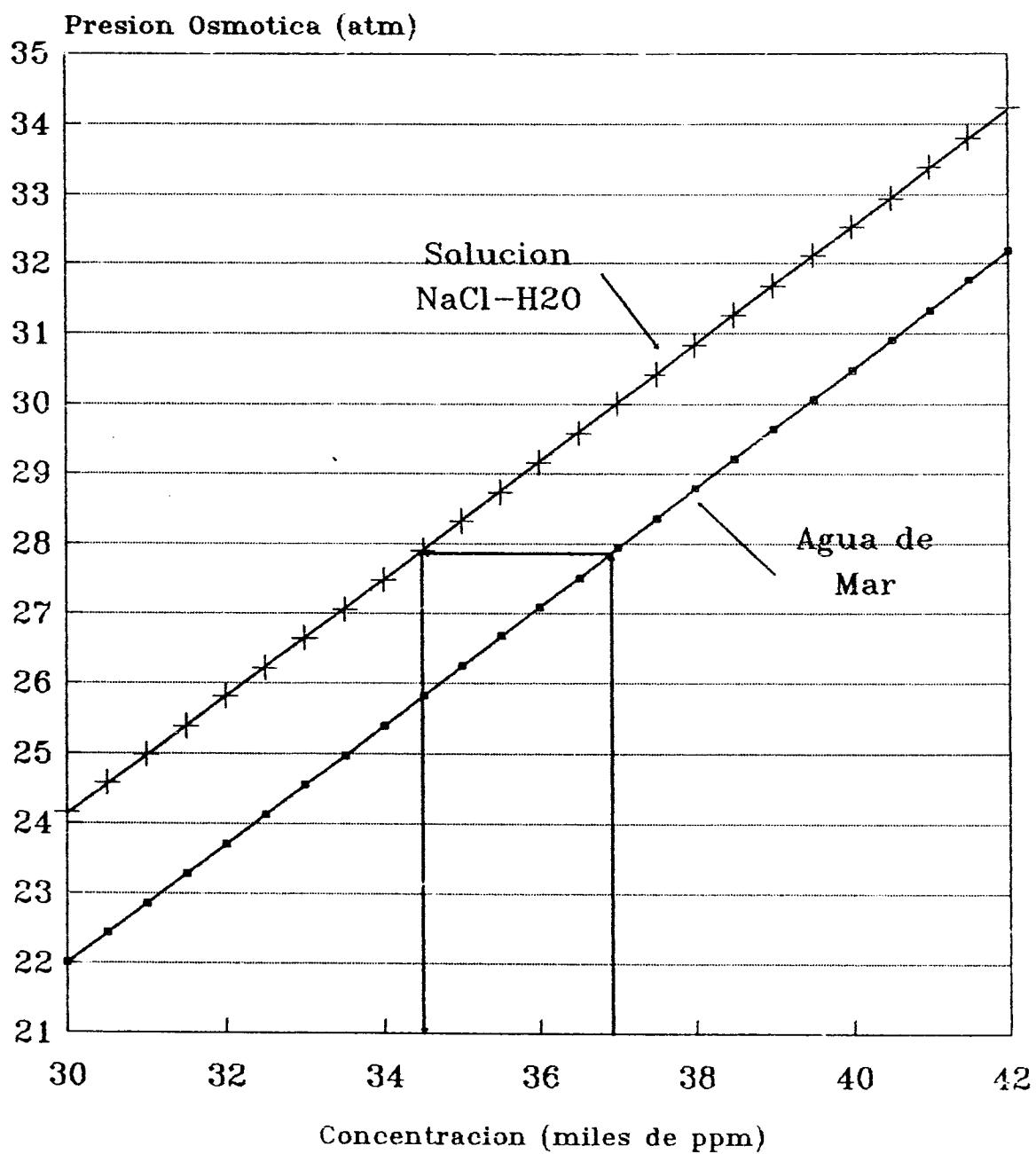


Figura 3.11

de operación que son modificados por estos factores son: calidad y cantidad de agua potable producida; caudal de producto por unidad de área de membrana, el cual influye directamente sobre la tasa de ensuciamiento de la membrana.

Debido a la variabilidad de las condiciones externas mencionadas, las curvas de operación deben construirse manteniendo constantes algunas de ellas para verificar la influencia de otras. Las figuras 3.12-3.21 son un ejemplo de las curvas de operación mas representativas, ya que reflejan las condiciones que pueden ocasionar una mayor variabilidad. En ellas pueden notarse los efectos mencionados con anterioridad y que se precisan a continuación:

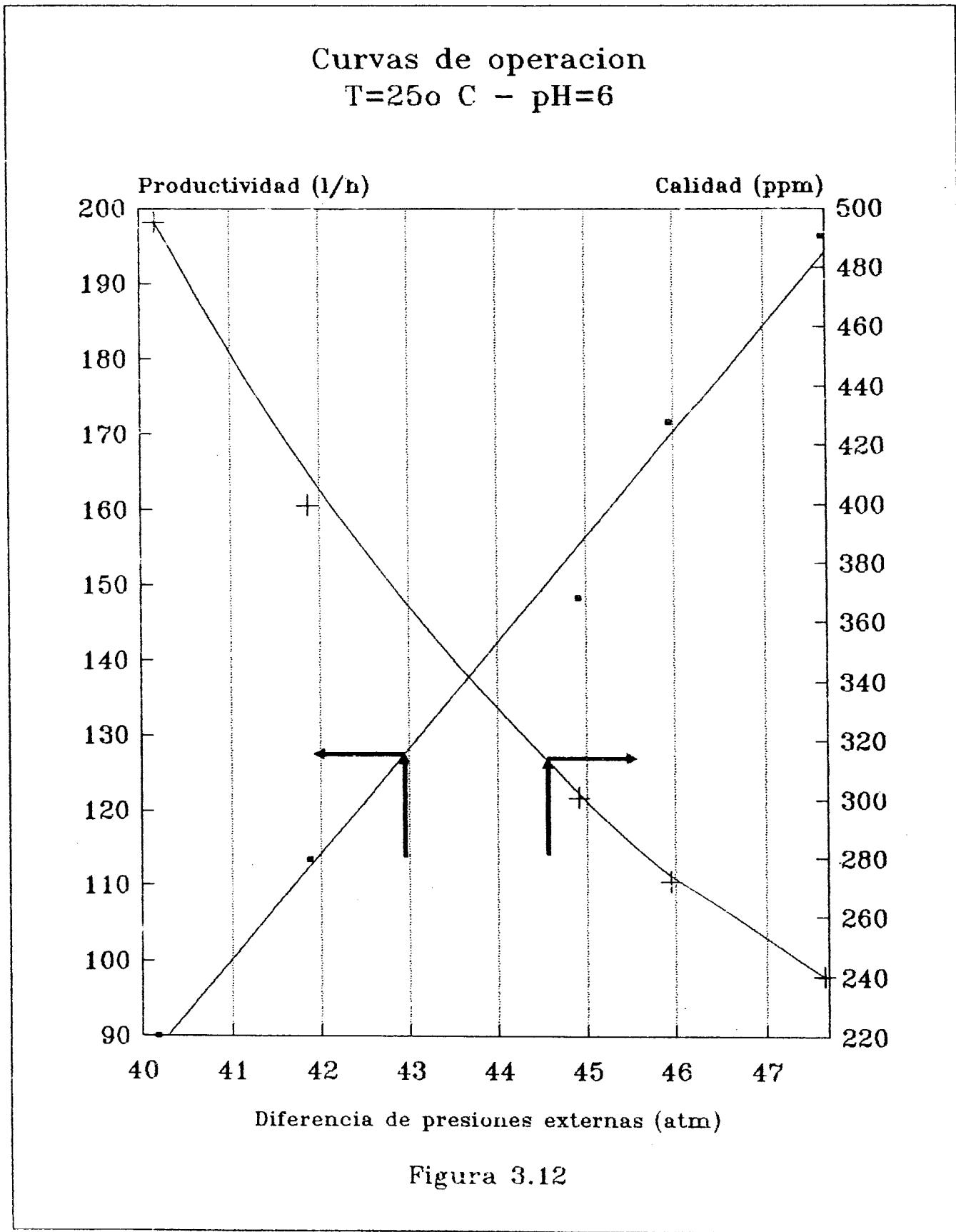
- * A temperatura constante, si ocurre un aumento de pH, debe incrementarse la presión externa aplicada sobre la membrana para obtener mayor cantidad y mejor calidad de producto.
- * A pH constante, un aumento de temperatura produce un incremento en la cantidad de agua producida y una mejora en la calidad de la misma si se mantiene constante la presión externa aplicada.
- * A pH y temperatura constantes, si ocurre un aumento en la concentración del agua de alimentación debe elevarse la diferencia de presiones externas para obtener la misma cantidad y calidad de agua producto.

Existen diversas limitantes en cuanto al caudal que puede obtenerse en el producto, estas limitantes son la conversión máxima y el flujo máximo por unidad de área de membrana (factores definidos por el fabricante), ya que altos valores de estos producen un ensuciamiento acelerado de la membrana, lo cual no es conveniente. Para las membranas SW30HR-4040 son 10% y $34 \text{ l/m}^2\text{*h}$ respectivamente. Se decidió operar en el máximo valor de conversión, es decir, 10% para obtener un máximo rendimiento del equipo, debido a lo cual es conveniente operar a valores no muy cercanos del límite de flujo por unidad de área, para así prevenir

el efecto mencionado. Otro parámetro que será mantenido constante es el caudal total de producto en 160 l/h para mantener un mejor control de la producción de agua del equipo.

El ensuciamiento gradual de la membrana produce un efecto similar a la reducción del área efectiva de la misma, en cuyo caso deben variarse ciertos factores de operación si se quiere mantener constante el parámetro mencionado. Partiendo de una presión efectiva sobre la membrana de 55,1 atm. (necesaria para mantener un flujo de 160 l/h cuando la membrana está limpia), a medida que ésta se ensucia, debe incrementarse la presión o reducirse la conversión (ya que así se reduciría la concentración de sales en la capa límite y por ende aumentaría el flujo a través de la membrana), aunque en este último caso sería necesario incrementar el caudal de alimentación. Se optó por la primera solución, ya que su efecto es más significativo y por la decisión de mantener la conversión constante en 10%, además, modificando la conversión, no es posible actuar más allá de un ensuciamiento equivalente al de una reducción de área de 90% aproximadamente, ya que el efecto de la disminución de la concentración deja de ser significativo. Estos efectos están reflejados en las figuras 3.22-3.24.

En ellas puede observarse igualmente que no debe superarse una diferencia de presiones de aproximadamente 62 atm. ya que se estaría incrementando el flujo por unidad de área por encima de los $30 \text{ l/m}^2\text{h}$. En caso de alcanzar esta presión, ya es hora de someter a la membrana a un proceso de lavado.



Curvas de operacion
T=25° C - pH=7

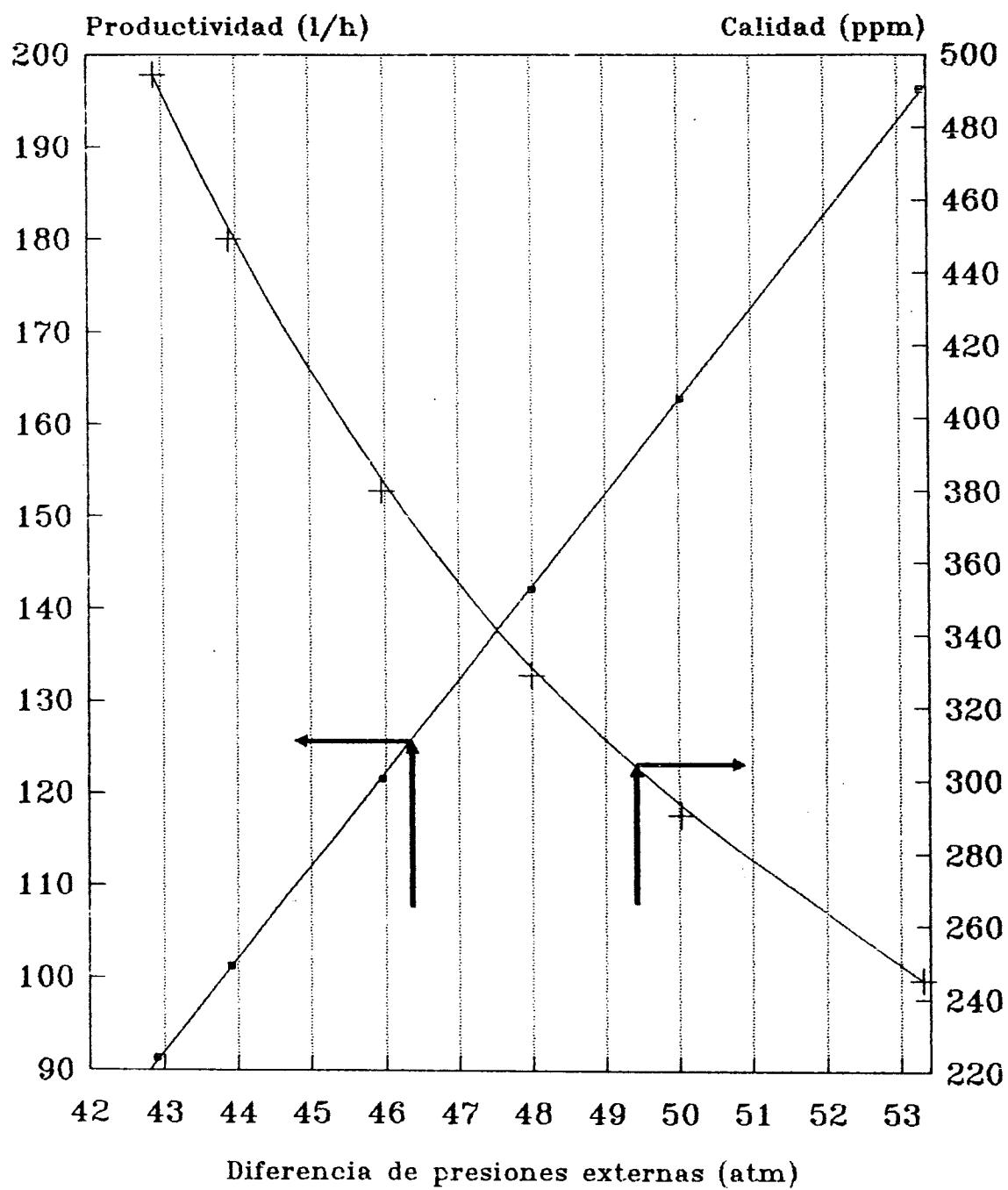


Figura 3.13

Curvas de operacion

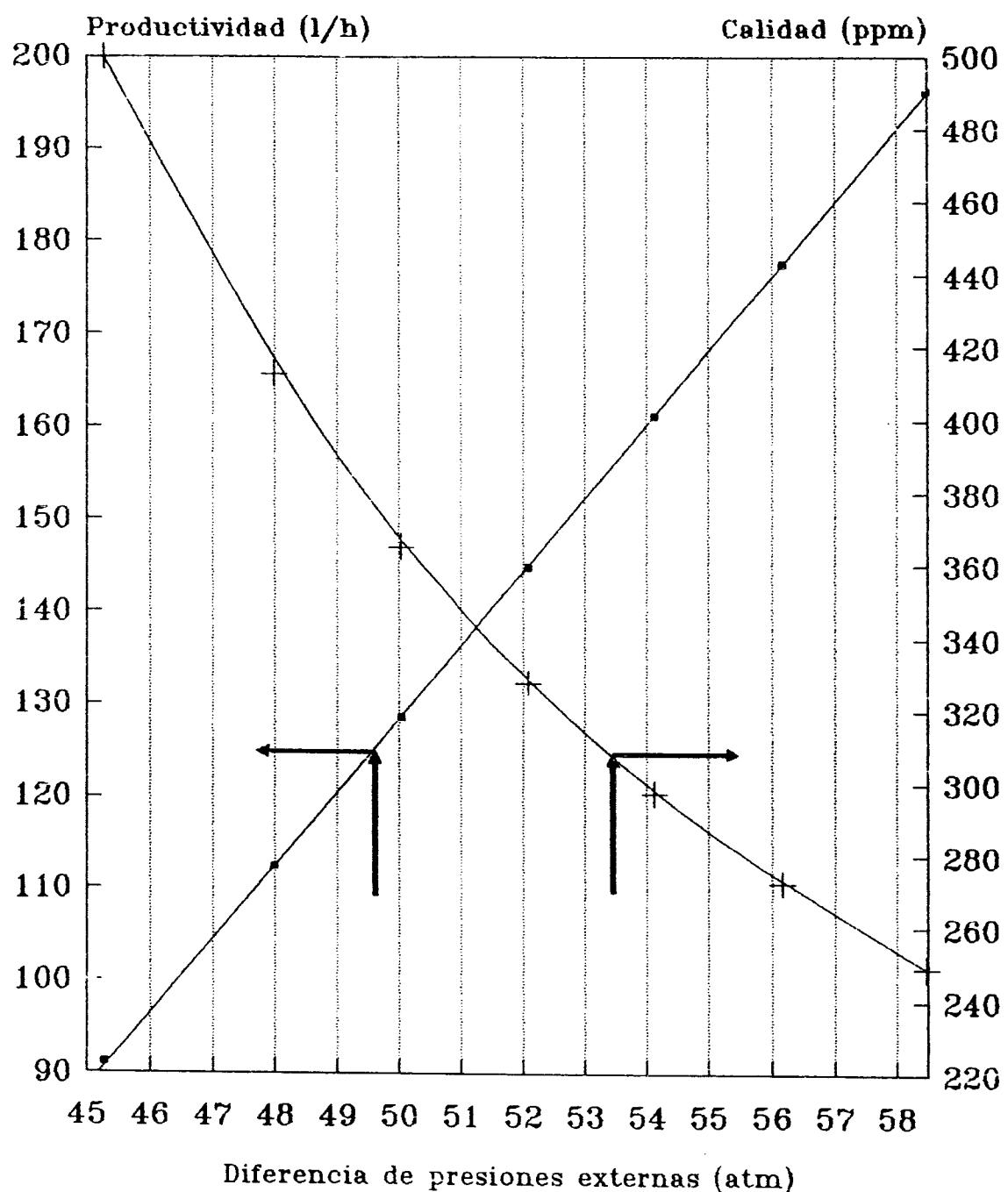
 $T=25^{\circ}\text{C}$ - $\text{pH}=8$ 

Figura 3.14

Curvas de operacion
T=20°C - pH=8,2

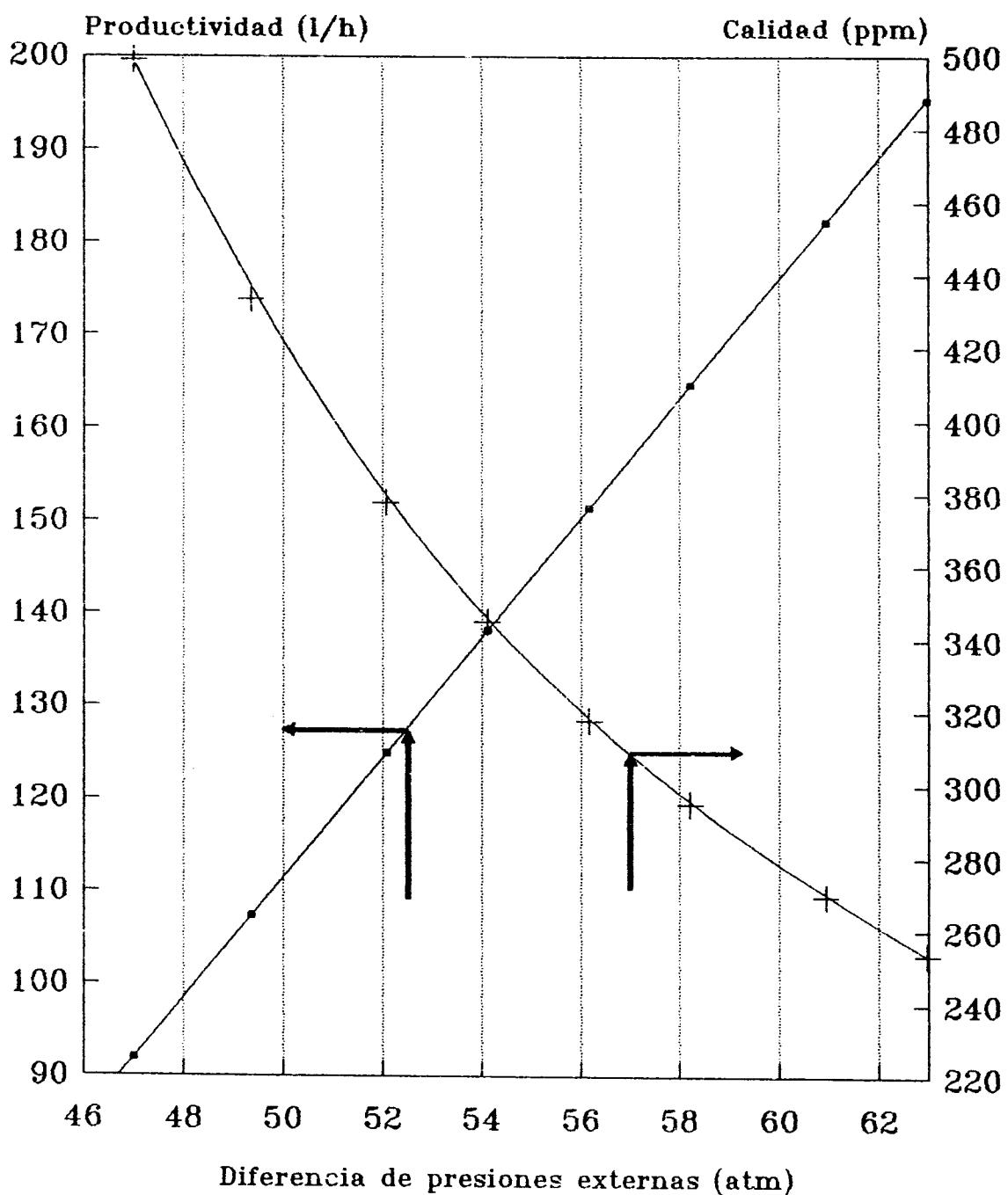


Figura 3.15

Curvas de operacion
T=25° C - pH=8,2

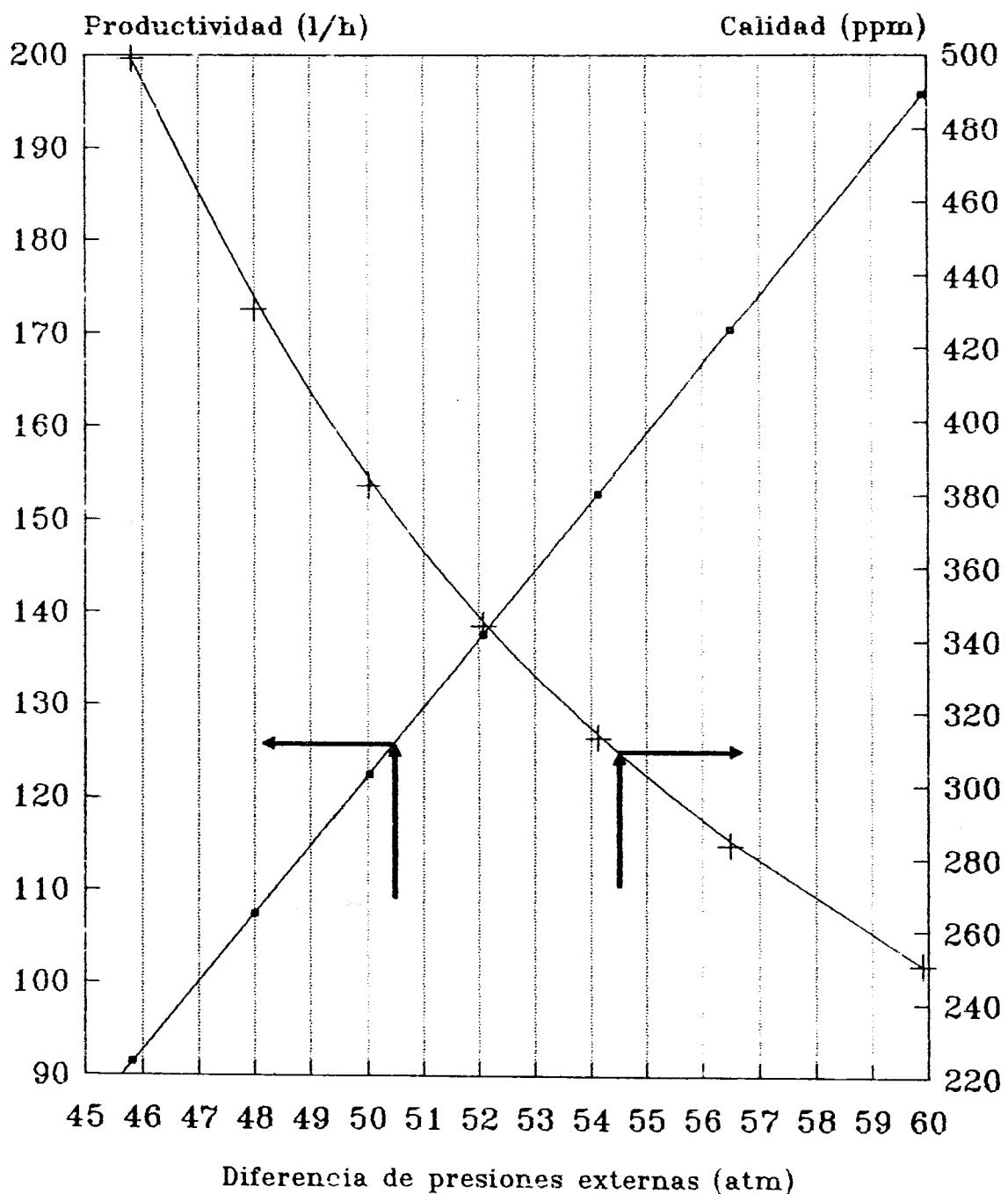


Figura 3.16

Curvas de operacion
T=30o C - pH=8,2

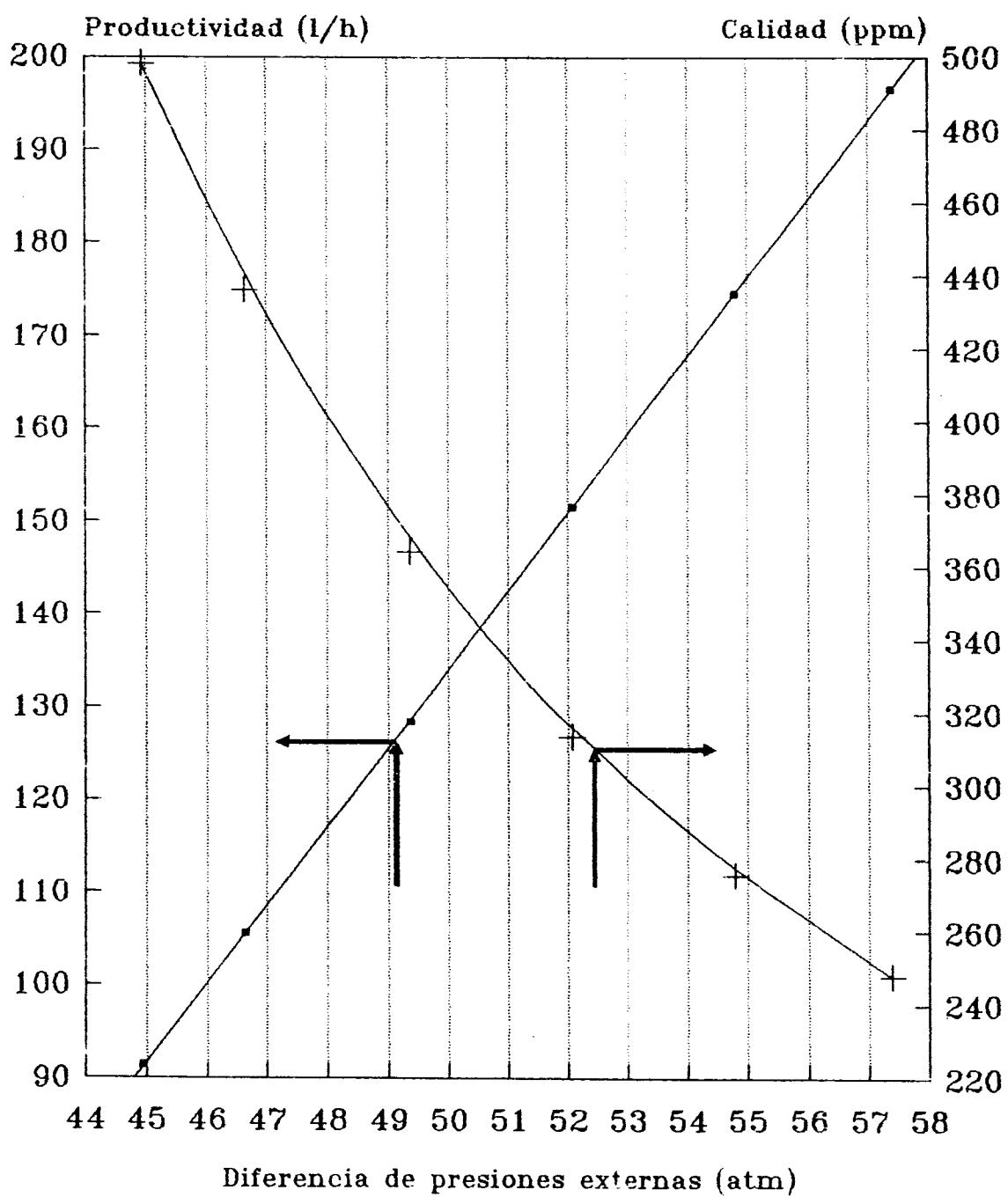


Figura 3.17

Curvas de operacion
 $T=25^{\circ}\text{C}$ - $\text{pH}=8,2$
Concentración de alimentación=30000 ppm

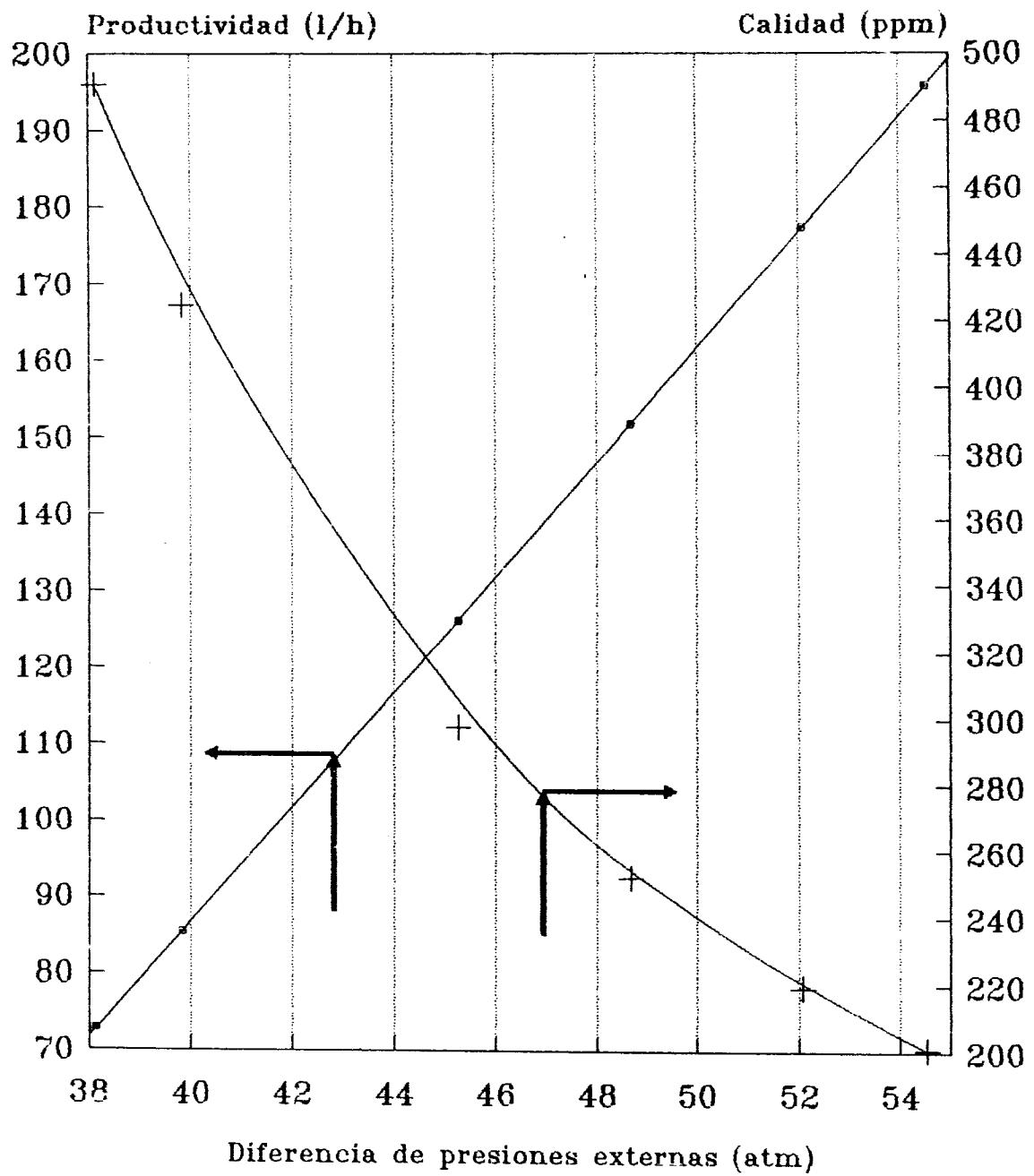


Figura 3.18

Curvas de operacion
T=25° C - pH=8,2
Concentración de alimentación=32500 ppm

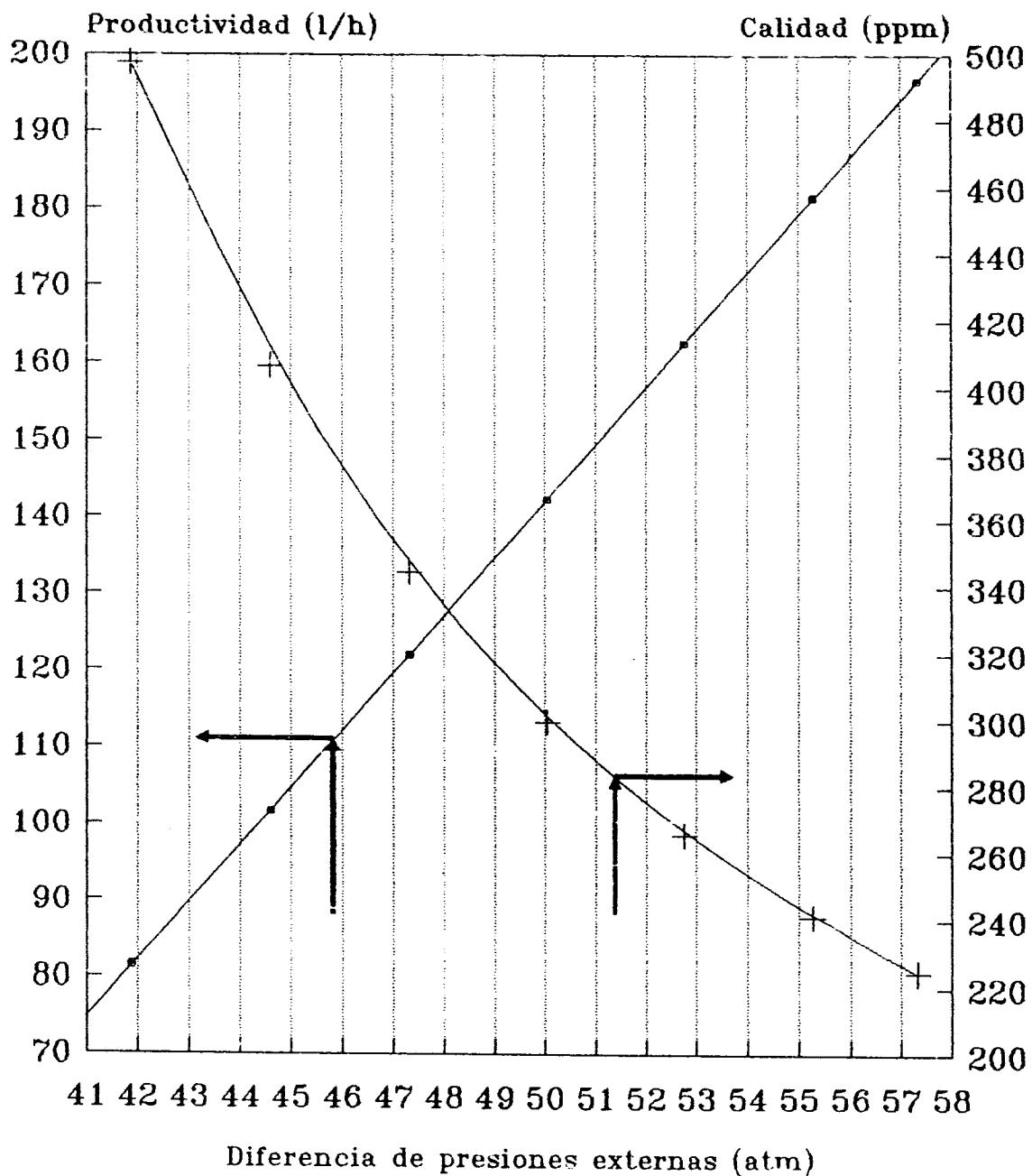


Figura 3.19

Curvas de operacion
 $T=25^\circ C - pH=8,2$
Concentración de alimentación=35000 ppm

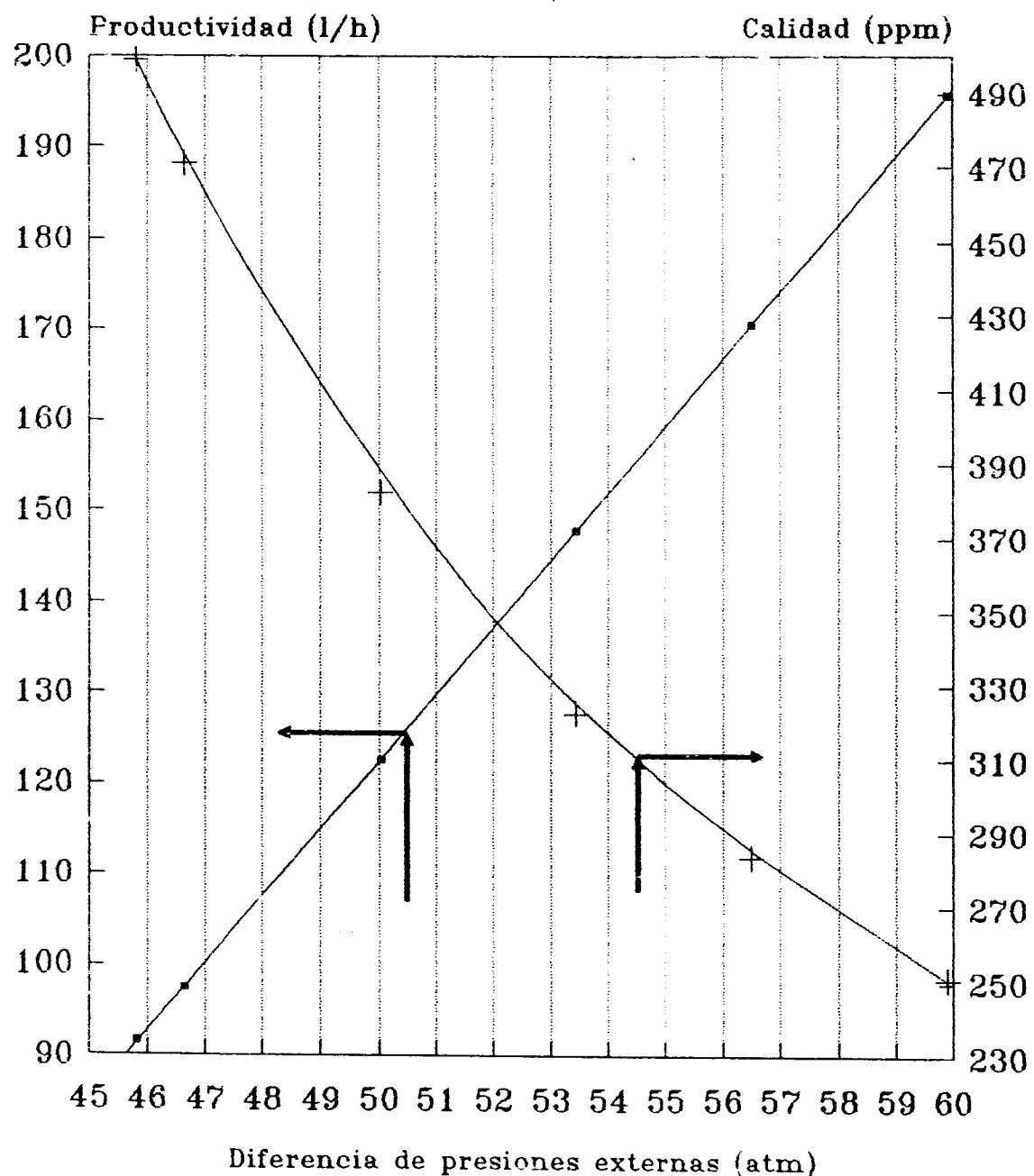


Figura 3.20

Curvas de operacion
 $T=25^{\circ} C - pH=8,2$
Concentración de alimentación = 37500 ppm

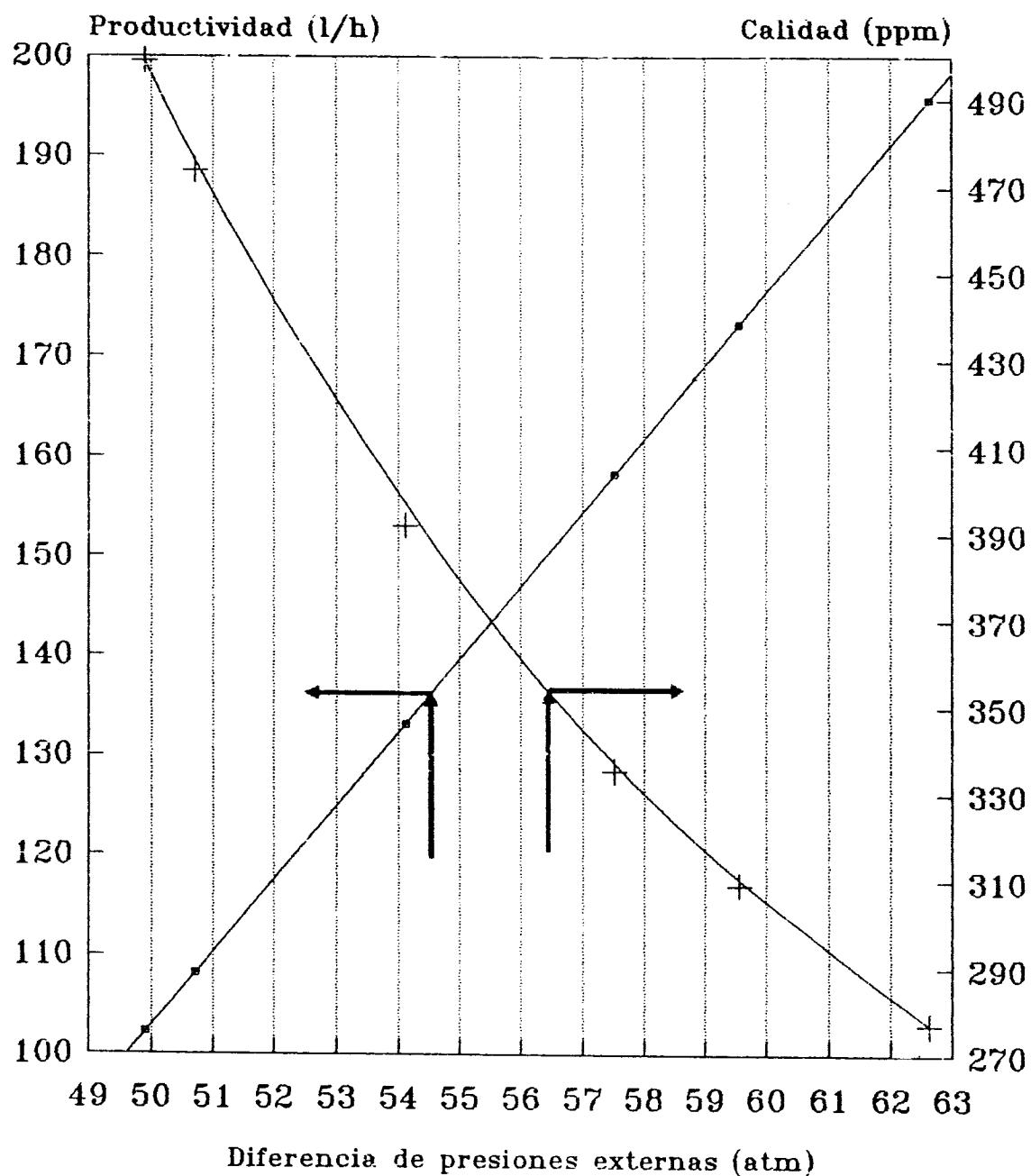


Figura 3.21

Curvas de Operacion

T=25°C - pH=8,2 - TDS_f=35000 ppm
Q_p=160 l/h - P_p= 1 atm - Conversion=10%

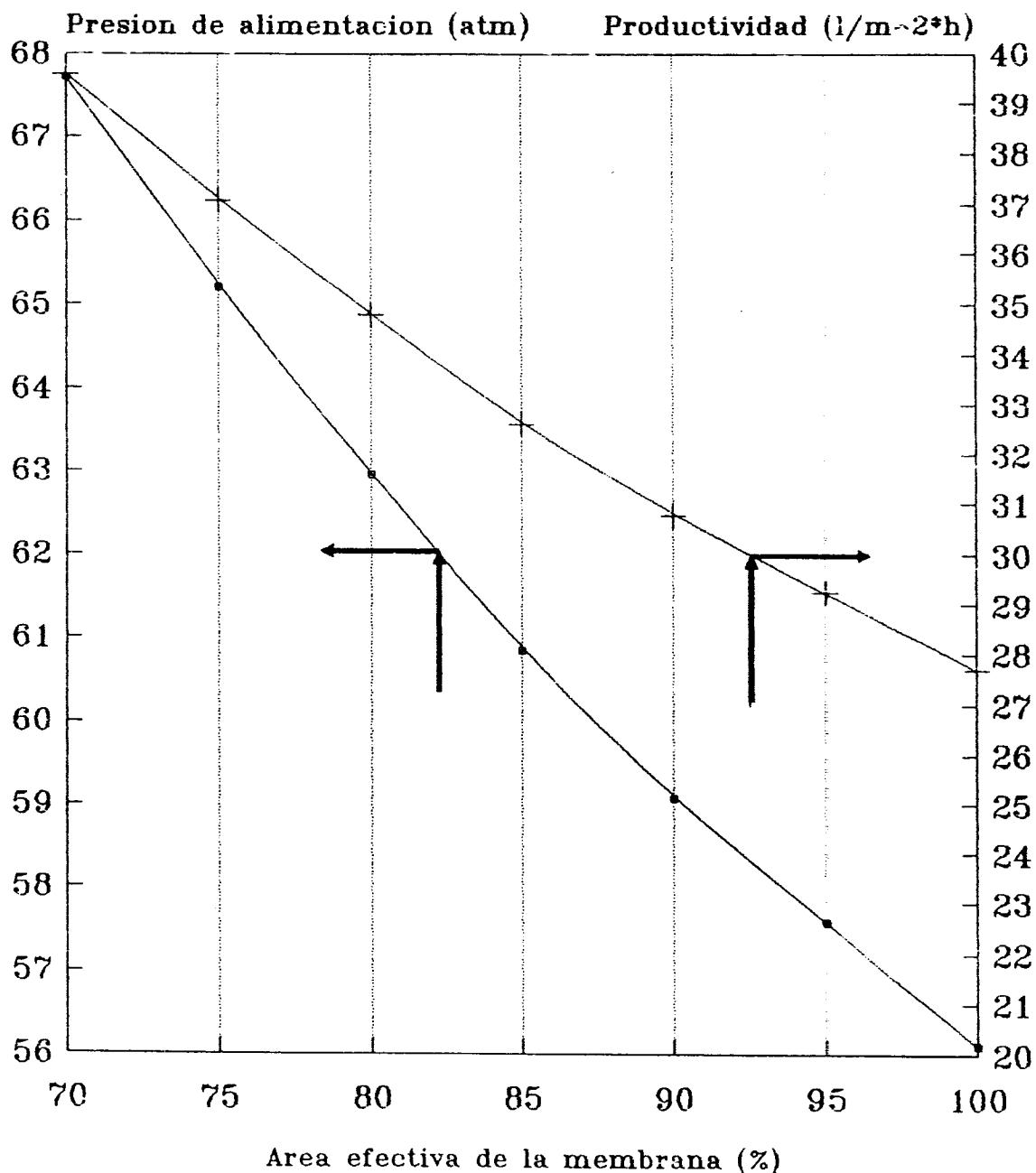


Figura 3.22

Curvas de Operacion

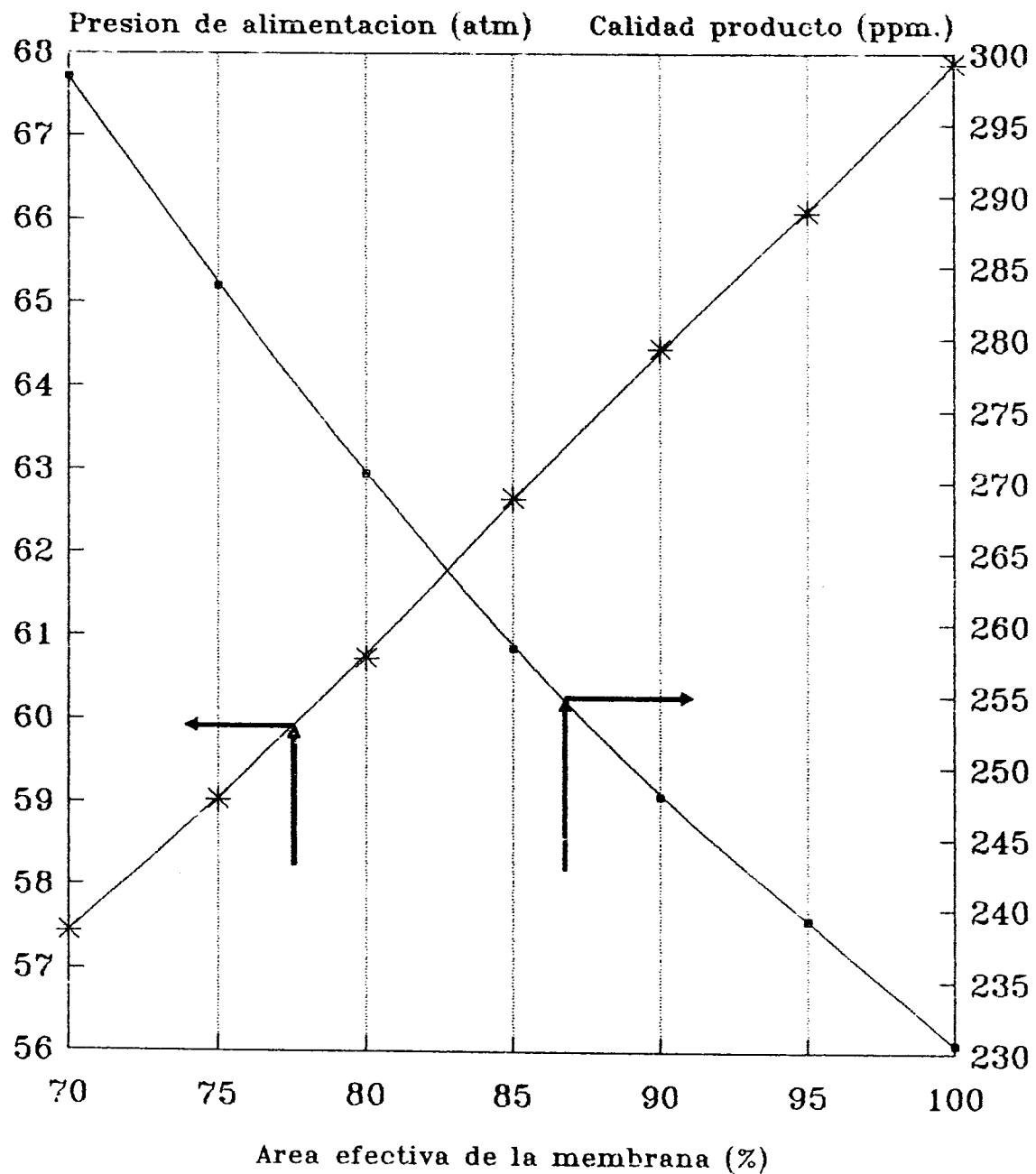
 $T=25^{\circ}\text{C}$ - $\text{pH}=8,2$ - $\text{TDS}_f=35000 \text{ ppm}$ $Q_p=160 \text{ l/h}$ - $P_p=1 \text{ atm}$ - Conversion=10%

Figura 3.23

Curvas de Operacion

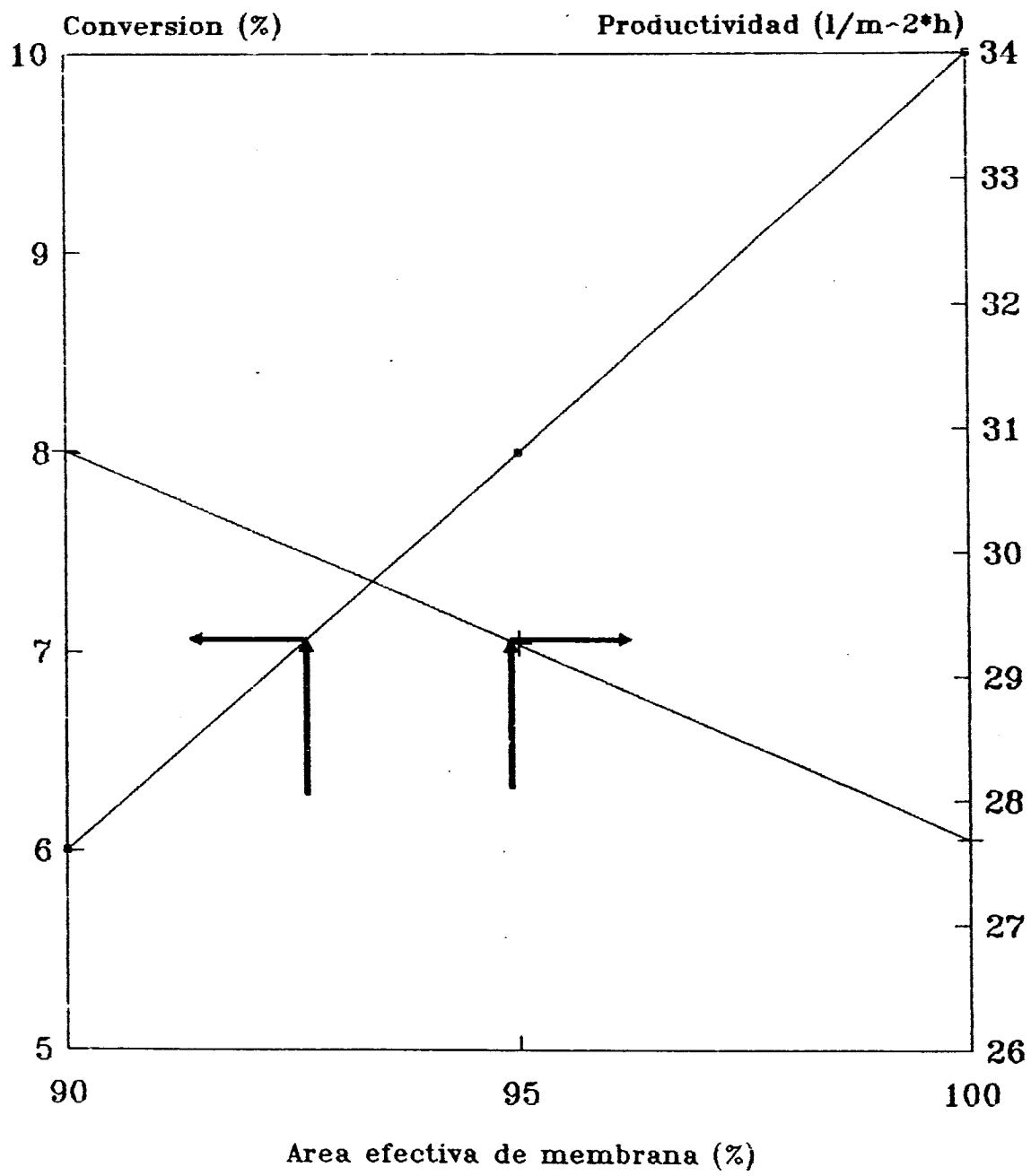
 $T=25^{\circ}\text{C}$ - $\text{pH}=8,2$ - $\text{TDS}_f=35000 \text{ ppm}$ $Q_p= 160 \text{ l/h}$ - $P_p= 1 \text{ atm}$ - $P_f= 56,097 \text{ atm}$ 

Figura 3.24

Capítulo 4: Pre y Post-Tratamiento requeridos en una Planta de Osmosis Inversa.

4.1.- Finalidad del Pre-tratamiento.

La operación satisfactoria a largo plazo de un sistema o una Planta de Osmosis Inversa, depende de tres factores fundamentales:

- a.- Adecuado diseño del sistema de Osmosis Inversa;
- b.- Un Sistema de pre-tratamiento adecuado para las necesidades de la Planta;
- c.- Correcta operación y mantenimiento de la Planta.

Estos tres factores son muy importantes, pero el adecuado pre-tratamiento es la base en la que se fundamenta un buen diseño y operación de una Planta de Osmosis Inversa. La falta de este puede afectar severamente la operación de la unidad a través del tiempo. La finalidad básica de un adecuado pre-tratamiento es eliminar o minimizar el potencial de ensuciamiento que posee al agua de alimentación, el cual podría traducirse en un deterioro progresivo de las membranas a través del tiempo.

Este ensuciamiento conocido como "membrane fouling" es un fenómeno complejo que produce distintos efectos sobre la operatividad de las membranas; consiste basicamente en la deposición de algunos materiales ya sea en el tejido espaciador que permite la circulación del agua de alimentación como también sobre la superficie de la membrana. La figura 4.1 (productividad vs. tiempo) presenta la influencia del "fouling" sobre la productividad de las membranas de Osmosis Inversa. La línea continua representa el comportamiento normal de una membrana (sin considerar el efecto de ensuciamiento); la pérdida de productividad representada por esta se debe a la compactación inicial de la membrana tal como se mencionó en los capítulos anteriores. Las dos líneas en

diente de sierra representan el comportamiento de la productividad considerando el efecto del ensuciamiento e incluyendo los lavados periódicos a los que debe someterse la membrana para restaurar su operatividad. La primera de estas representa el caso en el que el proceso de pre-tratamiento es adecuado. Los lavados periódicos a los que se somete la membrana son capaces de recuperar la casi totalidad de la productividad de las mismas; en cambio con un inadecuado pre-tratamiento (segunda curva en diente de sierra), los lavados son cada vez menos efectivos en recuperar la productividad lo que conlleva a la necesidad de incrementar la frecuencia de los mismos e igualmente a un deterioro irreversible de la membrana mucho más rápido.

Un incremento en el paso de sales (que se verifica con la disminución de la calidad del producto) y en la caída de presión en el módulo entre alimentación y rechazo son también índices del "fouling".

Al comenzar el ensuciamiento de una membrana, el efecto posterior generalmente no es gradual sino multiplicativo, ya que se incrementa la polarización de concentración en su superficie debido a que los elementos que las ensucian retardan la difusión de las sales hacia la solución. Esto genera un posterior aumento en el paso de sales, una disminución de la productividad y una mayor deposición.

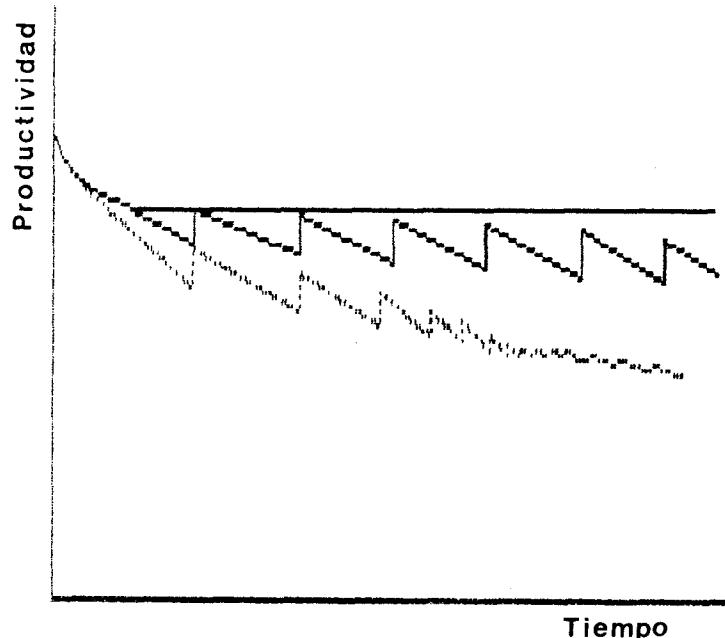


Figura 4.1
Productividad de las Membranas

El ensuciamiento localizado en ciertas zonas de la membrana hace que estas zonas trabajen a menor conversión, aumentando esta en aquellas zonas donde el grado de ensuciamiento es menor. En estas zonas de alta conversión, se incrementa la polarización de concentración y por lo tanto se acelera el proceso de ensuciamiento.

Además del "fouling", la degradación de la membrana también puede deberse al ataque químico que puede producir el cloro libre disuelto y al ataque biológico. Por lo tanto estos factores deben también ser tomados en cuenta para el adecuado diseño del sistema de pre-tratamiento.

4.2.- Factores que afectan la operatividad de un Sistema de Osmosis Inversa.

Como se mencionó anteriormente, el "fouling" de una membrana puede detectarse a través de los cambios que se producen en los parámetros básicos de operación de las mismas: productividad o caudal de agua producto; paso de sales y caída de presión a través del módulo, los cuales generalmente ocurren combinados ya que todos ellos están correlacionados. Las causas, síntomas y soluciones pueden ser muy diversas, por lo tanto deben diferenciarse los diversos factores que puedan producir degradación o "fouling" de las membranas y por ende afectar la operatividad de un sistema, para atacarlos individualmente según la necesidad del mismo.

A continuación se presentan estos factores, conjuntamente con las causas y efectos que pueden producir sobre las membranas.

4.2.1.- Incrustaciones en la membrana.

Las incrustaciones en la membrana se deben a la precipitación de ciertas sales insolubles (CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaF_2 y SiO_2) en el módulo de la membrana debido a la transformación del agua de alimentación en salmuera. Durante el proceso de Osmosis Inversa, aumenta la concentración de los iones involucrados en la formación de dichas sales pudiendo superarse el límite de solubilidad de las mismas, en cuyo caso ocurriría la precipitación. Estas sales a su vez forman nucleos de cristalización, los cuales inducen a la precipitación de una mayor cantidad de sales u otros compuestos. Generalmente las incrustaciones ocurren sobre la superficie de la membrana ya que, debido al efecto de polarización de concentración, es en este lugar donde se produce un mayor aumento en la concentración de los iones.

El potencial de incrustación del agua de alimentación para una determinada membrana está determinado por la composición química del agua, los límites de solubilidad de las distintas sales, la turbulencia generada en la zona de alta presión del módulo y la conversión o recuperación del sistema de Osmosis Inversa. Los primeros dos parámetros no pueden ser controlados porque son características externas al sistema. La turbulencia por su parte depende del diseño del módulo y es la encargada del barrido de las sales en la interface membrana-solución, como también de la mayor difusión de las altas concentraciones de los iones con potencial de precipitar formando una sal. En los módulos de configuración en espiral el tejido separador por el que circula el agua de alimentación-salmuera y la pequeña altura de los canales produce un alto grado de turbulencia, disminuyendo así el potencial de incrustación. El último factor, es decir, la recuperación del sistema es el único que puede ser controlado en la operación normal de una planta.

En las plantas de desalación de agua de mar, el Carbonato de Calcio (CaCO_3) es generalmente la única sal para la que se requiere un pre-tratamiento, ya que debido a las concentraciones normales tan bajas de los otros iones, los límites de solubilidad no son excedidos. Sin embargo, deben realizarse los cálculos respectivos¹ para tener la certeza de que estas sales no producirán problemas en el sistema.

El primer síntoma de presencia de elementos incrustantes en una membrana es una disminución de la productividad de la misma, o un aumento en la presión de operación. Esto se debe a que la capa de incrustación, aunque sea muy delgada, es muy impermeable y ofrece una gran resistencia al flujo del producto. Conjuntamente con esto, se produce un incremento en la concentración del mismo, debida a dos efectos diferentes, el aumento en la concentración de sales y en la misma disminución de la productividad, ya que aumenta la cantidad de sales por unidad de flujo del producto. Generalmente la incrustación comienza en la parte final de los elementos debido a la mayor concentración de los iones en esta zona, y progresó lentamente hacia la entrada de los mismos.

4.2.2.- Deposición de Oxídos y Sales Metálicas.

Otro factor que afecta la operatividad de una Planta de Osmosis Inversa, es el ensuciamiento de la membrana debido a la precipitación de óxidos o hidróxidos principalmente de hierro, aluminio y magnesio. Debido a las bajas concentraciones de estos elementos en el agua de mar, por lo general el análisis del potencial de ensuciamiento de los mismos sobre las membranas es ignorado en la mayoría de los casos.

1 Estos cálculos se presentan en la sección 4.4 de este Capítulo.

Sin embargo, una deposición acumulada de estos óxidos y sales produce un rápido y severo deterioro de la productividad que muchas veces llega a ser irreversible debido a que es sumamente difícil de remover a través de las técnicas normales de limpieza.

La concentración del hierro en el agua de mar normal es sumamente baja y raras veces llega a superar el valor de 1 ppm. Sin embargo este elemento debe ser vigilado muy de cerca, ya que han existido casos en los cuales pequeñas candidades del mismo (del orden de 0,1-0,4 ppm.) han causado ensuciamiento de las membranas. Este elemento puede estar presente en su forma soluble (Fe^{+2}) o insoluble (Fe^{+3}); en la forma soluble, no es capaz de ensuciar la membrana y es rechazado efectivamente como cualquier otro ión divalente, sin embargo puede ser un potencial causante del "fouling" si se dan las condiciones adecuadas para ello. Por el contrario, su forma insoluble es capaz de precipitar sobre la membrana y producir el ensuciamiento de la misma.

La pequeña cantidad de hierro en su forma soluble (ión ferroso), generalmente está presente como bicarbonato $[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2]$, el cual puede oxidarse (ión férrico) precipitando en forma de compuestos insolubles como Fe(OH)_3 y Fe_3O_4 . El proceso de oxidación del ión ferroso ha sido estudiado extensivamente, arrojando como resultado el descubrimiento de su estrecha vinculación con el pH y la cantidad de oxígeno disuelto presente en el medio; la rata de oxidación está dada por la relación:

$$-\frac{d\text{Fe}^{++}}{dt} = k [\text{Fe}^{+2}] [\text{OH}^-]^2 [\text{O}_2] \quad (4.1)$$

El ión ferroso puede también oxidarse en presencia de agentes oxidantes fuertes como cloro libre (Cl_2) o permanganato de potasio (KMnO_4) y podría llegar a formar compuestos insolubles como sulfato ferroso (FeS) en presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S), aunque todas estas reacciones son prácticamente despreciables debido a la extremadamente baja concentración de estos elementos en el agua de mar y a la

preferencia del ión ferroso por los radicales carbonato y bicarbonato, los cuales están presentes en concentraciones considerablemente superiores. La presencia de los iones cloruro y sulfato en las concentraciones presentes en el agua de mar, retardan considerablemente la velocidad de oxidación del Fe^{+2} debido igualmente a la preferencia del ión por estos radicales.

Las fuentes principales de óxidos de hierro en una Planta de Osmosis Inversa son:

- * Productos de corrosión provenientes del sistema de Osmosis Inversa originados del proceso de corrosión de aceros al carbono o tuberías galvanizadas, los cuales pueden prevenirse con la adopción de los materiales adecuados de construcción como polímeros en las zonas de baja presión y aceros inoxidables en las de alta presión.
- * Productos de corrosión provenientes de la fuente misma de alimentación originados por la oxidación de piezas de hierro sumergidas en el agua de mar. Estos pueden ser removidos por filtración antes de que penetren a las membranas.
- * Partículas de hierro coloidales, las cuales pueden ser removidas a través de un eficiente sistema de filtración.

Además de los compuestos férricos, puede ocurrir el "fouling" de las membranas debido a otros complejos metálicos, entre los cuales los que deben ser controlados más de cerca son el hidróxido de aluminio $[\text{Al(OH)}_3]$, el óxido de magnesio $[\text{MgO}]$ y el hidróxido de magnesio $[\text{Mg(OH)}_2]$; en el primer caso debido al extremadamente bajo producto de solubilidad¹ de este hidróxido (del orden de 10^{-33}) por lo que precipita a sumamente bajas concentraciones de los iones involucrados. En el caso

1 En el Apéndice E se presentan los Productos de Solubilidad a 25° C. para distintas sales y algunas Reglas de Solubilidad.

del hidróxido de magnesio, aunque el producto de solubilidad es considerablemente superior al de los otros dos hidróxidos mencionados (del orden de 10^{-11}), las concentraciones del ión Mg^{+2} en el agua de mar no pueden ser despreciadas, ya que generalmente oscilan entre 1200 y 1300 ppm; estas concentraciones combinadas con la presencia de oxígeno libre disuelto en el agua son causantes también de la posible precipitación del MgO. Los hidróxidos de aluminio y magnesio generalmente precipitan en forma coloidal.

Los efectos del ensuciamiento por óxidos y sales metálicas sobre las membranas pueden detectarse con grán facilidad, ya que son sumamente severos y rápidos; el paso de sales y la caída de presión en los módulos puede duplicarse en el transcurso de 24 horas, e igualmente la productividad puede disminuir de un 20% a un 50% durante el mismo período de tiempo.

4.2.4.- Deposición de Partículas.

Puede ocurrir el tamponamiento de un módulo de membrana, causado por el efecto de filtración mecánica a la que es sometida el agua de alimentación al circular por el tejido existente en los canales hidráulicos; ciertas partículas son muy grandes para pasar a través del tejido y son atrapadas por este. Este tipo de partículas al acumularse ofrece una grán resistencia al paso del agua de alimentación produciendo un aumento significativo en la caída de presión a través de la membrana.

Como efecto secundario este tamponamiento puede reducir al área efectiva de la membrana, disminuyendo la conversión en ciertas zonas y aumentándola en otras, ocurriendo el efecto ya mencionado previamente.

Por lo general, aunque este tamponamiento del módulo no deteriora a la membrana, si lo hace en cambio con la globalidad del mismo ya que la única forma de eliminar este tipo de partículas es a través del lavado y retrolavado del mismo a alta presión, lo cual no es muy recomendable ya que puede provocar una compactación irreversible sobre la membrana por lo que los fabricantes de las membranas en espiral no lo recomiendan como procedimiento de limpieza. Además, no es necesario poner en peligro la integridad de un módulo ya que la forma de eliminar estos problemas es sumamente sencilla y consiste en el diseño adecuado del sistema de pre-filtración del agua de alimentación. Este fenómeno comienza a notarse en la zona de alimentación de la membrana y va progresando hacia la zona de descarga de la misma.

Las partículas en suspensión que no son capaces de ser retenidas por un buen proceso de filtración por lo general tampoco son las causantes del tamponamiento de los módulos, ya que debido a su tamaño microscópico, tampoco son retenidas por el tejido separador de la membrana. Sin embargo otro mecanismo de ensuciamiento está relacionado con ellas.

4.2.4.- Ensuciamiento Coloidal.

El "fouling" coloidal es causado por la coagulación y posterior deposición de los coloides o materiales en suspensión que posee el agua de alimentación sobre la membrana o el tejido espaciador. Los principales coloides presentes en el agua de mar se deben a la reacción de la sílice reactiva con algunos iones metálicos (generalmente aluminio) formando complejos silico-aluminatos (arcilla), conjuntamente con algunos óxidos metálicos hidratados (mencionados en el punto anterior), bacterias y ciertas fibras. Estas partículas son hidrofóbicas y se encuentran en suspensión debido a que pueden desarrollar cierta carga eléctrica en su superficie

externa, la cual debe equilibrarse en la solución acuosa. Como resultado se produce una doble capa eléctrica en la interface sólido-solución constituida por la partícula cargada y un exceso equivalente de iones de carga opuesta que se acumulan cerca de la superficie de la partícula. Debido a la existencia de la carga primaria (carga original de la partícula) existe un potencial electrostático entre esta y la masa de la solución, el cual recibe el nombre de Potencial Zeta. Durante el proceso de Osmosis Inversa, aumenta la concentración del elemento coloidal, esto produce una disminución de la concentración iónica de la capa secundaria (en contacto con la solución) y por lo tanto de la intensidad de la doble capa eléctrica, reduciéndose el Potencial Zeta y desestabilizándose el coloide pudiendo precipitar.

El efecto que tiene esta precipitación sobre la membrana es marcado pero gradual. Usualmente puede duplicarse el paso de sales y la caída de presión a lo largo de la membrana en el transcurso de algunas semanas, como también una disminución de la productividad superior al 50% durante el mismo período de tiempo.

4.2.5.- Ensuciamiento Biológico.

Es causado por el crecimiento de microrganismos en la superficie de la membrana y ocurre en los casos en los cuales el agua de alimentación contiene suficientes nutrientes como para que estos se aniden dentro del módulo contenedor de la misma. Este crecimiento puede provocar la deposición de fango y por ende una diminución de la productividad. Los síntomas producidos son los mismos indicados en el punto anterior pero aún más gradualmente; al mismo tiempo es fácilmente eliminable con desinfectantes que no produzcan la oxidación de la membrana (como es el caso del Cl₂) y no produce alteraciones irreversibles sobre la membrana. El único inconveniente es que el agua

producto puede resultar contaminada debido a la flora microbiológica que pudiera desarrollarse en esta.

Otro efecto biológico ocurre cuando los microrganismos atacan al material de la membrana, el cual es sujeto a una degradación digestiva. En este caso la pérdida progresiva de la efectividad en el rechazo de sales es irreversible. Sin embargo, la membrana utilizada en esta unidad está fabricada de poliamida aromática, la cual no es susceptible a este tipo de ataque.

4.2.6.- Otros Factores.

Todas las membranas de Osmosis Inversa están sujetas al proceso de oxidación a través de los años por estar expuestas a un ambiente húmedo y corrosivo. Lo que ocurre en este proceso es el rompimiento de la cadena molecular del polímero empleado en la fabricación de la capa densa de las membranas, debilitándose y pudiéndose desprender pequeños pedazos (a nivel molecular) de la misma; esto produce un deterioro progresivo e irreversible de la membrana, aumentando considerablemente la salinidad del producto. El factor que acelera este proceso de oxidación que podría llamarse natural, es la presencia de elementos fuertemente oxidantes como el cloro libre en el agua de alimentación. El efecto del mismo sobre la membrana es residual, es decir, acumulativo; por lo tanto es preferible la eliminación total de este elemento del agua de alimentación. El límite de tolerancia al Cloro de las membranas utilizadas en esta unidad es 0,1 ppm.

La sílice en su estado amorfo puede precipitar si se supera el punto de saturación de la misma en la solución concentrada. Cuando esto ocurre, polimeriza formando sílice coloidal insoluble y precipita sobre la membrana. Dicho punto de saturación depende de la temperatura y el pH de la solución, siendo más favorable para ello trabajar fuera

de los valores cercanos a la neutralidad de la solución. Los efectos que producen estos coloides sobre la membrana son iguales a los mencionados con anterioridad para otros tipos de coloides.

Otro factor que puede afectar la operatividad de una membrana es la acumulación de aceites y grasas sobre la superficie de la misma, ya que estos forman una capa hidrofóbica que repele el agua y produce una disminución significativa de la productividad. Sin embargo este factor no tiene mucha relevancia, ya que su efecto no es irreversible y puede ser eliminado simplemente con el lavado de la membrana con algún detergente.

Agente causante del ensuciamiento	Síntomas generales		
	Paso de sales	Caida de presión	Productividad
Sales precipitadas (carbonatos, sulfatos)	Aumento significativo (10-25%)	Aumento moderado (10-50%)	Leve descenso (<10%)
Oxidos metálicos (hierro, manganeso,etc.)	Marcado incremento rápido* (>2x)	Marcado incremento rápido* (>2x)	Marcado descenso rápido* (20-50%)
Coloides (silicatos de aluminio)	Marcado incremento gradual** (>2x)	Marcado incremento gradual** (>2x)	Marcado descenso gradual** (20-50%)
Otros coloides (hierro, orgánicos, etc.)	Marcado incremento rápido* (2-4x)	Marcado incremento gradual** (>2x)	Marcado descenso gradual** (>50%)

* En el transcurso de 24 horas

** En el transcurso de una semana

Tabla 4.1
Identificación rápida de Problemas en las Membranas

Los factores mencionados representan el 98% de las posibles causas en el deterioro progresivo de las membranas; factores adicionales son raramente vistos y especialmente en aguas muy contaminadas, por lo que no son tomados en cuenta en el proceso de Desalación de aguas de Mar.

La tabla 4.1 presenta un resumen práctico con los efectos de cada uno de estos factores sobre los parámetros de operación de la membrana para poder determinar fácilmente las causas probables de un deterioro en los factores operativos de la misma.

4.3.- Técnicas de Pre-tratamiento.

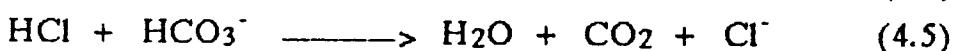
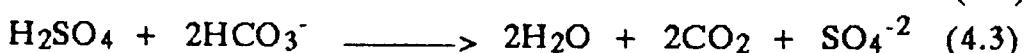
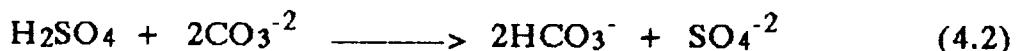
Para limitar o eliminar la influencia de cada uno de los factores mencionados en el punto anterior existe una extensa gama de pre-tratamientos que es necesario evaluar como alternativas de uso para la unidad en cuestión. En algunos casos podría llegarse a la conclusión de que no sea requerido un determinado pre-tratamiento ya sea debido a factores característicos de los parámetros de operación del sistema (caudales, conversión, características del agua de alimentación) como también a la practicidad o tipo de uso al que va dirigida esta unidad. En estos casos en los que sea engorrosa la aplicación de una determinada técnica debe realizarse un control más estricto sobre la unidad y al mismo tiempo diseñar un sistema de lavado efectivo para la membrana. Recorriendo una frase leída: "El mejor pre-tratamiento es el que uno no tiene que hacer".

A continuación se presenta una breve descripción de las técnicas alternativas para el sistema de pretratamiento de la unidad, conjuntamente con sus ventajas y desventajas con respecto a esta aplicación específica.

4.3.1.- Acidificación.

La adición de ácido al agua de alimentación tiene dos efectos fundamentales sobre el agua de alimentación: Prevenir la precipitación de las sales carbonáticas (específicamente del CaCO_3) y reducir la rata de oxidación del ión ferroso (Fe^{+2}).

El carbonato de calcio puede precipitar una vez que se supere el límite de solubilidad de dicha sal, lo cual depende de la concentración de los iones Ca^{+2} , CO_3^{-2} y HCO_3^- . La adición de un ácido fuerte, usualmente sulfúrico (H_2SO_4) o clorhídrico (HCl) es capaz de convertir al ión carbonato en bicarbonato y a su vez "romper" a este último ión mencionado según las reacciones:



Esto produce una aumento en la cantidad de CO_2 , el cual se disuelve en el agua como ácido carbónico y por lo tanto ocurre un aumento de la acidez de la misma. Como el rechazo de CO_2 por parte de la membrana es prácticamente nulo, el pH del producto disminuirá nuevamente.

Por otra parte, según la ecuación 4.1, la rata de oxidación del ión ferroso depende del contenido del mismo, de la concentración de oxígeno disuelto y del pH del agua (cantidad de iones OH^-). Manteniendo constante la concentración del oxígeno, un alto pH produce una alta rata de oxidación del ión, ocurriendo así los efectos mencionados anteriormente. Por lo tanto, para prevenir estos efectos es recomendable la dosificación de un ácido fuerte al agua de alimentación.

Las desventajas que presenta esta técnica son: la necesidad de realizar un ajuste de pH en el agua producto en caso de que el mismo sea demasiado bajo para el consumo humano, lo que complicaría el diseño de la unidad y en segundo lugar el manejo de compuestos peligrosos (aunque sea en forma diluida).

4.3.2.- Adición de Inhibidores.

Existen algunos productos químicos cuya particularidad es secuestrar, es decir mantener en un estado meta-estable a los iones responsables de la dureza del agua (Ca^{+2} y Mg^{+2}), impidiendo así la formación de sus respectivas sales; utilizando estos inhibidores puede por lo tanto operarse un sistema superando su límite de solubilidad. Uno de los más usados para el control de la precipitación de CaCO_3 y CaSO_4 es el hexametafosfato de sodio. Algunos de los factores que deben ser considerados para la adopción de esta técnica son: la toxicidad que puedan presentar con respecto al manejo y al agua potable; la Contaminación que podría producir el flujo de rechazo y la compatibilidad química con la membrana.

Debe preverse el diseño de un sistema de enjuague de la membrana para eliminar la solución sobresaturada una vez que se detenga la producción para evitar la precipitación de sales al perderse el efecto del inhibidor.

Otra desventaja de esta técnica es que los inhibidores, una vez preparados tienen una corta vida útil, perdiéndose progresivamente su efecto secuestrante.

4.3.3.- Oxidación-Filtración.

El ión ferroso puede ser oxidado a través de la aireación del agua o la adición de compuestos oxidantes como Cl₂ o KMnO₄, para ser eliminado posteriormente por filtración fina a través de elementos filtrantes de arena o antracita. Estos compuestos deben ser eliminados completamente en una etapa posterior antes de enviar la solución de alimentación a las membranas debido al efecto ya mencionado que producen sobre estas.

Esta técnica requiere el empleo de equipos que ocupan un área considerable (filtros de arena) e igualmente se complica el diseño de la unidad por el sistema de monitoreo y control del o los compuestos añadidos al agua de alimentación.

4.3.4.- Filtración.

Esta técnica puede ser utilizada ya sea para la eliminación de aquellas partículas que puedan quedar atrapadas en el tejido espaciador de los canales hidráulicos de la membrana, como también para disminuir la concentración de la materia Coloidal y así evitar que ocurra la desestabilización y precipitación de la misma en el interior del módulo contenedor de la membrana. La diferencia de tamaño físico entre estos dos tipos de partículas es la responsable de la distinción entre dos tipos diferentes de filtrado: un filtrado básto en el primer caso y un proceso de filtración fina para el segundo.

Una medida aproximada de la concentración de coloides en el agua de alimentación puede determinarse a través de la medición del "silt density index" (SDI) del agua de alimentación¹. El SDI del agua de mar usualmente varía entre 5 y 40, cerca de la costa y de la superficie suelen obtenerse los mayores valores del mismo. El fabricante de la membrana utilizada en la unidad recomienda que el SDI se mantenga por debajo de 5 en el flujo de alimentación a la membrana.

Existen muchos tipos de filtros en el mercado, de los cuales deben considerarse tres factores fundamentales para la selección del más adecuado para equipar a la Unidad; estos tres factores son: el caudal de agua que permiten tratar, el rango de partículas que son capaces de retener y el espacio que ocupan.

4.3.5.- Coagulación-Filtración continua.

En los casos en que el agua de alimentación contenga una alta concentración de coloides (SDI>50) y obtener un muy bajo valor de SDI sea un factor crítico, es recomendable producir artificialmente la coagulación de la materia coloidal presente en el agua de alimentación a través de la dosificación de elementos coagulantes para filtrarla posteriormente. Esta técnica requiere del uso de filtros de arena, los cuales ocupan un considerable espacio para ser adoptados en la unidad.

1 En el Anexo 5 se presenta el método propuesto por las Normas ASTM para la medición de este índice.

4.3.6.- Cloración-Declaración.

La adición de cloro libre al agua de alimentación, además de lograr la oxidación de ciertos elementos, es el más efectivo tratamiento para el control de los microrganismos debido al efecto desinfectante del mismo. Esta efectividad depende de tres factores: la concentración del Cl_2 , el tiempo de exposición y el pH del agua. Sin embargo esta técnica conlleva a ciertos problemas operativos y de control (mencionados para el caso de la oxidación de iones metálicos) que la hacen poco rentable en pequeños sistemas de desalación de aguas.

4.3.7.- Dosisificación de Bisulfito de Sodio (NaHSO_3).

El efecto del NaHSO_3 en el agua de alimentación es múltiple, es decir, puede ser utilizado con distintos fines:

- * Restringe el crecimiento de microrganismos y previene el ensuciamiento biológico.
- * Reacciona con el cloro libre según la reacción:
$$\text{NaHSO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NaHSO}_4 + 2\text{HCl} \quad (4.6)$$
- * Reacciona con el Oxígeno libre disuelto de acuerdo a:
$$2\text{NaHSO}_3 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NaHSO}_4 \quad (4.7)$$

Por lo tanto además del control microbiológico se logra la eliminación o reducción del Cl_2 y O_2 , e igualmente disminuye el pH.

Dos elementos muy importantes que deben ser tomados en cuenta para una disminución en el pre-tratamiento requerido en el agua de alimentación de la membrana son:

- * La conversión del sistema ya que es una medida directa del grado de concentración de elementos, iones y materia coloidal

durante el proceso de Osmosis Inversa, además es el factor que puede ser controlado con mayor facilidad. Sin embargo en los casos en que la recuperación sea baja y aún persisten los problemas mencionados anteriormente, no es muy conveniente una posterior disminución del mismo debido a causas netamente económicas.

* Preferiblemente la toma de agua al sistema no debe ser superficial, ya que es allí en donde se obtienen las concentraciones más altas de partículas coloidales, micro-organismos, grasas-aceites y Oxígeno disuelto.

4.4.- Determinación del Pre-tratamiento requerido.

Existen distintos métodos para la determinación del potencial de Precipitación de las distintas sales involucradas en los Sistemas de Osmosis Inversa. Como ya se mencionó, el Carbonato de Calcio es usualmente la sal que determina la necesidad de un determinado Pre-tratamiento, por lo tanto será la primera en ser considerada.

4.4.1.- Cálculos y ajuste del "Stiff & Davis Stability Index".

El criterio utilizado para determinar la necesidad de un control de la precipitación del CaCO₃ es el "Stiff & Davis Stability Index" (S&DSI), el cual puede ser estimado a través del análisis del agua de Alimentación y la Conversión del Sistema. El S&DSI es una extensión empírica del método y la ecuación desarrollada por Langlier, para aguas de alimentación con un alto contenido de sólidos disueltos.

Está definido como la diferencia entre el pH de la solución concentrada y el pH de saturación del carbonato de calcio en las condiciones en que se encuentra la solución. Este último viene dado por:

$$\text{pHs} = \text{pCa} + \text{pAlk} + K \quad (4.8)$$

donde: pCa = logaritmo negativo de la concentración de Ca^{+2} ;
 pAlk = logaritmo negativo de la concentración de Alcalinidad;

K = constante de interacción iónica, la cual es dependiente de la temperatura del agua de alimentación.

El procedimiento de cálculo de este "índice" está regido por la Norma ASTM D4582-86, incluida en el Anexo 5. Este procedimiento analítico-gráfico se adaptó para ser utilizado en una Hoja de Cálculo de computador personal para poder simular fácilmente las variaciones en las características del agua de alimentación.

Para ello se hicieron ciertas suposiciones, las cuales de mencionan a continuación:

- * El rechazo de sales de la membrana es del 100%. Aunque esto no sea del todo cierto, los valores reales son muy cercanos este valor; además con esta suposición los resultados esperados son aún más conservadores que los que se obtendrían utilizando el rechazo real de la membrana para cada uno de los iones involucrados. La ecuación resultante para el cálculo de la concentración de un ión en el rechazo es:

$$C_b = C_f / (1-y) \quad (4.9)$$

donde los subíndices b y f indican el flujo concentrado (brine) y la alimentación (feed) respectivamente e "y" es el porcentaje de conversión del sistema.

- * La alcalinidad es la suma de todos los radicales alcalinos, es decir HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- y su peso molecular es variable según la proporción de los mismos.
- * La "interacción iónica" del concentrado (I_b) fué calculada a partir de la "interacción iónica" en la alimentación (I_f) utilizando la ecuación 4.9.
- * El Total de Sólidos Disueltos en la alimentación (TDS_f) es la sumatoria de los valores individuales de los iones más representativos y el TDS_b se calculó según la ecuación 4.9.
- * El pH de una solución salina se calculó a través de la relación logarítmica entre este y la proporción existente entre el HCO_3^- y el CO_2 en dicha solución (figuras 4.2 y 4.3).

La tabla 4.2 es el resultado del cálculo del S&DSI para el agua de mar normal¹; se observa además que es necesario aplicar alguna de las técnicas de pretratamiento mencionadas anteriormente, de las cuales se selecciona la dosificación de ácido por ser la que requiere de una menor cantidad de equipos y por ende una menor ocupación de espacio físico. El ácido preferido para ser dosificado en el HCl por dos razones fundamentales:

- a.- De la reacción del ácido sulfúrico con bicarbonatos o carbonatos se generan iones sulfato (SO_4^{2-}) los cuales, unidos a los ya presentes en el agua de alimentación pueden provocar la precipitación de otras sales.
- b.- La cantidad de ácido clorhídrico necesaria para reaccionar

1 Según: DOUDELET, A y MATUTE, M.A. en "Estudios sobre procesos de desalación de aguas" - Comisión del Plan Nacional de aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos - Caracas 1977

Determinacion del pH en funcion de
 $\text{HC03}-(\text{mg/l como CaCO}_3)/\text{CO}_2 (\text{mg/l})$

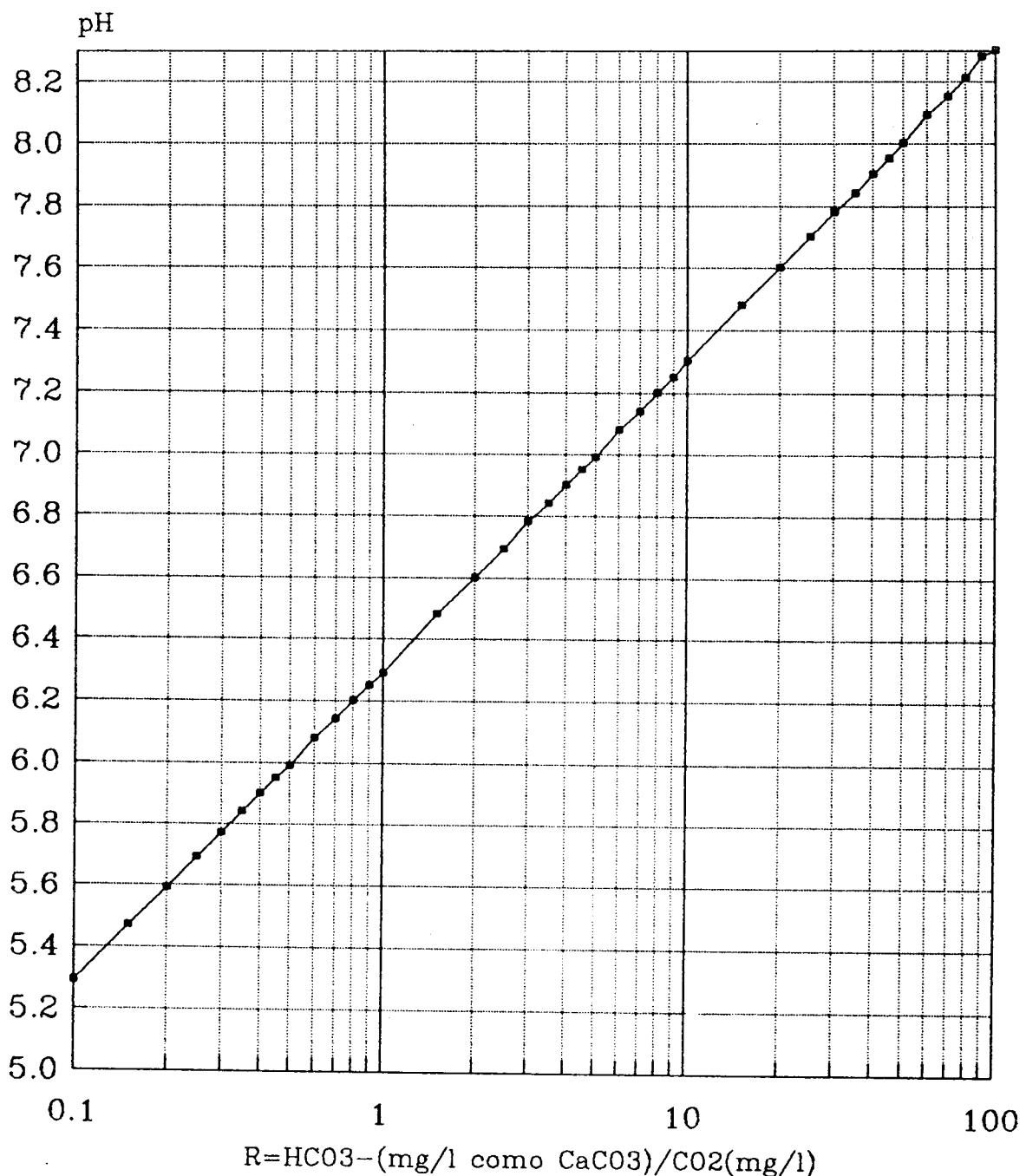


Figura 4.2

**Determinacion del pH en funcion de
HC03-(mg/l)/CO2(mg/l)**

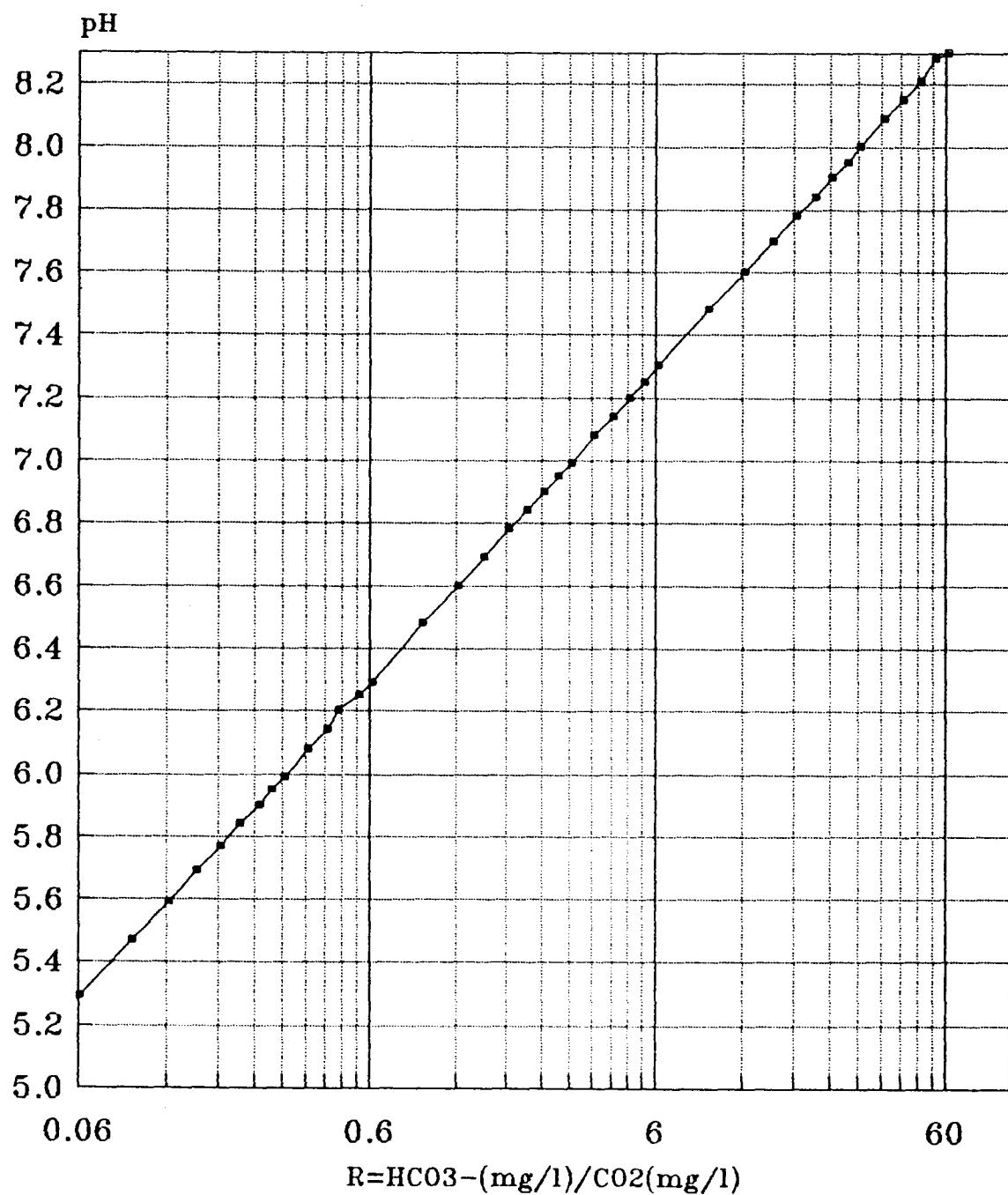


Figura 4.3

Concentración de los iones en el Agua de Alimentación

Cationes	Na+	Mg+2	Ca+2	K+	Sr+2	Ba+2	Al+3	Fe+2	Dureza
(ppm)	10561.00	1272.00	400.00	380.00	3.00	0.01	0.00	0.05	1675.01
(mg/l)	10785.68	1299.06	408.51	388.08	3.06	0.01	0.00	0.05	1710.68
(m)	4.64E-01	5.24E-02	9.98E-03	9.72E-03	3.42E-05	7.28E-08	1.85E-09	9.00E-07	
Aniones	Cl-	SO4-2	HCO3-	CO3-2	NO3-	OH-	Br-	F-	Alcalinidad
(ppm)	18980.00	2649.00	120.00	5.00	0.04	0.03	65.00	3.00	125.03
(mg/l)	19383.80	2705.36	122.55	5.11	0.04	0.03	66.38	3.06	127.69
(m)	5.46E-01	2.76E-02	1.97E-03	8.33E-05	6.45E-07	1.69E-06	8.13E-04	1.58E-04	
Elementos	CO2	O2	SiO2	TDSf		pHf=			8.24
(ppm)	1.40	9.00	20.00	34438.10		Dens. (g/cm^3)=			1.0213
(mg/l)	1.43	9.19	20.43	35170.76		T (°C)=			25

Dosisificación de ácido:	
HCl [100%] (mg/l)	4.59
Conversion:	10.00%
CaCO3 precipitado (mg/l)	0.000
Concentraciones finales:	
HCO3- (mg/l)	139.183
CO3-2 (mg/l)	0.000
Ca+2 (mg/l)	453.900
Alcalinidad (mg/l)	139.197
pCa=	1.946
pAlk=	2.642
If=	0.692
Ib=	0.768
K=	3.350
pHs=	7.938
pHb=	7.938
S&DSIb=	0.000
% Seguridad	0.00%

Concentraciones	resultantes en la alimentación:	
(mg/l)	HCO3-	CO3-2
(m)	125.26	0.00
	2.01E-03	0.00E+00
	7.63E-07	
	Cl-	Ca+
(mg/l)	19388.25	408.51
(m)	5.46E-01	1.02E-02
	TDS=	34435.71
	pH=	7.89
	Dens. (g/cm^3)=	1.0213

Concentraciones	resultantes en la solución concentrada:	
(mg/l)	HCO3-	CO3-2
(m)	139.18	0.00
	2.23E-03	0.00E+00
	8.46E-07	
	Cl-	Ca+
(mg/l)	21542.50	453.90
(m)	6.06E-01	1.13E-02
	TDSb=	38261.89
	pHb=	7.94
	Dens. (g/cm^3)=	1.0240

pHp=	5.93
------	------

con la misma cantidad de moléculas es menor que la de ácido sulfúrico.

En la tabla 4.2, también se estiman estequiométricamente las concentraciones resultantes de los elementos que intervienen en las reacciones 4.4 y 4.5. Igualmente se estima el pH del producto suponiendo que el rechazo del ión bicarbonato es del 98.5% promedio y que el 100% del CO₂ es capaz de atravesar la membrana (según los fabricantes de la membrana el Rechazo del CO₂ es prácticamente despreciable).

En caso de variar las concentraciones de los iones involucrados en la precipitación del carbonato de calcio, las dosis requeridas de ácido se presentan de forma gráfica en las figuras 4.4 y 4.5 manteniendo en la primera un Factor de Seguridad del 10% (pH del concentrado 10% inferior al pH de saturación del carbonato de calcio), mientras que en la segunda lo mínimo requerido para que no precipite. La figura 4.6 es la equivalencia de HCl (100%) con soluciones diluidas de este mismo ácido, a través de la cual se determina el volumen que debe dosificarse en cada uno de los casos; a su vez estos valores deben corregirse en función de la concentración de iones Ca⁺⁺ presentes en el agua de alimentación, la cual se presenta en la figura 4.7.

Para una unidad desaladora de tipo compacto no es práctica la dosificación del HCl manteniendo el factor de seguridad de 10%, ya que en condiciones normales del agua de alimentación, habría que dosificar aproximadamente 1,4 cm³ de solución de HCl 0,25M por litro de agua (utilizando 0,1M se elevaría a 3,5 cm³/l y concentraciones superiores a 0,5M pueden ser peligrosas durante su manejo), esto es equivalente a 2,240 litros de solución por hora de operación de la Planta y aproximadamente 22,4 litros diarios. Esto requeriría un tanque de considerables dimensiones para tener una autonomía de un mínimo de tres días (67 litros), conjuntamente con el riesgo que este representaría.

CURVAS DE DOSIFICACION DE HCl mg.HCl(100%)/l.de agua de alimentacion

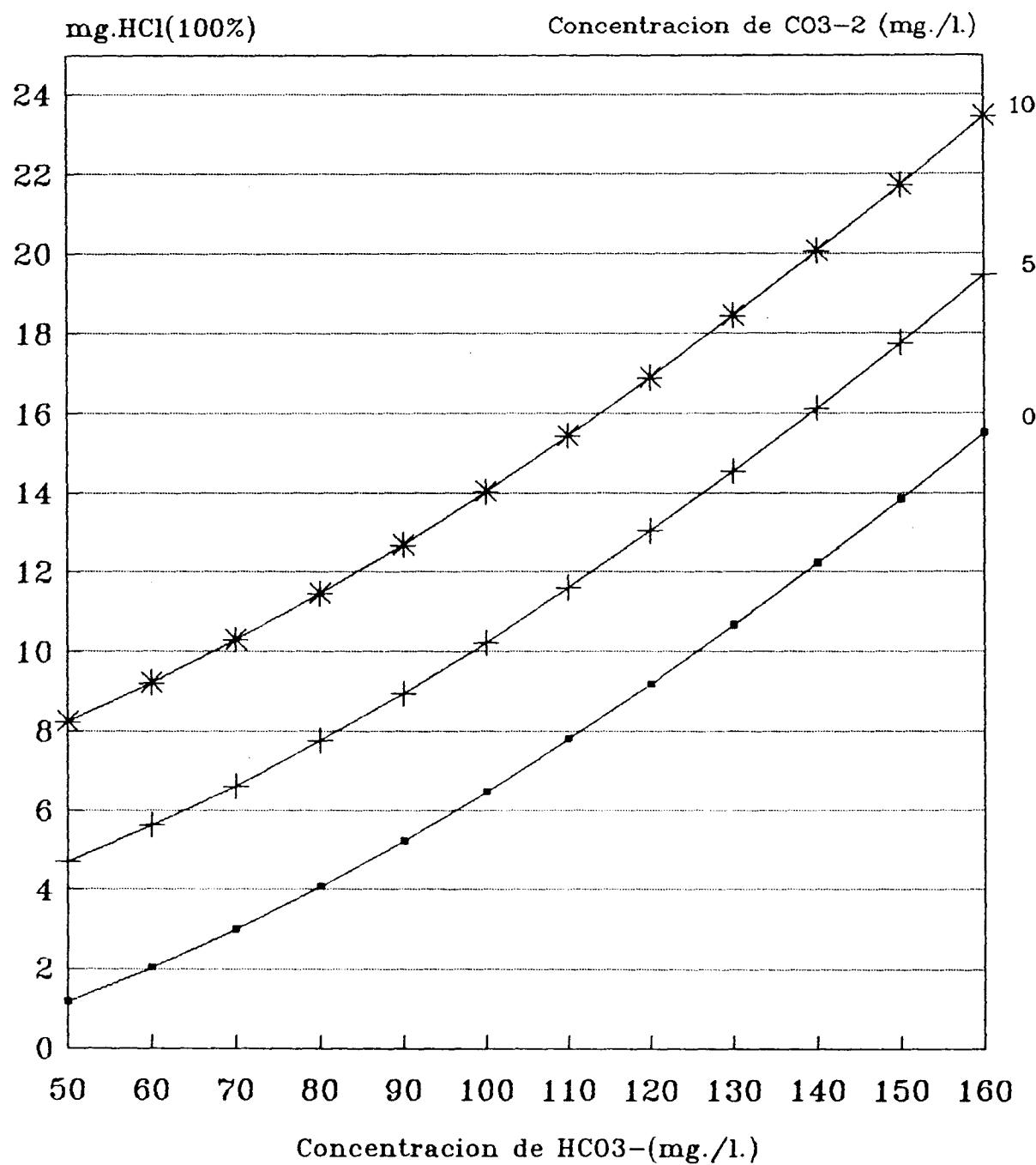


Figura 4.4

CURVAS DE DOSIFICACION DE HCl mg.HCl(100%)/l.de agua de alimentacion

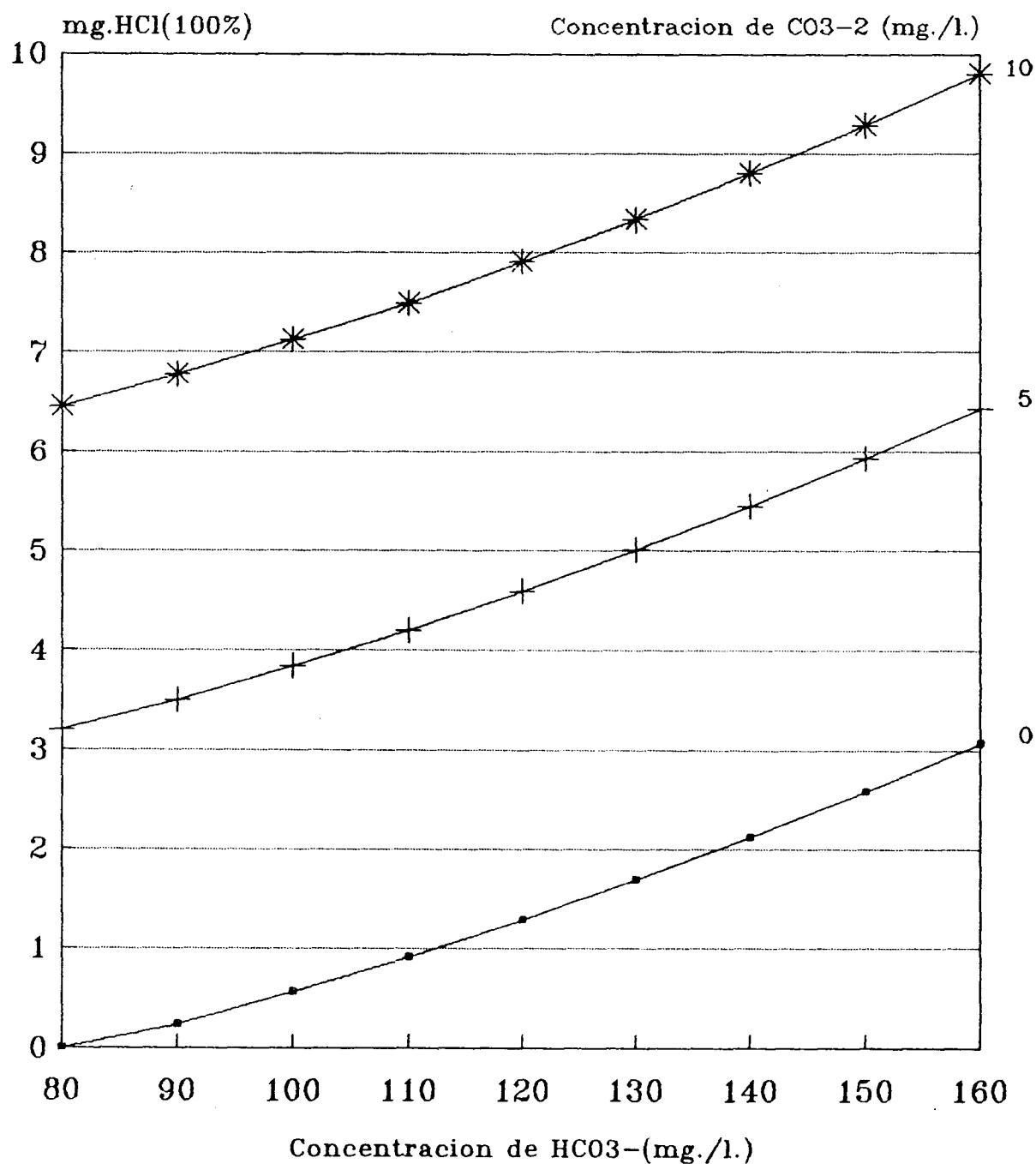


Figura 4.5

EQUIVALENCIAS DE HCl (100%)
con soluciones 0,1 - 0,25 - 0,5 Molar

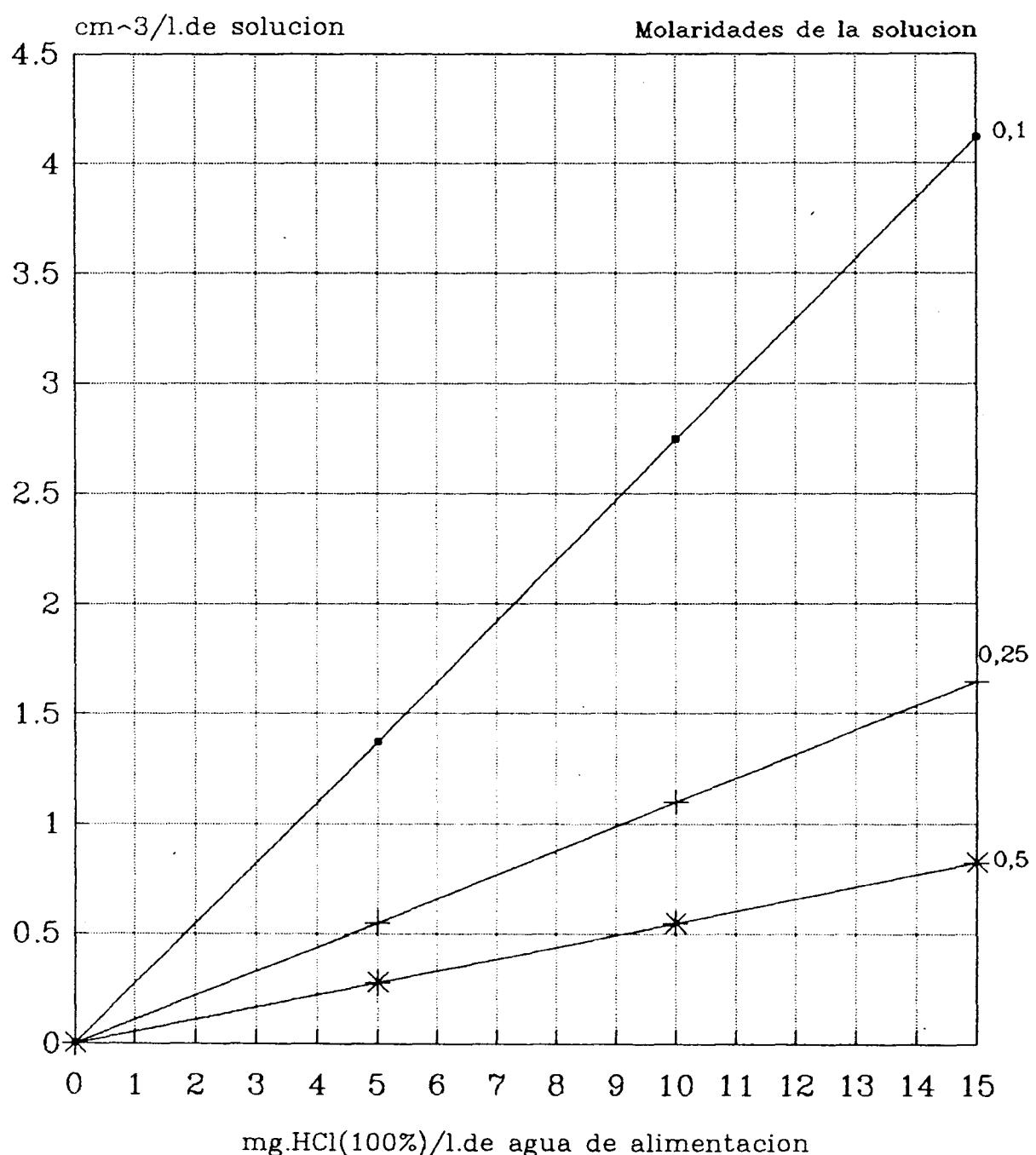


Figura 4.6

Factor de correccion para la dosificacion de HCl en funcion de la Concentracion de Ca⁺⁺

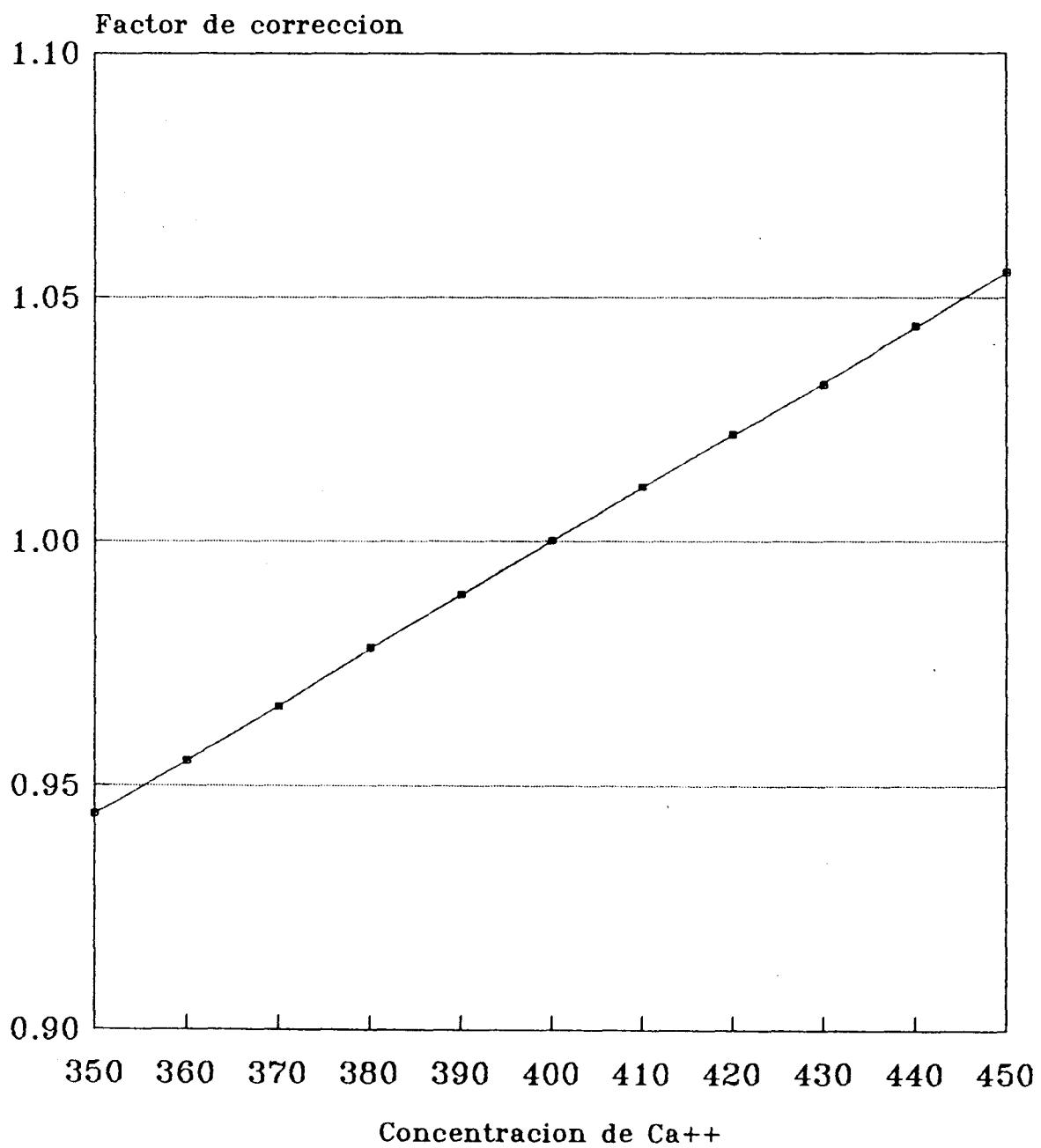


Figura 4.7

Si por el contrario se dosifica manteniendo el límite del "S&DSI", se requerirían $0,25 \text{ cm}^3/\text{l}$ y 4 litros diarios de solución 0,25M. En la Unidad se incorporará entonces un tanque de 20 litros de capacidad, lo que dará una autonomía de 5 días si las características físico-químicas del agua de mar utilizada son similares a las del agua de mar normalizada. Sin embargo este tanque con la respectiva bomba dosificadora, puede ser optativo. En el caso que no se considere la utilización de estos, la precipitación máxima de carbonato de calcio que puede ocurrir en la membrana se presenta en la figura 4.8 en función de las concentraciones de HCO_3^- y CO_3^{2-} presentes en el agua de alimentación. En agua de mar normal, dicha precipitación es equivalente a 90 mg/l aproximadamente, es decir 1,44 kg. por día de operación; conociendo la densidad del carbonato de calcio $2,83 \text{ g/cm}^3$, puede determinarse que esta magnitud es equivalente a 500 cm^3 diarios aproximadamente de carbonato de calcio. Es por lo tanto aconsejable la dosificación de ácido.

El pH del producto, en caso de decidirse por la dosificación, es función de la concentración de los iones bicarbonato y el CO_2 resultantes en el producto; como los iones HCO_3^- son rechazados, mientras que el dióxido de carbono atraviesa fácilmente la membrana, es de esperarse que disminuya dicho pH.

El sistema utilizado para la adición del ácido clorhídrico consta de una bomba dosificadora tipo solenoide, la cual es controlada automáticamente por un sensor de pH aguas arriba del punto de dosificación. Por lo tanto, la operación de la Unidad de Osmosis Inversa será a pH constante. Esto facilita el control del flujo de la unidad debido a la influencia existente entre el pH y la permeabilidad de la membrana al paso del agua.

Para mantener un adecuado control del pH de admisión a la membrana en la planta desaladora, se requiere una dosificación promedio de $0,25 \text{ cm}^3$ por litro de agua; operando a 1600 l/h, la capacidad promedio de la bomba dosificadora deberá ser de 0,4 l/h. Este rango de trabajo

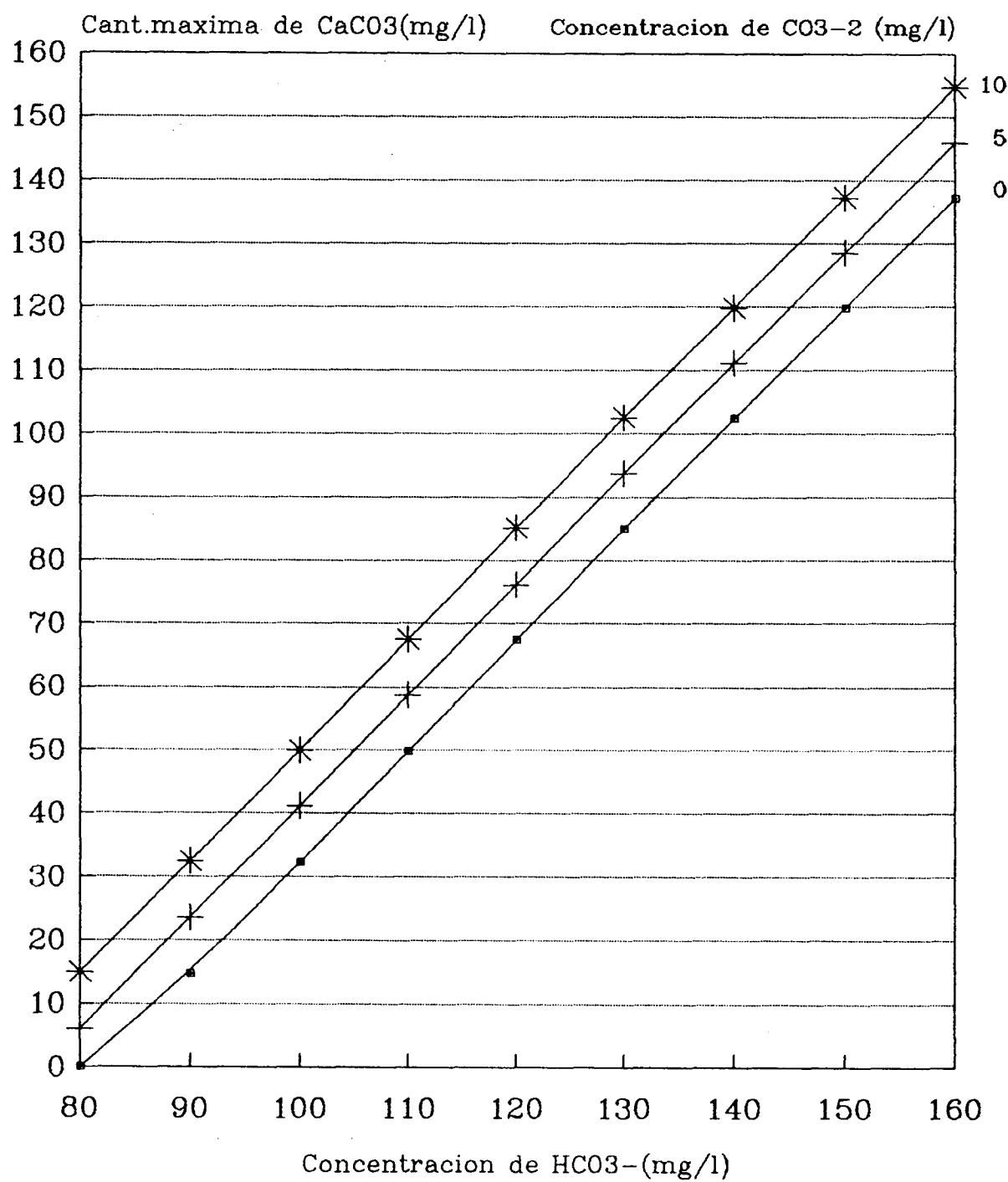
Precipitacion de CaCO₃

Figura 4.8

es cubierto por casi todos los dosificadores de este tipo presentes en el mercado, en el Anexo 2 se presenta la información técnica de este tipo de dosificadores.

4.4.2 Cálculo del Potencial de Precipitación de Sulfatos.

Otro tipo de sales que pueden precipitar en las membranas son los sulfatos poco solubles (CaSO_4 , BaSO_4 y SrSO_4). El cálculo del potencial de precipitación de estas sales se basa en el criterio de la constante de solubilidad de las mismas: "El producto iónico de los elementos involucrados en la formación de una determinada sal debe ser inferior al producto de solubilidad de dicha sal a la temperatura de la solución". Este valor es dependiente de la "interacción iónica" de los distintos elementos de la solución.

El producto iónico de una de estas sales en la solución concentrada se calcula a través de la ecuación:

$$\text{PI}_b = (\text{Ca}^{+2})_b * (\text{SO}_4^{-2})_b \quad (4.10)$$

donde las concentraciones están dadas en moles por litro de solución. El procedimiento a seguir está indicado en la Norma ASTM D4692-87 (ver Anexo 5), donde igualmente se presentan las curvas de los productos de solubilidad con respecto a la interacción iónica a 25° C. Es conveniente a nivel práctico que el producto iónico no supere el 80% del producto de solubilidad de una determinada sal para tener la certeza de que dicha sal no precipita en la Membrana, igualmente dentro de este 20% de seguridad estarían incluidos cualquier cambio de temperatura que pudiera ocurrir en la solución de alimentación.

Calculo y Ajuste del Potencial de Precipitación de otras Sales

Sulfatos

Tipo de Precipitado	CaSO ₄	SrSO ₄	BaSO ₄
Cb[Metal+2] (mg/l)	453.900	3.404	0.011
Cb [Metal+2] (mol/l)	1.1325E-02	3.8852E-05	8.2623E-08
Cb [SO ₄ -2] (mg/l)	3005.952	3005.952	3005.952
Cb [SO ₄ -2] (mol/l)	3.1292E-02	3.1292E-02	3.1292E-02
If	0.692	0.692	0.692
Ib	0.768	0.768	0.768
Producto iónico	3.5438E-04	1.2158E-06	2.5854E-09
Ksp	1.5000E-03	2.0000E-05	5.0000E-09
% Seguridad	76.37%	93.92%	48.29%

Hidróxidos

Típos de Precipitado	Al(OH) ₃	Mg(OH) ₂
Cb[Metal] (mg/l)	0.000	1443.402
Cb [Metal] (mol/l)	2.1029E-09	5.9370E-02
Cb [OH-] (mg/l)	0.013	0.013
Cb [OH-] (mol/l)	7.79398E-07	7.79398E-07
Producto iónico	9.95649E-28	3.60649E-14
Ksp	5.0000E-33	1.0000E-11
% Seguridad	-19912871%	99.64%

Silice (SiO₂)

Cb [SiO ₂] (mg/l)	22.695
SiO ₂ (temp)	100.000
Factor corrección por pH	1.10
Límite de solubilidad (mg/l)	110.000
% Seguridad	79.37%

4.4.3.- Cálculo del Potencial de precipitación de Hidróxidos.

Los hidróxidos de aluminio y de magnesio podrían también precipitar en caso que se den las condiciones apropiadas para ello. El cálculo de su potencial de precipitación es análogo al cálculo de precipitación de Sulfatos y se presentan conjuntamente para las concentraciones normales de los iones el el agua de mar en la tabla 4.3.

Es de notarse que en todos los casos, con excepción del hidróxido de aluminio, existe un margen de seguridad superior al 48%. El Al(OH)_3 tiende a precipitar con la presencia de concentraciones sumamente bajas del ión Al^{+3} . El pre-tratamiento para evitar su precipitación en las membranas no es práctico para equipos compáctos y modulares, ya que requiere de Sistemas de Coagulación-Filtración por las características coloidales de los mismos; pero gracias a que su presencia en el agua de mar en la mayoría de los casos es prácticamente imperceptible, no conviene la implementación de algún tipo de pre-tratamiento. En caso de que ocurra la precipitación, debido a su pequeña cantidad, puede ser removida a través de la limpieza química que las membranas requieren cada cierto período de tiempo sin provocar daños irreversibles a las mismas.

4.4.4.- Cantidad requerida de Bisulfito de Sodio.

La forma más práctica de eliminar la precipitación de ciertos óxidos de metales (hierro y magnesio principalmente) sobre la membrana es a través de la remoción química del oxígeno disuelto en el agua de alimentación. Dosificando bisulfito de sodio (NaHSO_3), además de lograr este objetivo se pueden eliminar trazas de Cl_2 libre y controlar la proliferación de microrganismos dentro de la membrana como se mencionó anteriormente. Estequiométricamente debe mantenerse una

Dosificacion de NaHSO₃ para la eliminacion del Cloro libre

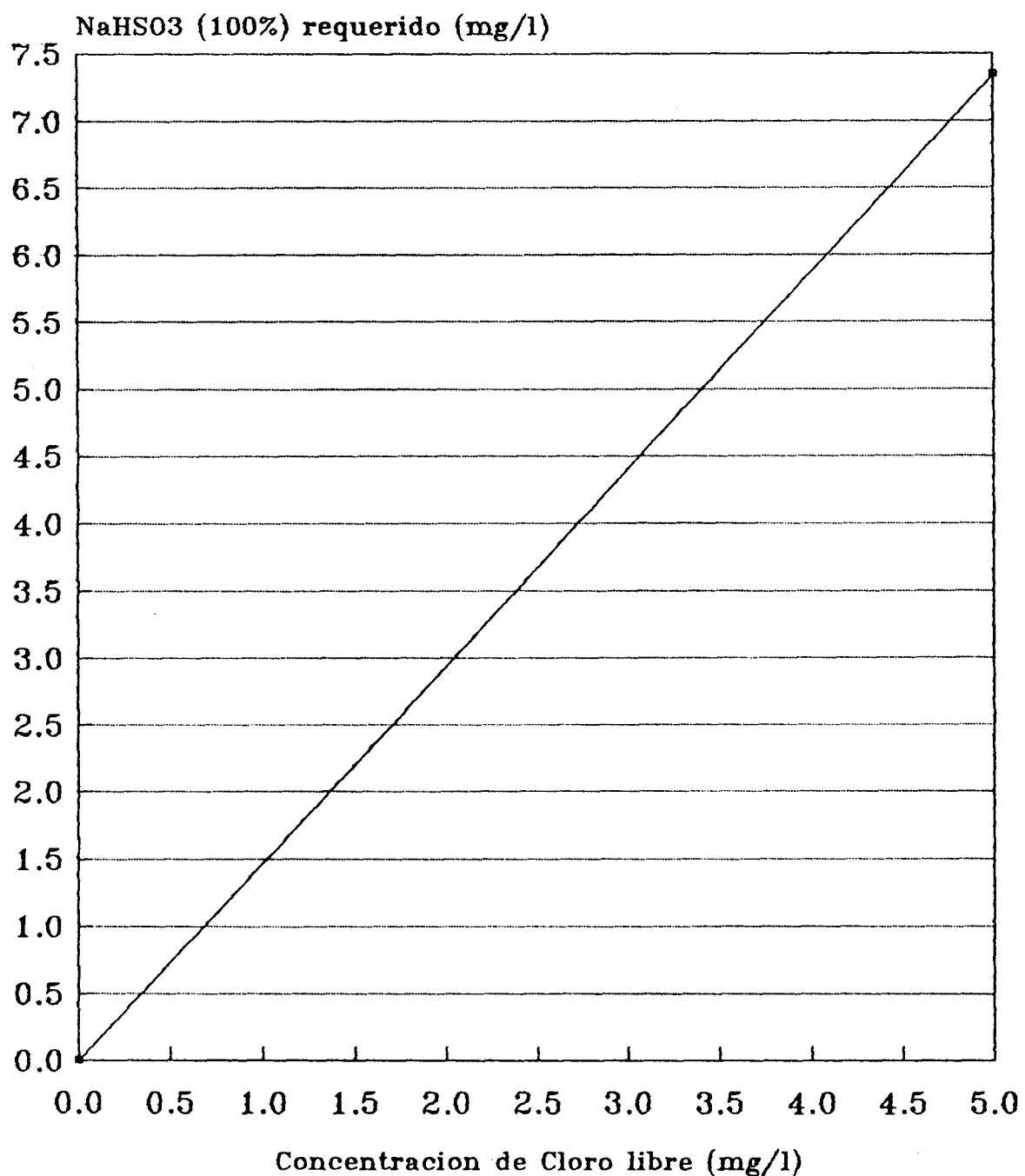


Figura 4.9

Dosificacion de NaHSO₃ para la eliminacion del Oxigeno disuelto

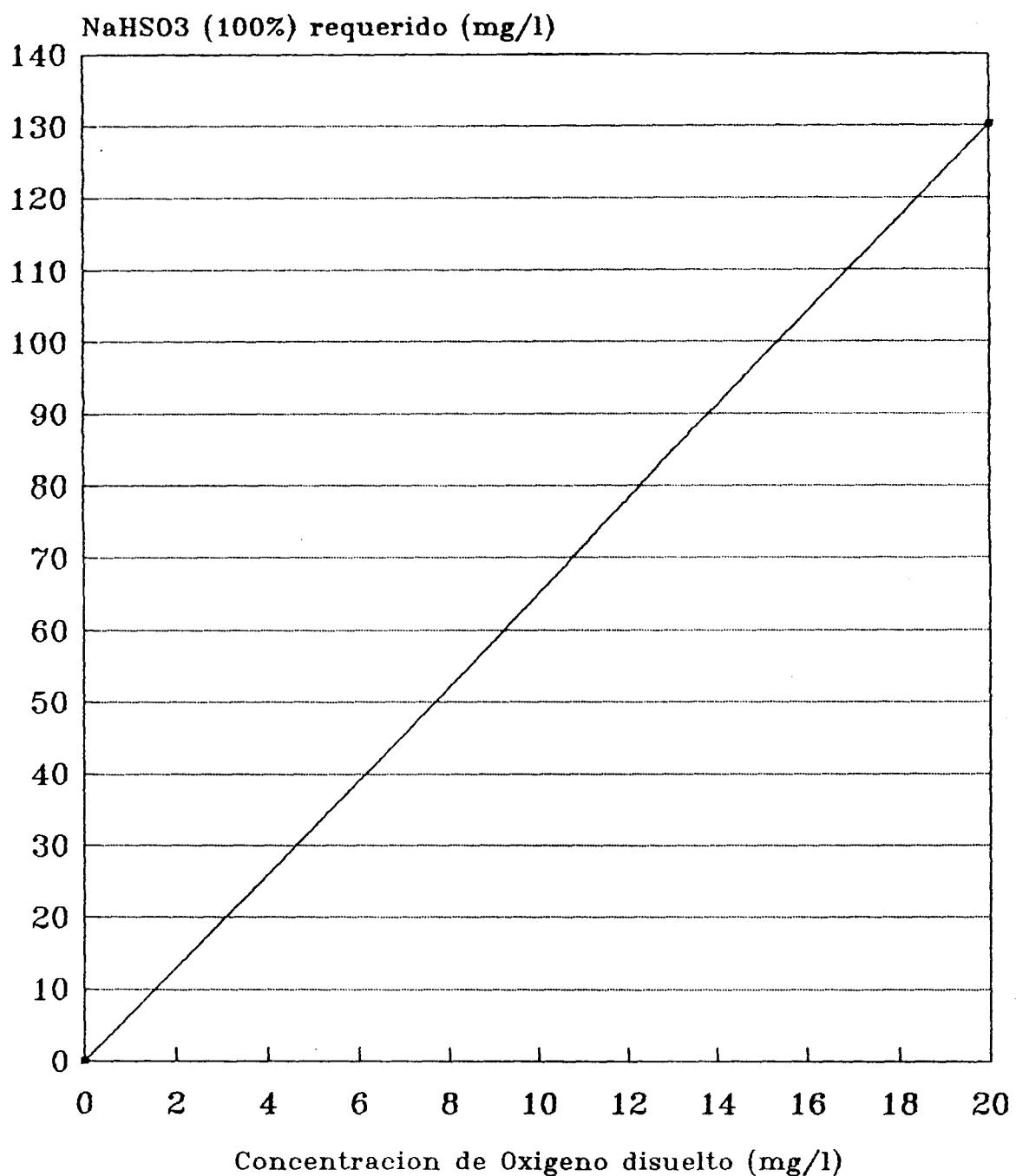


Figura 4.10

Equivalencias de NaHSO₃ (100%)
con soluciones 0,25 – 0,5 – 1,0 Molar

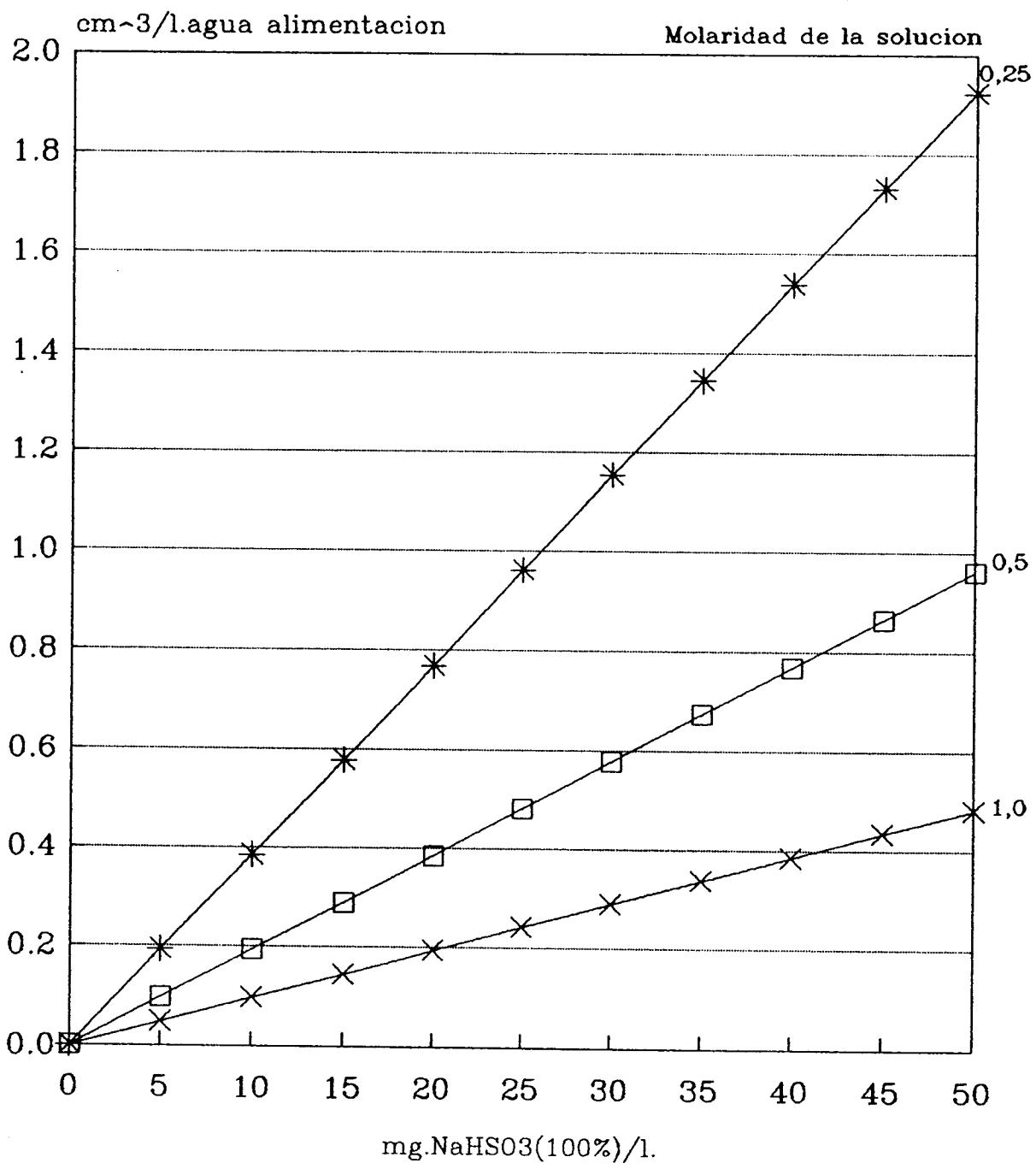


Figura 4.11

concentración de 1,4676 mg/l de Bisulfito por cada 1,0000 mg/l de Cl₂ y 6,5040 mg/l por cada 1,0000 mg/l de O₂ para que estos sean removidos totalmente del agua de mar. De la reacción con el Cl₂ se produce 0,5142 mg/l de HCl, cuyo efecto puede tomarse en cuenta en la dosificación del mismo para reducir la precipitación del carbonato de calcio.

La figuras 4.9 - 4.11 , presentan las curvas de dosificación del NaHSO₃ en función de la concentración del Cl₂ y del O₂ en el agua de alimentación.

La cantidad de microrganismos en el agua de mar puede variar considerablemente de un lugar a otro, o hasta en un mismo lugar en dos momentos diferentes. El índice del contenido biológico del agua de mar es el TBC (Total Bacteria Count). Por lo general el agua de mar superficial contiene elevados valores de TBC, por lo que debe ser considerado un pre-tratamiento para reducir su número. Debido a la variación mencionada, no es práctica la utilización de curvas de dosificación; sin embargo, los fabricantes de la membrana recomiendan mantener entre 5 y 10 mg/l de Bisulfito en exceso para controlar el desarrollo de estos microrganismos.

El mismo Bisulfito y el NaHSO₄ generado por la reacción del mismo con el O₂ y el CO₂ pueden ser contaminantes si sus concentraciones superan ciertos límites. En la unidad, para poder controlar efectivamente los niveles de los elementos mencionados y el desarrollo de microrganismos, se requiere mantener aproximadamente 30-40 ppm de bisulfito en el agua de alimentación. No se ha demostrado que estas concentraciones sean perjudiciales para el consumo humano, pero como no es posible un post-tratamiento adecuado debido al tamaño compacto y a la practicidad que debe tener la unidad, es preferible no utilizar este producto en el sistema de pre-tratamiento. La alternativa posible en este caso es la utilización de filtros de carbón activado, los cuales son capaces de retener ya sea el oxígeno disuelto como también el cloro libre que contiene el agua, aunque no con la misma efectividad que

el bisulfito, pero por lo menos para mantener ciertos márgenes tolerables de estos elementos en el flujo de agua hacia la membrana.

4.4.5.- Cálculo del Punto de Saturación de la Sílice.

Para determinar la necesidad de un pre-tratamiento para el control de la precipitación de la sílice, debe compararse la concentración de SiO₂ en el rechazo con el límite de solubilidad de la misma. Este valor es fuertemente dependiente del pH y de la temperatura de operación, cuyas relaciones se presentan en las figuras 4.12 y 4.13. Entonces el límite de Solubilidad a un pH y Temperatura determinadas viene dado por la relación:

$$\text{SiO}_2 = \text{SiO}_2(\text{temp.}) * \text{Factor de Corrección por pH} \quad (4.11)$$

En la tabla 4.3 se presenta el cálculo de este valor conjuntamente con el porcentaje de seguridad del cual se dispone trabajando con agua de mar normal, a través del cual puede concluirse que no se requiere de un tratamiento para evitar la precipitación de la Sílice, ya que es poco probable que esto ocurra.

4.4.6.- Sistema de Filtrado del Agua de Alimentación.

Un elemento indispensable en un equipo de Osmosis Inversa es el Sistema de Filtrado, principalmente en sistemas donde el pre-tratamiento sea deficiente; ya que este se encarga de remover partículas de tamaños capaces de producir un ensuciamiento y tamponamiento de los canales hidráulicos de la membrana. Igualmente protege a la bomba de alta presión y a las tuberías, ya que ciertas partículas si no son retenidas a tiempo, son capaces de desgastar progresivamente ciertos

Solubilidad de la Silice (SiO_2) vs. Temperatura

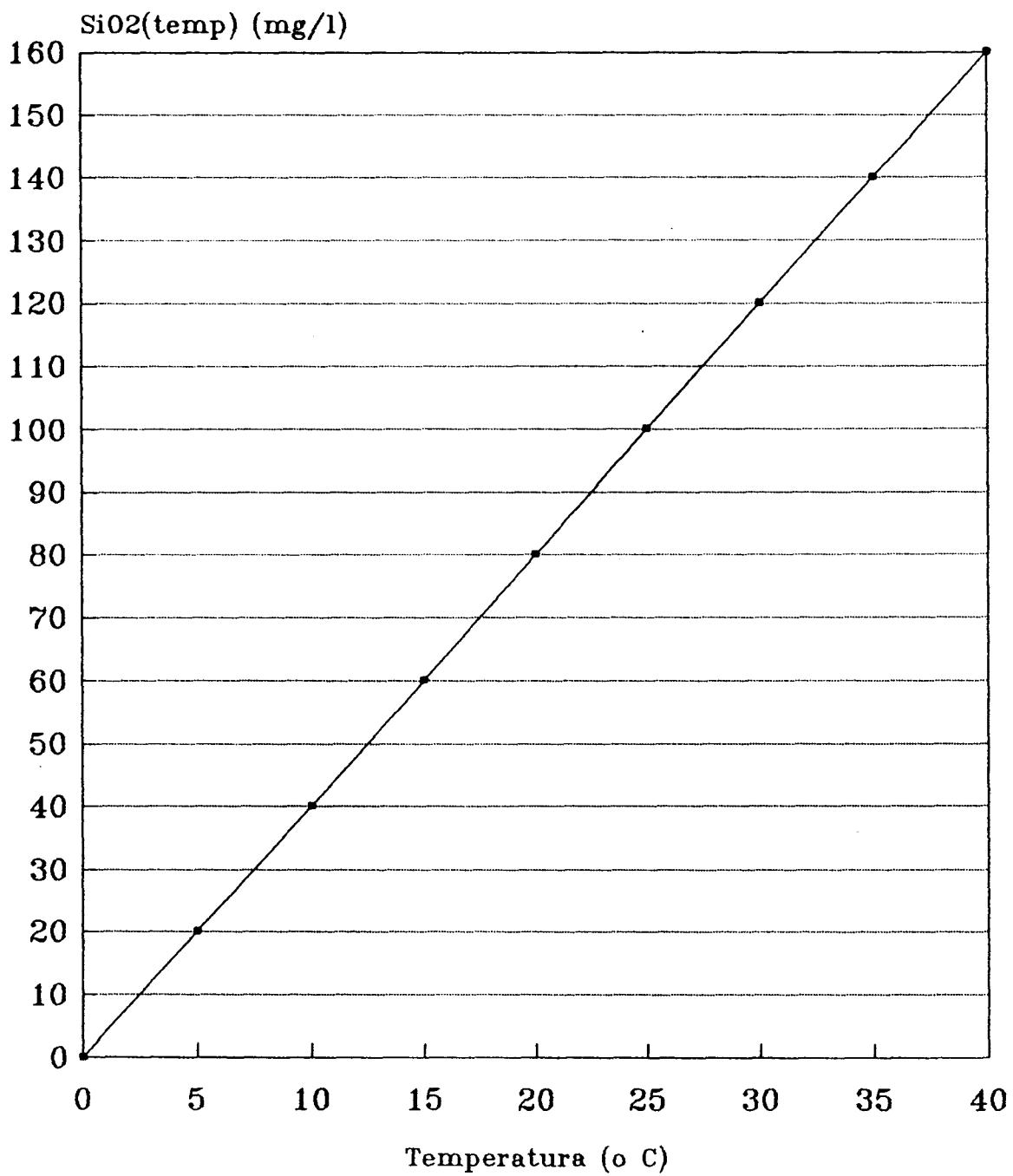


Figura 4.12

Factor de Correccion de SiO₂ vs. pH

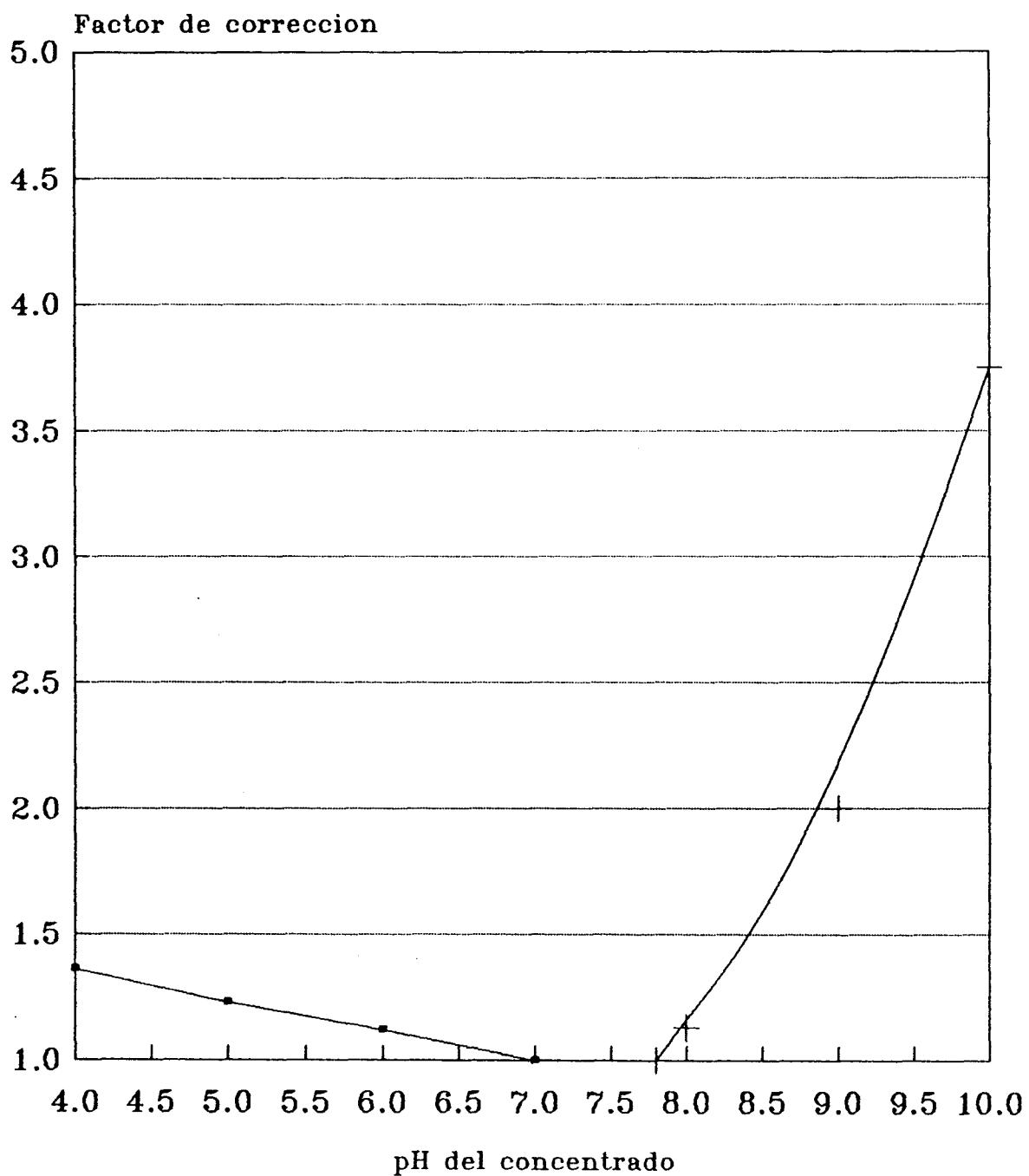


Figura 4.13

componentes mecánicos.

Debido al pequeño tamaño físico de la Unidad, no es posible la utilización de filtros de arena; por lo tanto el filtrado fino se realizará a través de filtros de Cartucho de 5 micrones; estos son capaces de retener hasta pequeñas partículas coloidales y bacterias que pueda contener el agua de alimentación. Presentan el inconveniente de que se ensucian con facilidad, por lo tanto, para alargar su vida útil es necesario colocar previo a ellos algún elemento que retenga partículas de mayor tamaño, del orden de 15-25 micrones. Para ello se seleccionó un filtro novedoso que posee un sistema propio de retrolavado sin necesidad de la interrupción del servicio; el funcionamiento del mismo se presenta en el Anexo 2.

Después de los filtros de cartucho es conveniente el filtrado del agua con elementos de carbón activado, tal como se mencionó anteriormente, cuyo objetivo es la eliminación de las trazas restantes de cloro libre, oxígeno disuelto y cualquier contaminante, olor o sabor que pueda desmejorar la calidad del agua producto, ya que el objetivo de esta Planta es obtener agua potable que cumpla con las normativas mundiales de salubridad.

4.5.- Post-tratamiento del agua.

Existen diversas razones para pensar en algunos casos en Post-tratamientos que pueda requerir el agua al salir de una Planta de Osmosis Inversa antes de ser utilizada. Estas razones se basan principalmente en los usos que recibirá posteriormente. Usualmente los objetivos de los mismos es la desinfección del agua, la cual puede realizarse ya sea a través de la dosificación de Cloro o Radiación Ultravioleta o un aumento del pH en caso de que este sea muy bajo. Los dos procedimientos usuales para el aumento de dicho pH son la dosificación de Soda Cáustica en pequeñas cantidades y la aireación del agua para que libere parte del

CO₂ disuelto que contiene, responsable en gran parte de dicha acidéz. Por lo general estos métodos se aplican si el agua es necesaria en procesos industriales, la cual podría ser muy corrosiva debido a la presencia del Acido Carbónico.

Partiendo del hecho que las membranas son capaces de retener un 90-95% de materia orgánica, no se requiere algún elemento purificador o bactericida. Sin embargo, si se estima que el agua pueda permanecer por mucho tiempo estancada en algún tanque, sería conveniente la esterilización de la misma a la salida de dicho tanque, por medio de un equipo de radiación ultravioleta, cuyas características y curvas de exposición se presentan en el Anexo 2.

Para el consumo humano no es dañino, sino por el contrario puede considerarse agradable, el uso de agua con cierto contenido de CO₂ (agua gasificada), manteniendo valores aceptables de pH. Debido a ello no se contará con equipos degasificadores, aunque simplemente con la aireación que pueda tener el producto en el tanque de almacenamiento, se producirá una disminución del CO₂ disuelto.

Capítulo 5: Selección de los materiales.

5.1.- Factores que intervienen en la selección de los materiales.

Los factores más importantes considerados en la selección de los materiales que serán empleados en los distintos elementos y equipos de la planta desaladora son:

- * La resistencia a ambientes y fluidos altamente corrosivos, como es el caso del agua de mar.
- * Propiedades mecánicas y físicas (resistencia y peso principalmente), dependiendo del lugar que ocupan y la función que cumplen.
- * La estandarización en la medida de lo posible, ya que muchos fabricantes ofrecen la elaboración de sus productos en los materiales o aleaciones deseadas, bajo órdenes de producción por pedido además de su producción normal.

5.2.- Tuberías.

Debido a que la mayor parte de las tuberías de la unidad (exceptuando aquellas presentes en la zona de producto), están expuestas continuamente al contacto con el agua de mar, el factor común a todas ellas debe ser la alta resistencia a la corrosión electroquímica que puede ocurrir debido al contacto con una solución electrolítica. Como segundo factor importante deben considerarse las propiedades mecánicas que deben poseer las mismas de acuerdo al lugar y función que ocupan dentro

de la unidad. Según este criterio, pueden ser clasificadas en dos grupos diferentes y por lo tanto evaluadas según consideraciones diferentes. Estos grupos son: tuberías de alta presión y de baja presión.

5.2.1.- Tuberías de alta presión.

Este tipo de tuberías se caracteriza por la circulación a través de ellas de agua de mar a altas presiones (superiores a 50 atm.). Los materiales alternativos que podrían utilizarse en la fabricación de las mismas son: aceros inoxidables de alta aleación y fibras sintéticas (de vidrio, carbono, etc.) combinadas con resinas.

La mayor ventaja de la combinación fibra-resina es la baja relación resistencia/peso que poseen, sin embargo presentan diversas desventajas prácticas con respecto a los aceros en la fabricación de tuberías, entre las cuales pueden mencionarse la difícil conformación y maquinabilidad; la escasez de piezas y elementos de conexión de las mismas, lo que dificulta su instalación, no están estandarizados y por último los mayores espesores que se requerirían para soportar los esfuerzos a los que serán sometidas. Por estas razones se opta por la utilización de aceros inoxidables.

Los aceros inoxidables están sujetos a dos tipos fundamentales de corrosión, la intergranular que se forma principalmente en los límites de los granos de la estructura del metal y la debida a esfuerzos concentrados si son sometidos a altas presiones. Por estas razones deben utilizarse aceros "pasivos", los cuales poseen un alto contenido de cromo, el cual se disuelve principalmente en las fronteras de los granos, reduciendo en gran parte el proceso de corrosión; igualmente este le confiere una mayor resistencia a la corrosión electrolítica. Al mismo tiempo es preferible la utilización de aceros austeníticos para obtener una mayor resistencia a los esfuerzos concentrados.

Estas características son presentadas por diversos aceros inoxidables, por lo tanto, para la selección entre estos se utilizará como criterio el índice PRE (Pitting Resistance Equivalents), el cual proporciona un indicativo de la resistencia a la corrosión intergranular según la composición porcentual en peso de los aleantes que poseen. Este índice viene dado por la ecuación:

$$\text{PRE} = \% \text{Cr} + 3,3 * \% \text{Mo} + 30 * \% \text{N} \quad (5.1)$$

Un acero con un mayor valor del índice PRE será más resistente a este tipo de corrosión que uno con un menor valor. En la tabla 5.1 se presenta una comparación de este índice para distintos aceros austeníticos comerciales. Según este criterio, el material seleccionado para la fabricación de las tuberías de alta presión es el acero inoxidable del tipo AISI/UNS S31254.

El espesor mínimo de pared que deben tener las tuberías realizadas con este material puede calcularse de acuerdo a las Normas ANSI B31.1 para el cálculo de esfuerzos, según las cuales:

$$t = P * D / 2 * S_a \quad (5.2)$$

donde t es el espesor de la pared (mm.); P la presión interna máxima de diseño (kg/cm^2); D el diámetro externo de la tubería (mm.) y S_a el esfuerzo máximo admisible (kg/cm^2), el cual es el menor valor entre $2/3$ del esfuerzo de fluencia del material y $1/3$ del esfuerzo máximo a tensión. Este valor, aumentado en un 25% por el desgaste y como factor de seguridad se presenta en la tabla 5.2 en función de los distintos diámetros de tubería.

Tipo de acero	Composición química (%)									PRE
	máx. C	Cr	Ni	Mo	N	máx. Si	máx. Mn	máx. S	máx. P	
AISI/UNS S31254	0.02	20.00	18.00	6.20	0.20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	46.46
AISI/UNS NO8904	0.02	20.00	25.00	4.50	0.00	0.75	2.00	0.03	0.04	34.85
AISI/UNS S31726	0.03	17.00	13.00	4.20	0.00	0.75	2.00	0.03	0.04	30.86
AISI/UNS 317L	0.03	18.50	13.50	3.20	0.00	0.75	2.00	0.03	0.04	29.06
AISI S30815	0.05	22.00	12.00	0.00	0.20	2.00	0.80	0.03	0.04	28.00
AISI/UNS 316L	0.03	18.00	13.00	3.00	0.00	0.75	2.00	0.03	0.04	27.90
AISI/UNS 304L	0.03	19.00	10.00	0.00	0.00	0.75	2.00	0.03	0.04	19.00

Tabla 5.1

S _{max} (kg/cm ²)=	6100.00	P (kg/cm ²)=	66.80
S _y (kg/cm ²)=	3200.00	S _a (kg/cm ²)=	2040.00
Diámetro nominal	di (mm)	D (mm.)	Espesor requerido t (mm.)
			Espesores de tuberías comerciales
			Sch 10 Sch 40 Sch 80
1/4"	13.16	13.72	0.28
3/8"	16.45	17.15	0.35
1/2"	20.47	21.34	0.44
3/4"	25.58	26.67	0.55

Tabla 5.2

5.2.2.- Tuberías de baja presión.

Para este tipo de tuberías solamente se requiere que tengan alta resistencia a la corrosión electroquímica, ya que los otros factores operativos (bajas presiones y temperaturas) no son limitantes. Debido a ello se seleccionó como material al PVC, cuyas principales ventajas y desventajas se presentan a continuación.

Ventajas:

- * No son susceptibles a la corrosión electroquímica, ya que los iones cloruro e hidrógeno no son capaces de atacarlo.
- * Actua como aislante de los componentes elaborados con diferentes metales, preveniendo la corrosión electroquímica por la formacion de pilas galvánicas.
- * Resistencia al ataque bacteriano.
- * No es propenso a la formacion de cristales o incrustaciones de cualquier tipo.

Desventajas:

- * Disminucion de la resistencia mecanica por efectos de la temperatura.
- * Soluble a las altas concentraciones y prolongada exposicion de algunas sustancias químicas.

El uso de aceros inoxidables no se justifica de ninguna manera, debido a la baja presión de las líneas.

En la zona de producto, generalmente aumenta la cantidad de CO₂, el cual puede generar ácido carbónico, el cual es altamente corrosivo en materiales metálicos, pero no produce ningún efecto sobre el PVC.

5.3.- Estructura de apoyo y rigidización:

El acero al carbono es el material por excelencia para ser utilizado en los sistemas estructurales, sin embargo si va a ser utilizado en ambientes corrosivos deben emplearse ciertas técnicas para su protección contra la corrosión, a la cual es altamente susceptible. A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas que este presenta.

Ventajas:

- * Resistente a esfuerzos de tracción, flexión y torsión.
- * Facilidad de ser unido mediante soldaduras.
- * Facilidad de ser mecanizado.
- * Los perfiles estructurales son de fabricación estándar.

Desventajas:

- * Baja resistencia a la corrosión electroquímica, por lo que requiere de protecciones para evitarla.
- * Preferiblemente debe ser aislado del contacto con otros metales para evitar la corrosión galvánica.
- * Altamente sensible a la corrosión por concentración de esfuerzos.

Los materiales alternativos que pueden ser utilizados son el aluminio y sus aleaciones, acero inoxidable y fibras-resinas sintéticas.

El aluminio presenta una serie de ventajas y desventajas que se mencionan a continuación:

Ventajas:

- * Bajo peso.
- * No requiere protecciones adicionales contra la corrosión, ya que en contacto con el aire se forma en su superficie una densa e impermeable capa de óxido de aluminio, lo cual impide su posterior oxidación.

Desventajas:

- * Es un material muy dúctil, por lo que deben utilizarse mayores espesores de pared de los elementos estructurales y además debería reforzarse más la estructura, lo que complicaría el diseño.
- * Se requiere de soldaduras especiales para ensamblar la estructura.

El uso de aceros inoxidables no se justifica por su elevado costo, además de que los esfuerzos a los que se someterá la estructura no son considerables. La fibra de vidrio se descarta por su difícil conformado en la elaboración de estructuras y los mayores espesores que se requerirían.

Se selecciona por lo tanto el acero al carbono, con la consideración de que debe aplicada alguna protección adicional para aislarlo del medio corrosivo.

5.4.- Tanques.

La unidad comprende dos tanques, uno de los cuales es utilizado para el almacenamiento temporal del producto obtenido, mientras que el otro debe contener a la solución de ácido clorhídrico diluida que debe dosificarse al agua de alimentación.

5.4.1.- Tanque de producto.

Las características fundamentales que debe poseer el material de este tanque son:

- * Debe ser atóxico para el agua almacenada.
- * Resistencia a la corrosión electroquímica.

- * Cierta resistencia mecánica.

- * Resistencia al ataque y la proliferación de microrganismos.

Los materiales alternativos más idóneos que pueden ser utilizados son polímeros termoplásticos o fibras-resinas sintéticas, cuyas ventajas y desventajas se presentan a continuación:

Polímeros termoplásticos:

Ventajas:

- * No son sujetos a corrosión electroquímica.

- * Alta resistencia al ataque bacteriano.

- * No es propenso a la formación de cristales u otras incrustaciones.

- * Resistencia a los impactos.

Desventajas:

- * Solubles a altas concentraciones y prolongada exposición de algunas sustancias químicas.

- * Para la fabricación de elementos no estandarizados se requiere una gran inversión para la fabricación de los moldes.

- * Deben tener resfuerzos especiales para la adaptación de tuberías y accesorios (válvulas).

Fibras-resinas sintéticas:

Ventajas:

- * Alta resistencia mecánica a la tracción torsión y flexión.

- * No son sujetas a la corrosión electroquímica y poseen una alta resistencia a ser degradadas por sustancias químicas.

- * Alta resistencia a los impactos.

- * Son fácilmente conformables.

- * Alta relación resistencia/peso.

Desventajas:

* Son susceptibles a la deposición de microrganismos.

De estos materiales se seleccionaron los materiales compuestos de fibras-resinas sintéticas, de las cuales la más común es la fibra de vidrio, ya que tienen una mayor facilidad para ser conformadas, además se obtiene una mayor resistencia y solidez en las conexiones con las tuberías. Sin embargo, es necesario que sean fabricados de forma tal que la superficie interior sea completamente lisa, para evitar la acumulación de microrganismos, aunque esto no representa un grave problema debido a que la membrana es capaz de remover hasta un 95% de los mismos y este tanque es solamente un elemento de almacenamiento temporal.

5.4.2.- Tanque de ácido.

Las características principales que debe tener el material de este tanque son: la resistencia al contacto prolongado con ácido clorhídrico en concentraciones de hasta 0,5M y una alta resistencia al impacto como medida de seguridad.

El material más idóneo para esta aplicación según las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente son las fibras sintéticas combinadas con resinas. Entre estas, las más recomendadas para estar en contacto prolongado con ácidos son las que utilizan como revestimiento resinas de fenol-formaldeido. Uno de los nombres comerciales de este tipo de material es el HAVEG 41NA®, el cual soporta hasta ácido clorhídrico al 100% hasta temperaturas de 150° C.

5.5.- Recipiente contenedor de la membrana.

Las alternativas posibles son las mismas que para las tuberías de alta presión, es decir aceros inoxidables y materiales compuestos de fibras y resinas sintéticas. Se selecciona nuevamente al acero AISI/UNS S31254 por las características mencionadas con anterioridad. Otra de las

características que debe ser tomada en cuenta para la selección de este material es la facilidad para ser conformado y maquinado con muy bajas tolerancias dimensionales, las cuales son requeridas para el tipo de sellos y ajustes que requiere la membrana y el sistema de cierre. En el capítulo siguiente se presenta una descripción detallada del mismo.

5.6.- Otros elementos.

La selección de los materiales de los restantes elementos que se encuentran en contacto con el fluido, es decir válvulas, bombas y sensores, depende principalmente de los materiales presentados como alternativas por los fabricantes de dichos elementos, ya que son piezas muy especializadas cuyo costo en el caso que sean requeridas en materiales especiales es considerablemente elevado y en la mayoría de los casos no es posible su realización. Entre dichas alternativas deben seleccionarse aquellos elementos fabricados con aceros inoxidables austeníticos de alta aleación, con características mínimas de resistencia a la corrosión similares a las del acero AISI 316L.

5.7.- Protecciones adicionales.

Adicionalmente y principalmente en los elementos estructurales externos deben tomarse en cuenta ciertas protecciones adicionales requeridas para aislarlos de los ambientes corrosivos.

Algunas de las alternativas se mencionan a continuación:

- * Aplicación de revestimientos superficiales como por ejemplo, pinturas plásticas y epóxicas sobre las superficies de la estructura de apoyo y rigidización.
- * Utilización de manguitos separadores, de plástico o goma entre los componentes de materiales metálicos y la estructura de apoyo.

Los revestimientos superficiales es el medio de protección seleccionado para la estructura de apoyo y rigidización debido a su fácil aplicación y por no requerir equipos adicionales. Esta clase de protección puede ser grasa, aceites, pinturas, películas de óxidos o sales y revestimientos metálicos. Los aceites y grasa proporcionan un buen aislamiento pero se eliminan con facilidad. Los recubrimientos plásticos o epóxicos, como las pinturas, aislan los ánodos y cátodos del electrolito, pero deben ser inspeccionados y nuevamente aplicados si fuera necesario, ya que pudieran presentarse grietas en estos recubrimientos y originar puntos de corrosión localizada. Las películas de sales u óxidos se obtienen haciendo reaccionar el metal con una solución que produce la película deseada; el "Parkerizado" para aleaciones ferrosas por ejemplo, protege mediante la formación de una película de fosfato. Los revestimientos metálicos pueden realizarse mediante inmersión en un baño de metal fundido, electrodepositación u otros.

Se seleccionó el recubrimiento de la estructura de apoyo y rigidización mediante una protección plástica (pintura epólica), debido a su fácil aplicación.

También debe colocarse una protección entre la estructura de soporte y los componentes de materiales metálicos como por ejemplo, el módulo de la membrana y la tubería de alta presión. Para ello se seleccionó el aislamiento mediante el empleo de mangúitos separadores, de goma o plástico; pudiéndose realizarse también un recubrimiento plástico de alta resistencia sobre los componentes metálicos que conforman la unidad desaladora.

5.8.- Elementos adicionales que deben ser considerados.

Uno de los factores que más influyen en la corrosión es la diferencia del potencial eléctrico entre dos metales o entre áreas del mismo metal, sumergidas en un electrolito.

Otro de los factores que afecta a la velocidad de corrosión es la presencia de oxígeno disuelto en el electrolito. La acción del oxígeno es doble, ya que actúa en la formación de los óxidos, además de la despolarización del cátodo. Por esto, en un ambiente ventilado, donde el electrolito se agite, haciendo que el oxígeno se disuelva en este, el efecto de la corrosión se acelerara notablemente.

Existen otros factores como pueden ser: la presencia de otros iones en la solución, temperatura y corrientes eléctricas; que pueden llegar a alterar la velocidad de corrosión notablemente.

Todos estos elementos mencionados deben ser evitados, reduciendo así la posibilidad de que ocurra la corrosión en el sistema.

Para el diseño se establecieron ciertas normas o condiciones generales que deben ser consideradas para la prevención o reducción de la corrosión, las cuales son:

- 1) Reducir las áreas donde los líquidos o la humedad puedan ser retenidos.
- 2) Evitar la elaboración de partes donde intervengan metales que generen una significativa diferencia de potencial.
- 3) En caso de que se pongan en contacto materiales con significativa diferencia de potencial debe recurrirse a su aislamiento a través de elementos plásticos u otros aislantes.
- 4) Reducir las áreas superficiales, en posible contacto con el electrolito, que pudieran actuar como cátodo.
- 5) Evitar la formación de corrientes inducidas debida a las instalaciones eléctricas, mediante el empleo de cables aislados con protecciones, tubos conduit u otros.
- 6) Reducir la concentración de esfuerzos mediante el empleo de bisagras, terminaciones redondeadas, etc.

- 7) Utilizar arandelas de plástico o caucho en los pernos de sujeción.
- 8) En lo posible, sustituir los remaches o pernos por soldaduras, para una mejor distribución de esfuerzos.
- 9) Evitar en las tuberías, las zonas de fluido estancado.
- 10) Diseñar el sistema de fluidos con alto número de Reynolds, sobre todo en las tuberías de acero inoxidable (velocidades superiores a 2 m/seg).

Capítulo 6: Sistema de manejo de los fluidos.

6.1.- Diagrama de flujo de los fluidos.

Las corrientes de flujo están formadas básicamente por tres líneas denominadas:

- * Alimentacion: Flujo de entrada a la unidad desaladora, el cual proviene de una fuente de agua de mar.
- * Producto: Flujo de salida de la unidad desaladora, que se obtiene como resultado del proceso de Osmosis Inversa y cuya cantidad de sales disueltas es aproximadamente la centésima parte del flujo de alimentacion.
- * Rechazo: Flujo de salida de la unidad desaladora, el cual contiene a los iones y moléculas rechazados por la membrana y por lo tanto es de mayor concentración salina que el agua de alimentación.

Debe recordarse que el proceso de desalacion por Osmosis Inversa es un proceso continuo, tal como se mencionó en el primer capítulo.

El proceso global puede subdividirse en cinco etapas de acuerdo a las condiciones a las que se somete el fluido:

1.- La primera etapa está formada por los sistemas de bombeo de circulación y pretratamiento. Consta de una bomba centrífuga, cuya finalidad es proporcionarle al fluido la energía suficiente para que recorra la zona de pretratamiento más una cantidad adicional para su entrada a la segunda etapa, conjuntamente con la adecuada interconexión

a través de tuberías. El pretratamiento está constituido por un conjunto de filtros conectados en serie/paralelo y un dosificador de ácido.

2.- La segunda etapa consta de una bomba reciproante, una tubería de reflujo controlada por una válvula de bola para la regulación del caudal, un disco de ruptura y una válvula de seguridad para excesos de presión. Esta etapa le proporciona al fluido la presión de operación, la cual oscila generalmente entre 54 y 64 kg/cm² (800-950 psi).

3.- La tercera etapa está formada por el módulo de membrana en el cual ocurre el fenómeno de Osmosis Inversa, siendo este el corazón de la unidad desaladora. De este módulo saldrán los flujos de producto y rechazo, finalizando el flujo de alimentación.

4.- La cuarta etapa agrupa a todas las tuberías del rechazo, válvulas de paso, cierre y válvula de control.

5.- La última etapa está compuesta por las tuberías de salida y control del producto de la unidad, conjuntamente con un tanque para el almacenamiento temporal del agua obtenida.

Es de hacer notar que durante el recorrido del fluido existen sensores de presión, caudal, continuidad (para determinar la calidad del agua) y pH.

En la figura 6.1 presentada a continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de desalación por Osmosis Inversa realizado por la unidad y los respectivos elementos que la componen:

- (1) Válvula solenoide de paso y cierre.
- (2) Bomba centrífuga de circulación.
- (3) Filtro autolavable.
- (4) Filtros de cartucho (5 μ).
- (5) Filtros de cartucho de carbón activado.
- (6) Dosificador de ácido con su respectivo tanque.
- (7) Válvula de retención.

- (8) Sensor de baja presión.
- (9) Bomba reciprocedante de alta presión.
- (10) Válvula de bola.
- (11) Disco de ruptura de tipo unión.
- (12) Válvula de seguridad.
- (13) Sensor de alta presión.
- (14) Módulo de membrana.
- (15) Sensor de alta presión.
- (16) Válvula de bola, con actuador.
- (17) Sensor de flujo.
- (18) Sensor de flujo.
- (19) Sensor de continuidad (calidad del producto).
- (20) Tanque de producto.
- (21) Valvula de retención.
- (22) Valvula solenoide de paso y cierre.



6.2.- Selección de los elementos para el manejo de fluidos.

6.2.1.- Válvulas.

Las válvulas, en general, tienen por función realizar una modificación de las características del flujo de los fluidos mediante la conversión de su energía cinética; modificando las características de presión, velocidad y caudal de este.

6.2.1.1.- Válvulas de control.

La determinación del tamaño de las válvulas tiene relación con la caída de presión a un volumen de flujo establecido. La experiencia con las válvulas de cierre ha demostrado que la caída de presión no debe ser muy grande. Una válvula de cierre de menor tamaño significa que el sistema o bien requiere de una bomba mayor o que el sistema no tiene la capacidad volumétrica requerida. Por otra parte, el empleo de una válvula de cierre de tamaño mayor que el requerido, sólo representa en una inversión de capital mayor.

Lo contrario ocurre con las válvulas de control, ya que es esencial que estas no sean de un tamaño mayor o menor al requerido. Si las válvulas de control son de menor tamaño ocurrirá lo mismo que en las válvulas de cierre, pero si son de mayor tamaño pueden ocasionar una falla del control deseado o pueden deteriorarse si se las hacen operar muy cerca de la posición de cierre.

Para determinar el tamaño de una válvula de control, se tomó en cuenta la posición del elemento de acción de la válvula con el gasto mínimo esperado. Debido a experiencias anteriores, los fabricantes recomiendan que por ningún motivo se debe hacer funcionar una válvula con menos del 10% de apertura. La velocidad del flujo, que está

relacionada con la erosión y con la viscosidad del líquido, se mantendrá entre 1,5 a 2,5 m/seg. La caída de presión utilizada para determinar el tamaño, es la que ocurre cuando la válvula está abierta o, en el caso de una estrangulación, en las posiciones de uso mínimo, máximo y normal. Una vez determinada la caída de presión, se calcula la constante o factor de circulación (C_v) de la valvula. Los valores de caida máxima y mínima estan calculados en el punto 6.4.

Las válvulas de bola, seleccionadas para la función de control, poseen un macho esférico perforado que controla la circulación del fluido. Este tipo de válvulas poseen unas características de operación de igual porcentaje o lineales (ver Anexo 3), además de originar cierres herméticos, por lo cual podrán ser empleadas para ambas funciones, cierre y estrangulación. El ángulo comprendido entre la apertura y cierre total de las mismas es de 90 grados. Poseen asientos plásticos que resisten hasta aproximadamente 170° C, aunque existen versiones para incendios, que soportan temperaturas considerablemente superiores. No requieren lubricación y son las que requieren y generan menor torsión durante su operación, debido a lo cual son ideales para operar con altos caudales y/o presiones en las líneas.

Las variaciones de presión de alimentación a la entrada del módulo de la membrana se controlan mediante una válvula de bola ubicada en la línea de rechazo. Como consecuencia de esta variación de presión, ocurre una variación del caudal. Este caudal es controlado definitivamente a través de una segunda válvula de bola en una línea de reflujo entre la entrada y salida de la bomba reciprocante de alta presión. (ver figura 6.1).

Un método simplificado para la determinación del tamaño de la válvula requiere definir el coeficiente " C_v ", con el cual dirigirse a los catálogos de los fabricantes. Además de realizarse una asignación de la caída de presión de la válvula, la cual se efectúa mediante un análisis dinámico del flujo y un estudio de las características del fluido.

En el caso específico de esta unidad, la operación con un flujo turbulento con alto número de Reynolds implica que las características de flujo en la válvula no son de gran importancia. Además, el tipo de fluido manejado y las temperaturas de operación determinan que el paso de este a través de la válvula es subcrítico, lo que significa que no se espera ni cambio de fase, ni cavitación. La caída de presión asignada no requiere un estudio dinámico propiamente dicho, ya que para las condiciones de operación extremas, solo existe una familia de válvulas que los fabricantes proporcionan, siendo muy superior o inferior a la presión requerida para las otras familias de válvulas. El tipo de válvulas utilizadas pertenecen a la familia que soporta valores aproximados de 1000 psi.

Ha de recordarse que la longitud de las tuberías y las conexiones (codos, tees, etc.), no originarán ni en la válvula de control de presión ni en el porcentaje de recuperación, factores de corrección en las ecuaciones, ya que las pérdidas ocasionadas por estos, son despreciables para estos cálculos.

Debe mencionarse que para las válvulas de control es incorrecto emplear un factor de seguridad, ya que un sobredimensionamiento de estas, puede ocasionar un mal control del flujo.

A continuación se presenta la ecuación y los cálculos requeridos para la determinación del coeficiente C_v :

$$C_v = Q^*(S/\Delta p)^{1/2} \quad (6.1)$$

donde el caudal Q está dado en galones por minuto, S es la densidad relativa del fluido y Δp es la diferencia entre las presiones máxima y mínima de control (psi).

Para la válvula de control ubicada en la línea de rechazo, se obtiene:

$$C_v = 6,340 * (1,024/466,3)^{1/2}$$

$$C_v = 0,297$$

* Para la válvula de control ubicada en la linea de reflujo de la bomba reciprocante de alta presión:

$$C_v = 0,184 * (1,021 / 948,5)^{1/2}$$

$$C_v = 0,006$$

Las presiones utilizadas para la obtención de este coeficiente están definidas en el punto 6.4.

El valor del Cv así calculado debe ser menor que el definido por el fabricante de la válvula para que la selección sea correcta. En el Anexo 3 se presentan estos coeficientes para distintos diámetros de válvulas, los cuales son en todos los casos superiores a los calculados; por esta razón puede ser utilizada cualquier válvula de bola con diámetro mayor a 1/8".

Además de estas dos válvulas de control, es necesaria la colocación de una válvula adicional en la línea de alimentación al sistema de filtración, cuya finalidad es estrangular el flujo y provocar un aumento de las pérdidas, estabilizando el flujo al valor requerido en la entrada de la bomba de alta presión. Para esta válvula no se requiere algún cálculo específico, ya que cualquiera con un diámetro de 3/4" satisface ampliamente los requerimientos exigidos por el sistema.

6.2.1.2.- Válvula de reducción.

El abatimiento de la alta presión se realiza mediante un orificio de estrangulación con creciente de velocidad, ubicado en la línea de rechazo, permitiendo la selección de válvulas de control mas apropiadas.

La simplicidad en el funcionamiento (no posee partes móviles) y su aplicación para cada caso particular hace que no sean elaboradas en forma estándar, sino que bajo las características dimensionales requeridas se fabrican por pedido.

Una válvula de reducción por estrangulación, se diseña verificando que en ella no se presenten problemas de cavitación o evaporación instantánea. El cálculo de la caída de presión requerida y el coeficiente K¹ de estas válvulas se presenta a continuación:

$$K = [(1-\beta^2) + 2*(1-\beta^2)^2]/2*\beta^4 \quad (6.2)$$

* Para la válvula de reducción ubicada en la línea de rechazo, el valor de K para que ocurra la caída de presión requerida, es de 1999 (determinado en el punto 6.4). Resolviendo esta ecuación se obtiene que el valor de β es 0,19375. Por definición β es la relación entre el diámetro del agujero y el diámetro interno de la tubería; por lo tanto, conociendo este último (15,8 mm. para una tubería de DN 1/2"-Schedule 40) puede determinarse el diámetro del orificio de estrangulación:

$$d = 0,19375 * 15,8$$

$$d = 3,06 \text{ mm.}$$

A continuación se calculan la presión y velocidad del fluido en la válvula para analizar su posibilidad de evaporación o cavitación. La velocidad puede calcularse mediante la relación:

1 Esta ecuación es la combinación de las ecuaciones definidas para una reducción y una expansión brusca con un ángulo $\Theta=180^\circ$ en "Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías". CRANE®

$$v = 4 * Q / \pi * d^2 * 3,6 \quad (6.3)$$

donde el caudal Q está dado en litros por hora y el diámetro d en milímetros. Sustituyendo valores resulta:

$$\begin{aligned} v &= 4 * 274,1 / \pi * 3,06^2 * 3,6 \\ v &= 10,35 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

La presión en este punto se determina a través de la relación 6.4 obtenida a partir de la ecuación de Bernoulli:

$$P = [\rho * g * (H - h_f - v^2 / 2 * g)] / 10^5 \quad (6.4)$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} P &= 1021 * 9,81 * (645,25 - 10,35^2 / 2 * 9,81) / 10^5 \\ P &= 64,08 \text{ bars.} \end{aligned}$$

Debido a la presión y velocidad resultantes, no es de esperarse que ocurran problemas de cavitación o evaporación, ya que la presión del vapor de agua a 25° C es de 0,037 bars.

6.2.1.3.- Valvula de seguridad y disco de ruptura.

La función de la válvula de seguridad es detectar un aumento de presión y proveer un escape de esta. Las válvulas de seguridad directa, con carga a resorte sobre el disco, suelen tener configuración de cuerpo en ángulo. La graduación de estas válvulas se realiza mediante el ajuste del tornillo de compresión del resorte; su uso con actuadores está muy restringido. En las válvulas equilibradas existen tornillos de ajuste (tornillo piloto) para el equilibrio de las presiones que actúan sobre el pistón

existente en este tipo de válvulas. Deben ser elegidas cuidadosamente y no pueden ser sobrediseñadas, ya que estas tienden a vibrar peligrosamente por el equilibrio momentaneo que ocurre entre corriente arriba y corriente abajo, cuando se abren.

Además de la válvula de desahogo se empleará un disco de ruptura recomendado por las normas de seguridad.

Para la selección de la válvula, se calcula el tamaño del orificio de paso de fluido "A" (ver Anexo 3) en pulgadas cuadradas y con ello se remite directamente al catálogo de los fabricantes, seleccionándose la inmediata superior. Para ello se utiliza la formula:

$$A = Q^*(S/\Delta p)^{1/2}/27,2 \quad (6.5)$$

donde el caudal Q está dado en GPM, y el Δp en psi. Sustituyendo valores se obtiene:

$$\begin{aligned} A &= 7,045 * (1,021/912,58 * 1,25)^{1/2}/27,2 \\ A &= 0,0075 \text{ pulg.}^2; A = 5,00 \text{ mm.}^2 \end{aligned}$$

El Δp utilizado se determinó restando las pérdidas entre la bomba de alta presión y este punto de la presión máxima de operación.

También para el disco de ruptura, se emplea el mismo procedimiento, por lo cual su área será A .

6.2.1.4.- Válvulas de paso y cierre.

La selección de las tuberías del flujo de fluido se realiza mediante válvulas solenoides de corte de flujo, ubicadas en diversos puntos (ver figura 6.1). A pesar de que las válvulas recomendadas para esta función son válvulas de bola o macho de múltiples vias y que la cantidad de válvulas requeridas sea del doble, se seleccionaron valvulas

solenoides de corte (en el momento del desarrollo de este trabajo no existían válvulas solenoides de múltiples vias con las capacidades requeridas) debido a sus dimensiones, peso, sencillez de funcionamiento, bajo mantenimiento, fácil operación, tiempo de respuesta y confiabilidad.

La determinación del tamaño de estas se realiza mediante una consideración de las características del tipo de fluido a manejar, de la presión y la temperatura de operación, del caudal y de la pérdida admisible debido a la valvula. El Cv resultante utilizando las condiciones de operación es:

$$\begin{aligned} \text{Cv} &= 7,045 * (1,021 / 0,978)^{1/2} \\ \text{Cv} &= 7,20 \end{aligned}$$

Con estas condiciones se seleccionaron las valvulas de solenoide que se presentan en el Anexo 3.

6.2.1.5.- Válvulas de retención.

Las válvulas de retención, también conocidas como válvulas check, son exclusivamente de acción automática y su función es evitar el retorno por la inversión de la dirección del flujo.

La retención del fluido se realiza mediante una válvula check horizontal cargada a resorte ubicada antes de la bomba de alta presión y después de los filtros de cartucho (ver figura 6.1). Su función es evitar un contra-flujo desde la bomba de alta presión hacia los filtros de cartucho, que puede ser producido ya sea por el accionamiento de la válvula de reflujo o por el efecto pulsante de la bomba de alta presión.

Para determinar el tamaño de estas válvulas se realizan los mismos cálculos que para las válvulas anteriores, obteniendo el coeficiente Cv.

$$\text{Cv} = 7,045 * (1,021 / 100)^{1/2}$$

$$Cv = 0,712$$

Además, debe considerarse la velocidad para conseguir su apertura máxima, evitando problemas de vibración y desgaste producidos por su inestabilidad de operación. Para ello se puede emplear la ecuación:

$$\beta = (v/50*V^{1/2})^{1/2} \quad (6.6)$$

donde v es la velocidad en metros por segundo y V el volumen específico del fluido.

$$\beta = (1,44/50*0,001^{1/2})^{1/2}$$

$$\beta = 0,9543$$

Con el Cv calculado se observa que cualquier válvula de diámetro superior a $1/8"$ puede ser utilizada. Como el diámetro de la tubería es de $3/4"$, se selecciona una válvula con un diámetro nominal igual. Puede determinarse el diámetro máximo que puede tener el obturador para que opere en posición totalmente abierta y de forma estable.

$$d = 0,9544 * 21,0$$

$$d = 20,04 \text{ mm.}$$

Con estas condiciones se seleccionó la válvula de retención que se muestra en el Anexo 3.

6.2.2.- Tuberías.**6.2.2.1.- Tuberías de alta presión**

El diámetro de tubería está determinado por las características que se desean obtener del fluido: velocidades cercanas a 2,5 m/s y alto número de Reynolds. Para el espesor de pared se toma en consideración el desgaste por corrosión ademas de la resistencia. Los fabricantes proporcionan las presiones de resistencia segun las normas ASTM, AISI y UNS considerando los factores de seguridad, de esta forma se obtiene que la tubería de acero inoxidable Schedule 10 es apropiada para la presión de operación, pero debido al tipo de fluido a manejar y el ambiente corrosivo se seleccionó Schedule 40, considerando que el aumento de peso de la unidad no es muy significativo.

Las características físicas de la tubería seleccionada para el sistema de alta presión son las siguientes:

- * Material: acero inoxidable AISI S51234
- * Norma: Schedule 40.
- * Diámetro nominal: 12,7 mm. (1/2")
- * Espesor de pared: 2,77 mm.
- * Diámetro interior: 15,80 mm.
- * Presión máxima: 284 atm.
- * Forma de unión: Roscado.

6.2.2.2.- Tuberías de baja presion.

El material seleccionado es el PVC. Ahora es necesaria la determinación del diámetro de dicha tubería, la cual se realiza tomando en cuenta el caudal del fluido, su velocidad y las pérdidas que este origina. Debido a que las pérdidas de energía por fricción no son considerables por la poca longitud de las mismas y tomando en cuenta que el aumento de presión debido a la bomba de alta presión es de casi dos órdenes de magnitud superior a dichas pérdidas, la velocidad del fluido fué el factor principal a considerar en dicha selección. Una velocidad aproximada de 1,5 m/s es la apropiada para sistemas normales de distribución de agua, además no se requiere operar a altas velocidades debido a que la corrosión electroquímica no afecta al material. Se seleccionan entonces tuberías cuyo diámetro nominal en las zonas de alimentación y rechazo es de 3/4 de pulgada. Para la linea de Producto y las restantes, se emplearán tubos de 1/8 de pulgada de diámetro nominal.

En resumen:

a.- Tubería de alimentación y rechazo.

- * Material: PVC
- * Norma: Schedule 40
- * Diametro nominal: 3/4"
- * Espesor: 2,87 mm.
- * Diámetro interior: 21,0 mm.
- * Presión máxima: 8,5 atm.
- * Tipo de unión: Roscado.

b.-Tuberia de producto y otras.

- * Material: PVC
- * Norma: Schedule 40
- * Diametro nominal: 1/8"
- * Espesor: 1,73 mm.
- * Diametro interior: 6,8 mm.
- * Presion máxima: 8,5 atm.
- * Tipo de unión: Roscado.

6.2.3.- Bombas.

6.2.3.1.- Bomba de alta presión.

El sistema de bombeo de alta presión está formado por una bomba de desplazamiento positivo con su respectivo motor eléctrico. Puede decirse que este equipo junto con la membrana de ósmosis son el centro de la unidad desaladora. Su selección se realizó considerando los requisitos de la membrana mencionados en Capítulos anteriores, los cuales rigen las capacidades de flujo de todos los equipos. Con un requerimiento de 30 lts/min aproximado, y una presión promedio de 875 psi, el tipo de bomba más apropiado a emplearse es la reciprocante o de desplazamiento positivo. El uso de este tipo de bombas es apropiado para flujos que requieren altas presiones y donde el caudal es bajo. El uso de bombas centrífugas para el mismo fin requeriría múltiples etapas y una fuerza propulsora considerablemente mayor (cercana a 70 HP) para operar a las mismas condiciones de operación; mientras que una bomba reciprocante solo requiere de 7,5 HP aproximadamente.

La velocidad de rotación del eje o cigüeñal de la bomba y la cilindrada de esta determinan el caudal de bombeo. Debido a que los mayores problemas mecánicos, en las plantas de Osmosis Inversa, son los de vibración causados por la bomba de desplazamiento positivo y el efecto pulsante del fluido, se recomienda operar estas bombas a bajas revoluciones. En el Anexo 3 se presentan las características técnicas de la bomba seleccionada. Considerando los motores eléctricos disponibles de bajas revoluciones (sin emplear engranajes reductores) y las recomendaciones de los fabricantes se selecciona una velocidad del eje comprendida entre 800-900 RPM. Por su parte, el efecto pulsante del fluido puede llegar a ser prácticamente despreciable por dos motivos:

- * El tipo de bomba empleado es de tres cilindros (triplex), en cuales la variación de presión por encima y por debajo de la media es de 6,1 y 16,9% respectivamente, dando una variación total de 23%, la cual es sumamente baja con respecto a los valores que se obtienen para las bombas de dos cilindros (160%).
- * A la salida de la bomba se utiliza un amortiguador de pulsaciones.

Debe recordarse que la selección del motor eléctrico depende de la bomba y viceversa, por lo cual existe una familia de combinaciones motor/bomba que satisfacen las condiciones de operación de la membrana seleccionada. Por ello, para la selección de la bomba y el motor se consideraron las siguientes variables: peso, dimensiones y que a su vez cumpliera con todas las otras condiciones de presión, protección contra la corrosión, energía requerida, materiales de construcción y mantenimiento mínimo requerido.

La determinación de la potencia requerida por el motor eléctrico se muestra en el punto 6.4.

Existen algunas reglas básicas para la instalación de las bombas de desplazamiento positivo, las cuales son aplicables al sistema de Osmosis Inversa:

- * Las bombas de desplazamiento positivo deben poseer una presión de alimentación suficiente para evitar la cavitación por la succión de la bomba.
- * El diseño de la succión en la bomba de alta presión debe ser impecable. No debe existir ningún codo u otro elemento desviador de flujo ubicado a menos de diez diámetros de tubería de distancia desde la entrada de la bomba.
- * La tubería de alimentación debe tener como mínimo un diámetro igual a la entrada de la bomba de desplazamiento positivo.
- * Si se emplean sistemas amortiguadores, estos deben instalarse lo más próximo posible de la salida o entrada de la bomba, empleando conexiones en tee.

6.2.3.2.- Bomba de baja presión.

El sistema de bombeo de baja presión requerido para la circulación de los fluidos a través de los filtros, alimentación de la bomba de alta presión y llenado de agua limpia de la unidad al desconectarla, consiste en una bomba centrífuga con impelente fabricado de polímeros autolubricados (el nylon es el usado con mayor frecuencia). Este tipo de impelente permite el funcionamiento de la bomba en vacío con la ventaja de no requerir purga y llenado del sistema, en el momento del arranque.

El cálculo de la potencia requerida para la bomba de circulación, se expone en el punto 6.4.

6.3.- Isometría de la tubería.

Una forma de entender con facilidad el recorrido tridimensional de los fluidos en un sistema hidráulico son los diagramas o planos isométricos de las tuberías, los cuales igualmente sirven de ayuda para el diseño espacial de estos sistemas.

La figura 6.2 representa el diagrama isométrico específico de la unidad de Osmosis Inversa. Cabe mencionar que en este no se incluyen los equipos (líneas punteadas), para dar una idea más clara del flujo. El diagrama global que comprende equipos, tuberías, sistema de rigidización, etc. se presenta en los planos de la unidad, incluidos en la parte final de este trabajo.

6.4.- Cálculo de las pérdidas de carga del sistema y de las potencias requeridas para el bombeo.

Antes de realizar los cálculos necesarios para el estudio de las características del flujo de fluidos y de la conversión de energía, debe aclararse las condiciones de operación del equipo; por ello se presenta una lista de las consideraciones realizadas:

- 1.- El fluido llenará completamente el sistema de tuberías y no existirán gases atrapados.
- 2.- El término " α " (factor de corrección por carga de velocidad en la ecuación de Bernoulli) se considera igual a la unidad

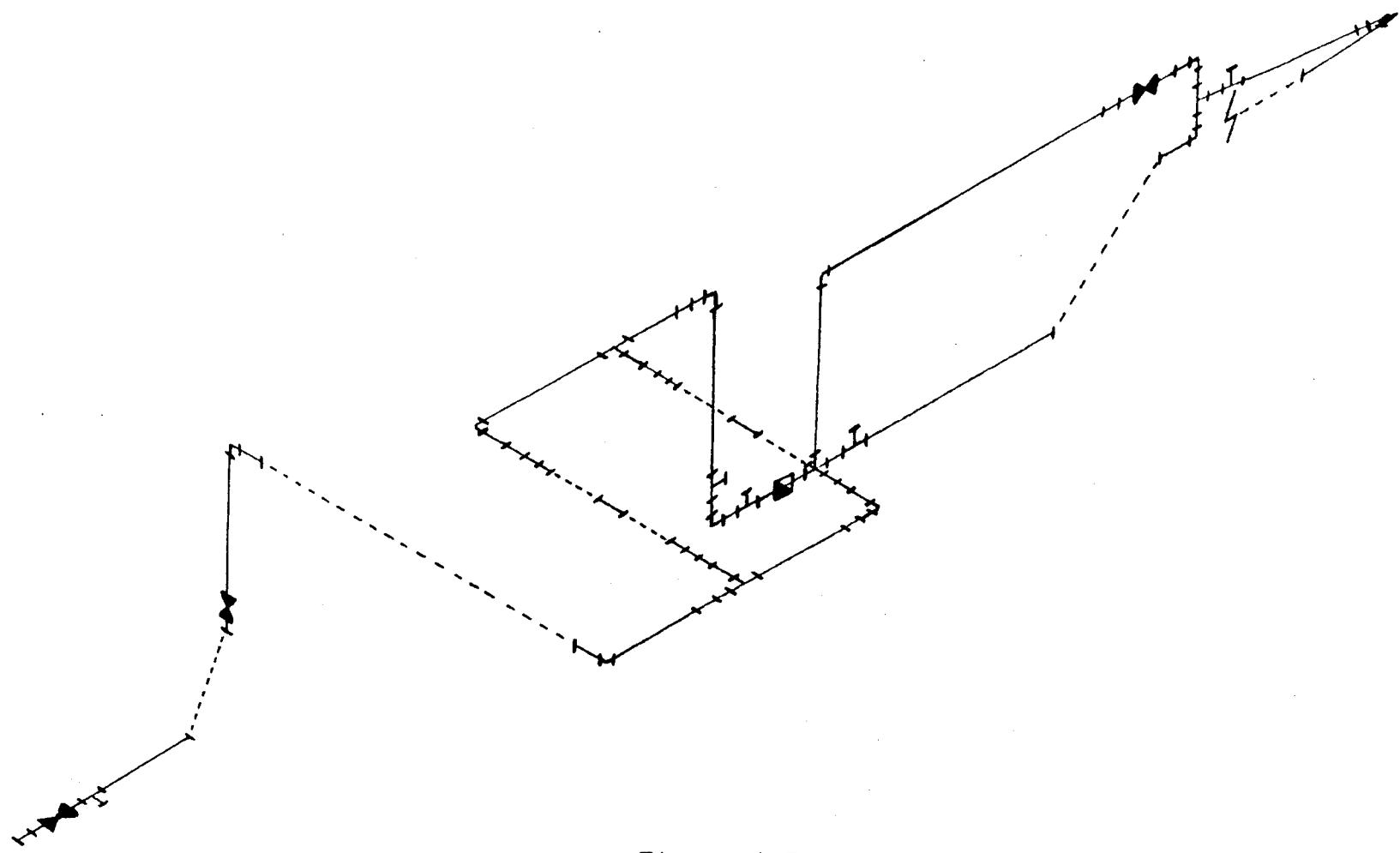


Figura 6.2.a

ISOMETRIA DE LA TUBERIA DE ALIMENTACION

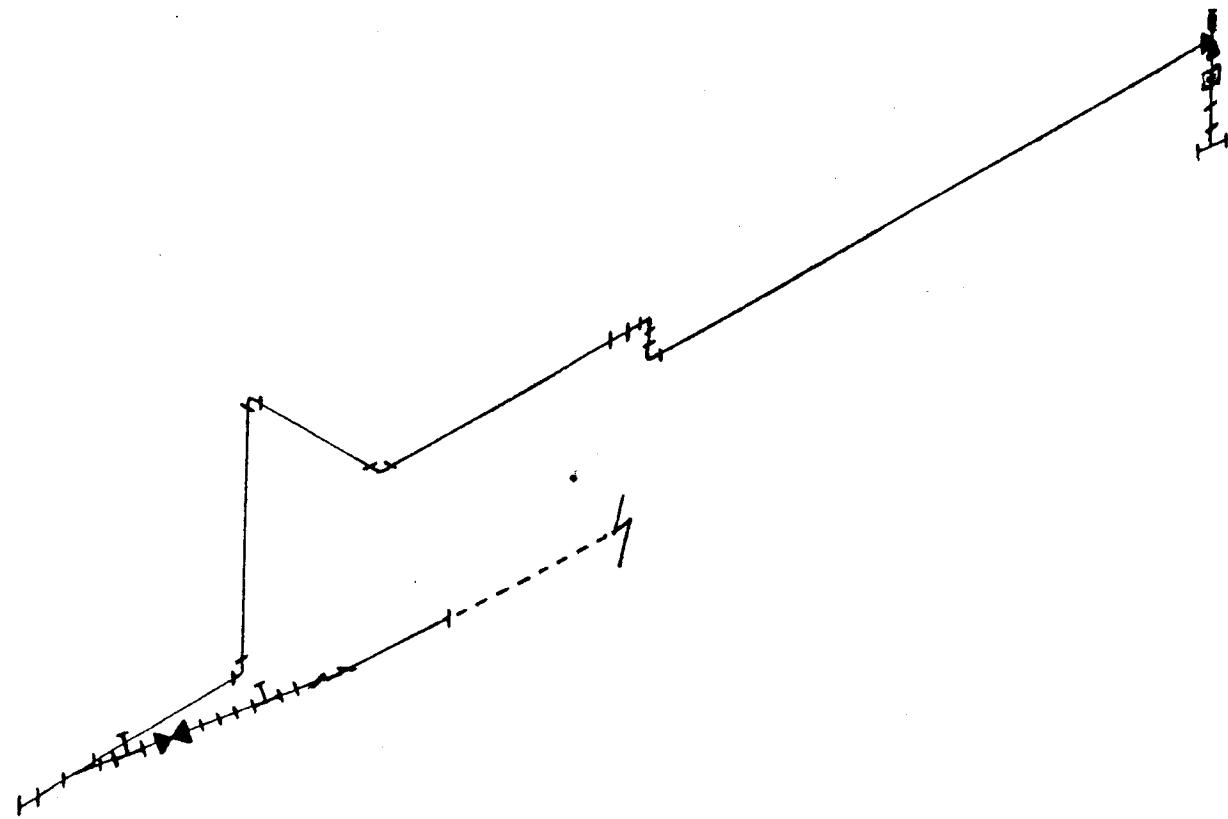


Figura 6.2.b

ISOMETRIA DE LA TUBERIA DE RECHAZO

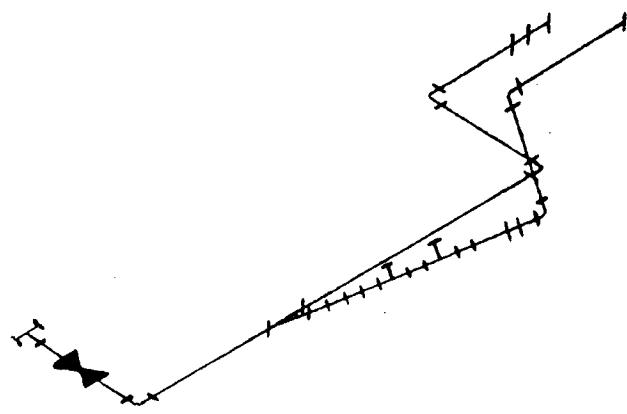


Figura 6.2.c

ISOMETRIA DE LA TUBERIA DE PRODUCTO

por las características del fluido que se maneja.

- 3.- Se seleccionarán las bombas, válvulas, tuberías, accesorios y otros equipos de tal manera que no exista evaporación o cavitación.
- 4.- El análisis del flujo de fluidos será exclusivamente unidimensional, considerándose que los efectos del flujo tridimensional son despreciables.
- 5.- El efecto de la capa límite y la distribución de velocidades se consideran irrelevantes para los cálculos.
- 6.- Se supone que el fluido es totalmente incompresible y que las variaciones de viscosidad, peso específico y densidad por presión y temperatura son despreciables.
- 7.- La velocidad del fluido deberá ser mucho menor a la velocidad sónica, en cualquier punto de la tubería.
- 8.- La conversión de energía se considera un proceso adiabático.
- 9.- La válvula de retención se selecciona para que el obturador esté en posición de apertura total, en las condiciones de operación.
- 10.- Las carga por variaciones de altura se consideran despreciables.

Debe conocerse claramente el funcionamiento individual y en conjunto, de los diversos componentes para el manejo de los fluidos, ademas de sus funciones. Para ello se realiza una descripción del funcionamiento global de la unidad desaladora la cual se presenta a continuación:

1.- La presión del fluido de alimentación a la membrana durante el ciclo de operación no se mantiene constante con la finalidad de mantener el caudal de producto y el porcentaje de conversión constantes. Esta variacion debe realizarse ya que las características de operación de la membrana varían con el ensuciamiento de la misma por su uso (ver capítulo 3). Para ello se emplean dos válvulas de bola accionadas por actuadores, las cuales están ubicadas en las líneas de rechazo y de reflujo de la bomba reciprocatante (ver puntos 6.1 y 6.2.1)

A medida que ocurre el ensuciamiento de la membrana, el flujo de producto disminuye, como consecuencia de una variación del área efectiva y de las condiciones en la capa límite. Si se desea mantener el flujo de producto, deberá entonces disminuirse el porcentaje de conversión, aumentar la presión de alimentación a la membrana o ambas. Debido a que variar el porcentaje de recuperación significaría variar el aprovechamiento de la membrana y por lo tanto mayor costo por litro del producto; se escogió variar la presión de alimentación como respuesta al ensuciamiento.

De esta forma realizando un análisis del diagrama del flujo de fluidos (ver figura 6.1), se puede observar que una mayor caída de presión occasionada por una disminución del paso del fluido por la valvula en la linea de rechazo, occasionará un aumento de la presión del sistema de la membrana; ya que la carga después de la válvula, será constante para el mismo caudal.

Además del aumento de la pérdida ocasionada por la válvula en la linea de rechazo, deberá también disminuirse el paso de fluido a través de la válvula en la linea de reflujo, debido a que el aumento de presión ocasiona una disminución del caudal por la membrana. El sistema de control para las características de presión y recuperación se presenta en el Capítulo siguiente.

2.- Para el transporte de los fluidos se emplean tuberías de PVC y de acero inoxidable. En estas, el fluido deberá poseer un alto número de Reynolds y una velocidad de 1,5 m/s en las de PVC y de 2,5 m/s en las de acero inoxidable para evitar la precipitación de las sales disueltas y en estas últimas los efectos de corrosión electroquímica. En el caso de las tuberías de producto, el flujo podrá poseer una velocidad menor a 1,5 m/s, debido a la baja concentración de sales disueltas.

3.- Las válvulas solenoide operarán como válvulas seleccionadoras de vias de flujo sin estrangulación.

4.- Desde el punto de vista hidráulico, los filtros ubicados en la zona de pretratamiento ocasionan grandes pérdidas de la energía del fluido, por lo que el dimensionamiento de la bomba centrífuga de circulación estará dado para las peores condiciones (filtros sucios), por la energía requerida para superar las pérdidas por succión y otros accesorios ubicados en esta linea y la mínima presión de alimentación de la bomba reciprocante. A pesar que el fabricante de la bomba reciprocante establece valores inferiores de alimentacion a la bomba (ver anexos), se estima que no deberá ser menor a cero (0) kg/cm², debido a que el flujo es pulsante.

5.- La válvula de seguridad y disco de ruptura no formarán parte de los cálculos de pérdidas para el ciclo de operación, ya que éstas solo operarán en caso de una falla y sobrepresión de un 125% de la presión de operación. La capacidad de estas y de las tuberías deberán ser tales que permitan la descarga total del máximo flujo.

6.- Existen dos válvulas de retención (check) ubicadas en la línea de entrada a la bomba reciprocante y en la linea de lavado del filtro autolavable. Estas tienen por función evitar el contraflujo de los fluidos que pueden ocurrir, para la válvula de retención a la entrada de la bomba reciprocante, durante el accionamiento de las valvulas de control y para la valvula de retención en la linea de lavado, durante el lavado y operación normal del sistema.

7.- Los demás componentes, como los sensores, codos, reducciones, uniones, tees, dosificador y tanque solo afectarán al fluido en reducciones de la energía de este, siendo considerados para el dimensionamiento final de las bombas y el cálculo de las pérdidas totales junto con los otros componentes.

El flujo de fluidos en la unidad desaladora se subdividió en 18 tramos o líneas de flujo (ver figura 6.1) para su estudio. En cada una de estas líneas de flujo se encuentran componentes enunciados en el Apéndice F según el orden de aparición de los mismos.

El cálculo de las pérdidas en la unidad desaladora estará dado por el estudio de las características de los fluidos para el caudal de operación y la determinación de las potencias de los equipos de bombeo, además de las capacidades de las válvulas de control.

A continuación se presentan los cálculos de las potencias requeridas en las bombas.

1.- Cálculo de la potencia requerida por la bomba centrífuga de circulación.

Condiciones de diseño:

- * Carga mínima de succión: 5 mts. de H₂O.
- * Carga por pérdidas: 23,75 mts. de H₂O.
- * Presión mínima en la alimentación de la bomba de alta presión: 0 bars.
- * Caudal de diseño: 1600 l/h.
- * Eficiencia de la bomba: 70 %.
- * Densidad del fluido: 1021 kg/m³.

La potencia requerida se calcula a través de la ecuación (6.7), presentada a continuación:

$$kW = Q(l/h) * h(m.H_2O) * \rho(kg/m^3) / 3669600 * Ef.(%) \quad (6.7)$$

sustituyendo:

$$kW = 1600 * 18,75 * 1021 / 3669600 * 70$$

$$kW = 0,1828 ; HP = 0,2451$$

2.- Determinación de el coeficiente " K " para los filtros autolavable y de cartucho.

Los fabricantes de filtros de cartucho y autolavable indican que la presión diferencial permisible para el caudal máximo de operación de estos, será de 10 psi (0,6871 bars.). Suponiendo que el coeficiente "K" es función lineal del factor de fricción, tenemos:

Condiciones de diseño:

Caudal máximo de operación: 1135,5 lts/h (5 gpm).

Presión diferencial máxima: 0,6871 bars. (10 psi)

Diámetro de entrada: 15,8 mm. (15,8 mm.)

Densidad del fluido: 1021 kg/m³.

Gravedad: 9,81 m/s².

Viscosidad absoluta: 0,000925 Pascal*seg.

La carga equivalente a la máxima caída de presión es:

$$h = P(\text{bars}) \cdot 10^5 / \rho(\text{kg/m}^3) \cdot g(\text{m/s}^2) \quad (6.8)$$

$$h = 0,6871 \cdot 10^5 / 1021 \cdot 9,81$$

$$h = 6,86 \text{ mts. H}_2\text{O}$$

La velocidad en la entrada del filtro viene dada por la ecuación

6.3:

$$v = 4 \cdot 1135,5 / \pi \cdot 15,8^2 \cdot 3,6$$

$$v = 1,61 \text{ m/s.}$$

El número de Reynolds en estas condiciones es de:

$$R = di(\text{mm.}) \cdot v(\text{m/s}) \cdot \rho(\text{kg/m}^3) / 1000 \cdot \mu(\text{Pascal*seg}) \quad (6.9)$$

$$R = 15,8 \cdot 1,61 \cdot 1021 / 1000 \cdot 0,000925$$

$$R = 28078$$

$f' = f(R)$; según el diagrama de Moody (para tubería lisa)

$$f' = 0,02325$$

El coeficiente K' está dado por:

$$K' = 2 * g(m/s^2) * h(m.H2O) / v^2(m/s) \quad (6.10)$$

$$K' = 2 * 9,81 * 6,86 / 1,61^2$$

$$K' = 51,9$$

El valor de K' es específico para estas condiciones de flujo, por lo tanto para universalizarlo a cualquier otra condición en función del factor de fricción se aplica la relación:

$$K = K'/f' * f \quad (6.11)$$

$$K = 51,9 / 0,02325 * f$$

$$K = 2232 * f$$

3.- Cálculo de la potencia requerida por la bomba reciprocatante:

Condiciones de diseño:

Eficiencia del motor: 86 %.

Eficiencia de la bomba reciprocatante 87 %.

Revoluciones del motor: 825 RPM.

Cilindrada de la bomba: 13,57 cm³/cilindro. (3 cilindros)

Cilindrada efectiva: 12,62 cm³/cilindro (3 cilindros)

Presión máxima requerida: 64,63 bars. (950 psi)

Densidad del fluido: 1021 Kgs/m³.

Gravedad: 9,81 m/s².

$$h = 64,63 * 10^5 / 1021 * 9,81$$

$$h = 645,27 \text{ mts. H2O}$$

El caudal de operación de la bomba reciproante viene dado por:

$$Q = 6 \cdot \text{cilindrada} \cdot \text{número de cilindros} \cdot \text{RPM} / 100 \quad (6.12)$$

$$Q = 6 \cdot 12,62 \cdot 3 \cdot 825 / 100$$

$$Q = 1874,1 \text{ lts/h.}$$

Utilizando la ecuación mencionada anteriormente para el cálculo de la potencia (ecuación 6.7):

$$\text{kW} = 1874,1 \cdot 645,27 \cdot 1021 / 3669600 \cdot 0,86 \cdot 0,87 \cdot 100$$

$$\text{kW} = 4,433 ; \text{HP} = 5,945$$

La carga máxima que puede suministrar la bomba reciproante con la selección de un motor de 7,5 HP (5,593 kW) será de:

$$h = 3669600 \cdot 0,86 \cdot 0,87 \cdot 100 \cdot 5,593 / 1874,1 \cdot 1021$$

$$h = 802,50 \text{ m.H}_2\text{O}$$

4.- Determinacion del coeficiente K para la membrana, en la linea de Rechazo.

Los fabricantes de membranas indican que la máxima presión diferencial permisible para el caudal máximo de operación no debe superar 20 psi. Suponiendo que el coeficiente K es función lineal del factor de fricción, este puede calcularse mediante las mismas ecuaciones utilizadas para los filtros.

Condiciones de diseño:

Caudal máximo de operación: 1600 lts/h.

Presión diferencial máxima: 1,3605 bars. (20 psi)

Diámetro de entrada: 15,8 mm. (1/2")

Densidad del fluido: 1021 kg/m³.

Gravedad: 9,81 m/s².

Viscosidad absoluta: 0,000925 Pascal*seg.

$$h = 1,3605 \cdot 10^5 / 1021 \cdot 9,81$$

$$h = 13,58 \text{ mts. H}_2\text{O}$$

$$v = 4 \cdot 1600 / \pi \cdot 15,8^2 \cdot 3,6$$

$$v = 2,27 \text{ m/s.}$$

$$R = 15,8 \cdot 2,27 \cdot 1021 / 1000 \cdot 0,000925$$

$$R = 39588$$

$f' = f(R)$; según el Diagrama de Moody para tubería lisa

$$f' = 0,0212$$

$$K' = 2 \cdot 9,81 \cdot 13,58 / 2,27^2$$

$$K' = 51,7$$

$$K = 51,7 / 0,0212 * f$$

$$K = 40 * f$$

5.- Calculo de el coeficiente " K " para la válvula de reducción.

La válvula de reducción deberá permitir una caida de presión similar a la originada por la válvula de control en la linea de rechazo, para permitir una selección de esta valvula que opere en casi todo su rango de apertura. Para ello se seleccionó una caída de presión para la válvula de reducción de la mitad de la pérdida de presión total requerida, mas la variación de presión por ensuciamiento de la membrana. Se asigna una carga de salida del rechazo de 5 mts. de agua, para que la unidad sea capáz de empujar a este flujo nuevamente hacia el medio ambiente.

De esta forma tenemos que la pérdida de carga que debe permitir esta válvula ubicada en la linea de rechazo, será:

$$h = h_{operación} - h_{descarga} - h_{fricción} - h_{control} - h_{ensuciamiento}$$

$$h = 645,27 - 7,35 - 1,395 - 317,2 - 8,84$$

$$h = 310,5 \text{ m. H}_2\text{O}$$

$$K = 2 * g * h / v^2 \quad (6.13)$$

$$K' = 2 * 9,81 * 310,5 / 2,47^2$$

$$K' = 998,5$$

$$K = 998,5 / 0,0212 * f$$

$$K = 47100 * f$$

6.- Caídas máximas y mínimas que deberán producir las valvulas de control.

Para la valvula ubicada sobre la linea de rechazo:

$$h_{\text{máxima}} = 76,87 \text{ m. H}_2\text{O}$$

$$h_{\text{mínima}} = 0,0167 \text{ m. H}_2\text{O}$$

Para la valvula ubicada sobre la linea de reflujo:

$$h_{\text{máxima}} = 620,87 \text{ mts. H}_2\text{O}$$

$$h_{\text{mínima}} = 0,0182 \text{ mts. H}_2\text{O}$$

En el Apéndice F se presentan las pérdidas obtenidas en todo el sistema operando en las condiciones normales, es decir con un flujo en la alimentación de 1600 l/h. Estas pérdidas fueron calculadas a partir de las ecuaciones que se mencionan en el mismo Apéndice; en ellas no se incluyen las pérdidas causadas por los componentes principales del sistema, es decir, válvulas de control y reducción, ya que estas deben ser consideradas particularmente debido a las magnitudes de las mismas.

Las figuras 6.3 y 6.4 presentan las curvas de operación de los sistemas de alimentación y alta presión con las respectivas líneas de operación de las bombas indicando el punto de operación del sistema global.

Sistema de alta presión

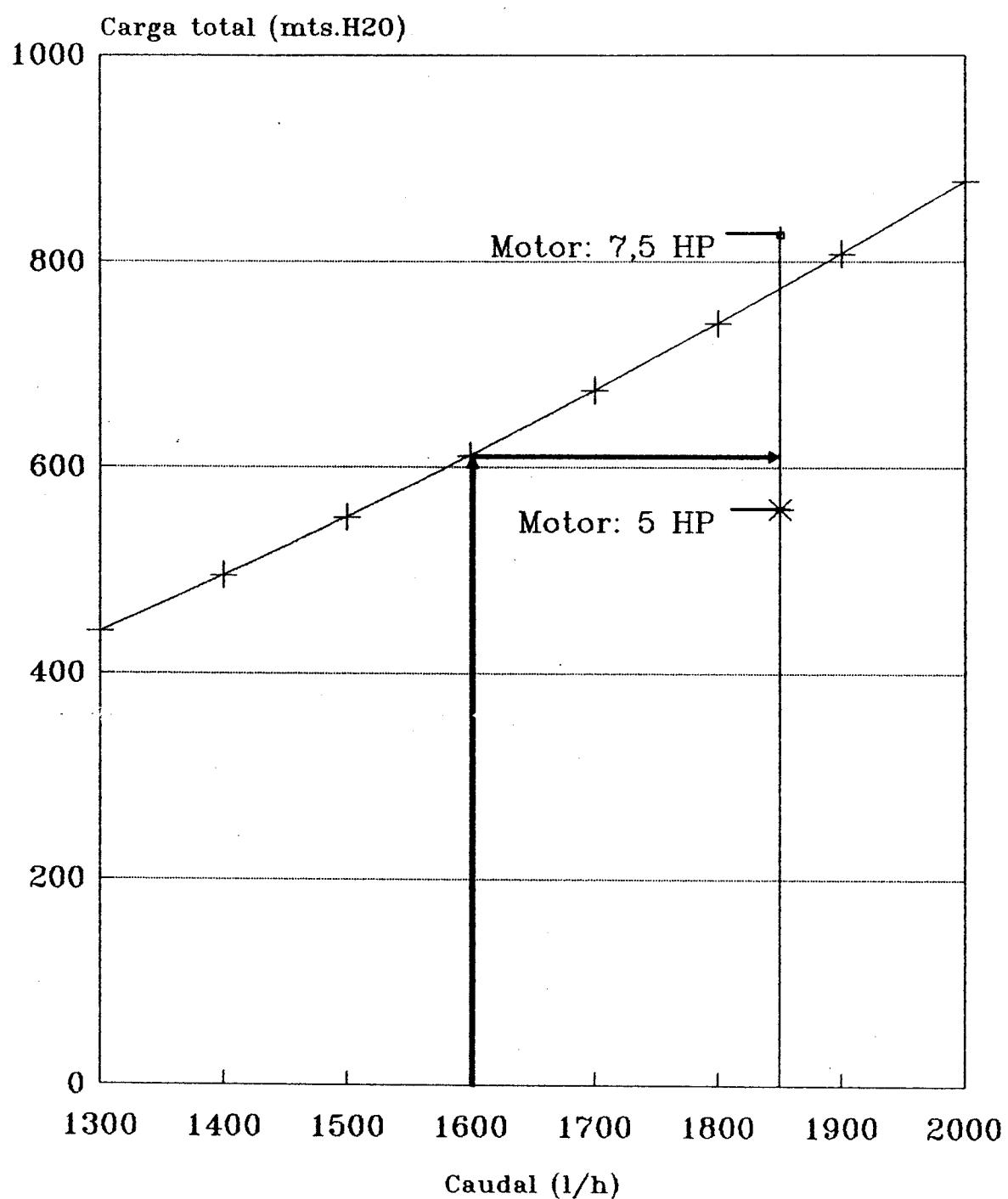


Figura 6.4

Curvas del sistema de circulacion

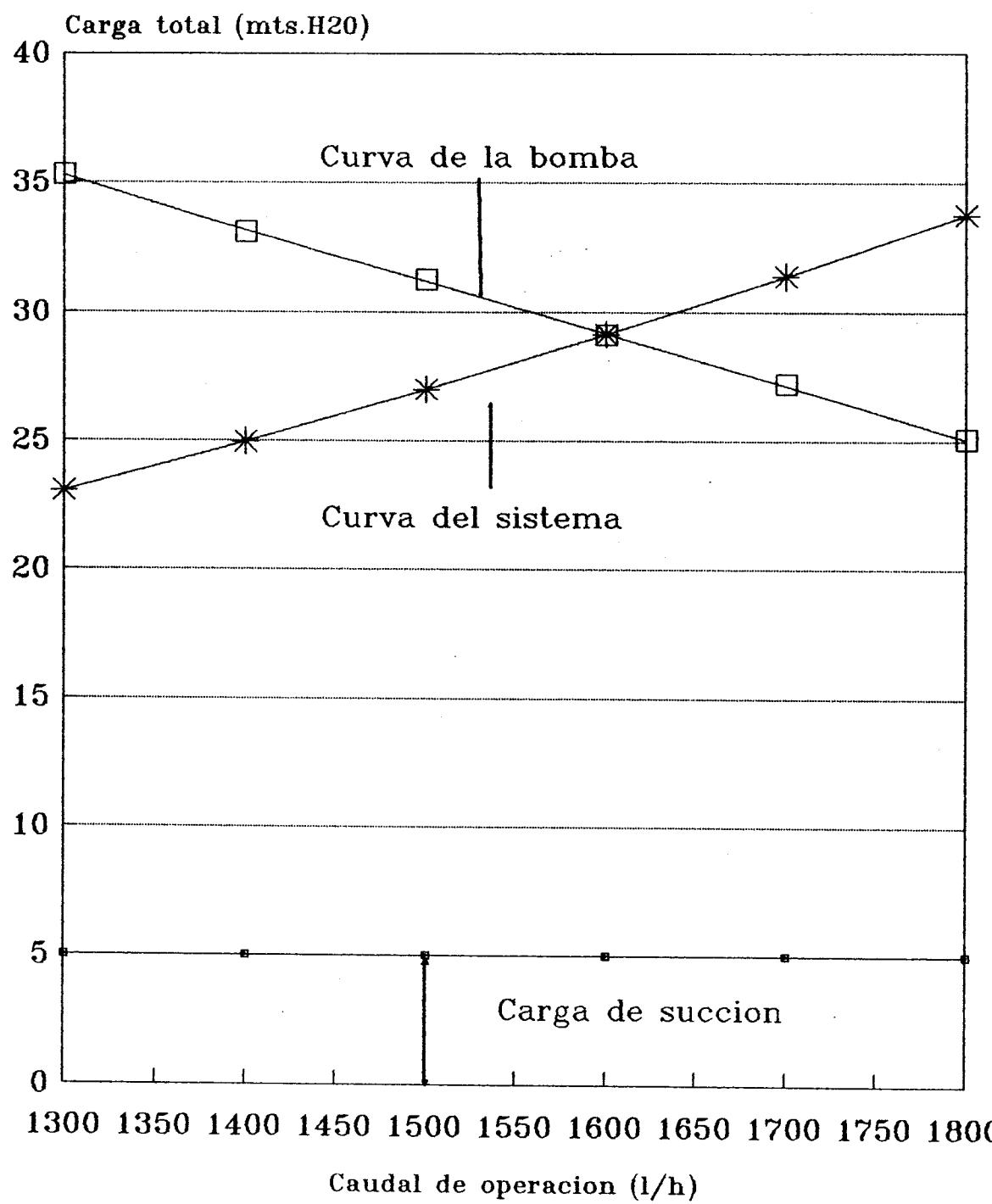


Figura 6.3

Capítulo 7: Recipiente contenedor de la membrana y sistema estructural de apoyo y rigidización.

7.1.- Diseño del modulo contenedor del elemento de membrana.

El recipiente contenedor de la membrana es un cilindro capaz de soportar la presión de operación del sistema, dentro del cual se encuentra el elemento de la membrana de Osmosis Inversa

Este contenedor deberá permitir el acceso al elemento para su extracción e instalación; además de soportar las altas presiones de operacion.

Sus dimensiones dependerán del esfuerzo al cual será sometido, y además deben proporcionar adecuadas superficies de contacto para el cierre hermético de los sellos U y O-rings requeridos para que no exista alguna fuga.

En el Capítulo 5 se presentan las razones básicas para la selección del acero inoxidable AISI/UNS S31254 como material de fabricación del mismo. Ademas, es preferible que tanto las tuberías como este recipiente estén fabricados del mismo material para evitar la posible formación de una pila galvánica en las conexiones de la tubería.

El diámetro interno es definido por las características físicas de la membrana, ya que debe sellar y separar la solución de alimentación de la solución de rechazo durante su presurización y funcionamiento normal, para lo cual las membranas están provistas de un sello en U. El diámetro externo de la membrana seleccionada es de aproximadamente 99,1 mm. (3,9"); la tolerancia permitida y recomendada por el

fabricante es de 1,27 mm. (0,05"). Por lo tanto, el diámetro interno de este cilindro o recipiente contenedor será de 101,6 mm. (4"). Para la determinación del espesor , se utiliza el mismo procedimiento utilizado para las tuberías de alta presión; para ello deben tomarse en cuenta dos factores principalmente: la presión de operación, mas un espesor adicional de seguridad y uso, debido al desgaste que puede ocurrir en este elemento por efecto del fenómeno corrosivo. Empleando la ecuación:

$$t = (P(\text{kg/cm}^2) * D(\text{mm}) / 2 * S_a(\text{Kg/cm}^2)) * 1,25 \quad (7.1)$$

$$D = d_i + 2*t \quad (7.2)$$

tanto el diámetro interno como el espesor vienen dados en milímetros. Las normas ANSI B31.1 y 31.3 para el cálculo de esfuerzos en tuberías de alta presión, establecen que el esfuerzo permisible sera el menor valor obtenido entre 1/3 del esfuerzo máximo de tracción y 2/3 del esfuerzo de fluencia.

Sustituyendo los valores en la ecuación presentada y despejando el espesor de pared, se obtiene:

$$t = 101,6 / 2 * (2040 / 1,25 * 66,8 - 1)$$

$$t = 2,13 \text{ mm.}$$

para ello se tomó la presión de operación igual a 66,8 kg/cm², es decir, 64,6 atm. (presión máxima admitida en el sistema). Como ya se mencionó, las otras dimensiones: como el diámetro interno y la longitud mínima, dependen de la membrana seleccionada.

El sistema de acceso, a ambos extremos del cilindro contenedor, esta formado por una tapa cilíndrica con perforaciones roscadas; un anillo "partido", cuya función es mantener a la tapa en su posición; sellos O-ring, encargados del cierre hermético y un conector que actúa a su vez de

extensión, que permite el alejamiento de la membrana para que el flujo se distribuya uniformemente una vez que deja la tubería de alimentación

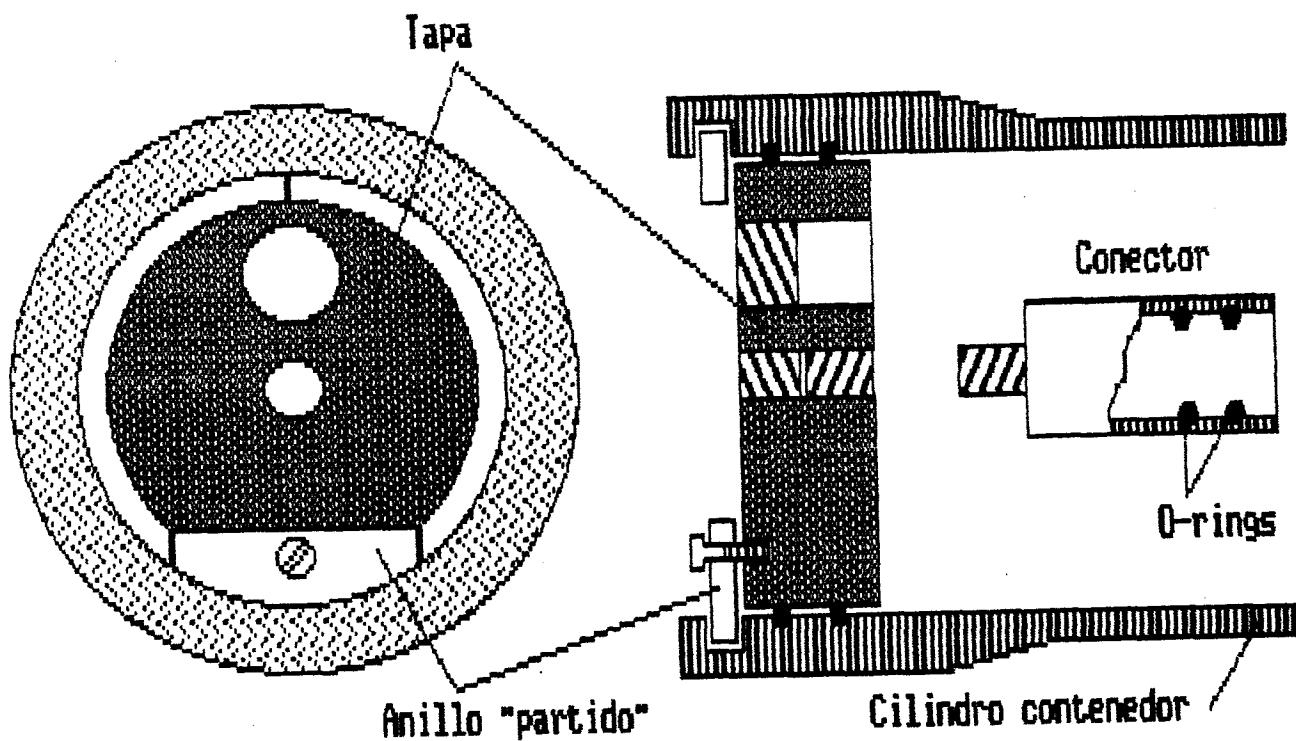


Figura 7.1

Detalle del sistema de cierre del cilindro contenedor de la membrana

(ver figura 7.1). Los esfuerzos de corte a los cuales será sometido el anillo, determinarán el espesor del mismo, calculado mediante la ecuación:

$$t = P(\text{kg/cm}^2) * d(\text{mm}) / 4 * \tau(\text{kg/cm}^2) \quad (7.3)$$

donde τ es el esfuerzo cortante admisible del material. Empleando el mismo acero inoxidable que el usado para la elaboración del cilindro y sustituyendo los valores, tenemos:

$$\begin{aligned} t &= (66,8 * 101,6 / 4 * 1224) * 1,25 \\ t &= 1,73 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Las tapas cilíndricas podrán ser elaboradas en el mismo acero inoxidable empleado en la elaboración del cilindro o polímeros de alta resistencia; como su espesor es muy superior al espesor mínimo requerido para soportar la presión de operación, debido a que requiere ser roscado por ambos lados de la tapa. Según las normas ISO para roscas, la longitud mínima de roscado para tuberías de alta presión deberá ser de 1/2 pulgada, por lo que se tomó un espesor para las tapas de 30 mm. La conexión-extensión deberá poseer una longitud mínima de 25,4 mm. (ya que la membrana posee una extensión de esta longitud para la salida del producto), mas una longitud adicional de otros 25,4 mm. para que exista una correcta distribución del flujo de alimentación, sobre toda el área de entrada de la membrana, es decir, un total de dos pulgadas o 50,8 milímetros.

Con estos espesores y las especificaciones dimensionales indicadas por los fabricantes del elemento, queda definido el módulo contenedor presentado posteriormente en los planos dimensionales .

7.2.- Estructura de soporte.

La finalidad de la estructura de soporte será proporcionarle rigidez a la unidad desaladora, además de sostener los diversos componentes que la conforman.

Esta estructura está formada por tubos mecánicos de sección cuadrada, formando dos estructuras soldadas, de forma cúbica, las cuales se unirán entre si, empleando ganchos de presión (ver figura 7.2). Además de los tubos mecánicos, se emplean perfiles metálicos en C como bases para el motor y bomba reciproante, soporte del tanque de producto, tuberías y otros componentes.

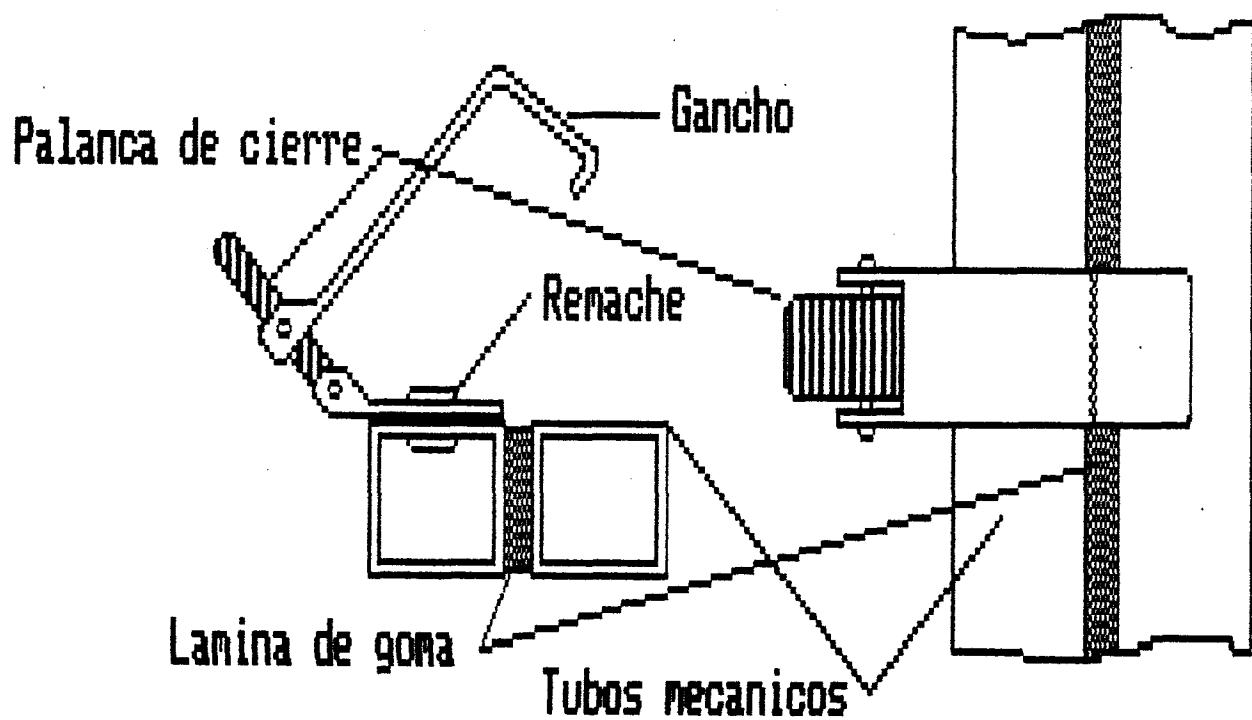


Figura 7.2

Gancho de unión de las estructuras de soporte

Debido a que los componentes de la estructura están elaborados en acero al carbono, se requiere de una protección a la corrosión electroquímica, tal como se indicó en el Capítulo 5.

El peso total de la Unidad cuando está llena de agua es de aproximadamente 300 kg., de los cuales 55 kg. corresponden al grupo motor-bomba mientras que otros 90 kg. al tanque de producto. Cada una de estas cargas está apoyada sobre una de las estructuras cúbicas y representan las cargas más significativas del conjunto, en base a las cuales se dimensionarán los perfiles y tubos del sistema, ya que las cargas restantes estarán distribuidas a lo largo de los otros elementos de las estructuras. Los elementos sometidos a las mayores cargas serán entonces:

a.- Los tubos mecánicos sometidos a los mayores esfuerzos combinados son aquellos que deben soportar el peso del tanque de producto cuando éste se encuentra lleno; por lo tanto, sobre ellos debe realizarse un estudio de cargas y esfuerzos , el cual se presenta a continuación:

La posición y magnitud de las cargas máximas que estas estructuras deben soportar se presentan en la figura 7.3.a, mientras que la figura 7.3.b es un corte transversal de los tubos utilizados. El tanque está sujeto a la estructura a través de dos abrazaderas metálicas fijas a dos vigas en C, que atraviesan a una de las caras de la estructura cúbica. Estas descansan a su vez sobre los tubos mecánicos de sección cuadrada;

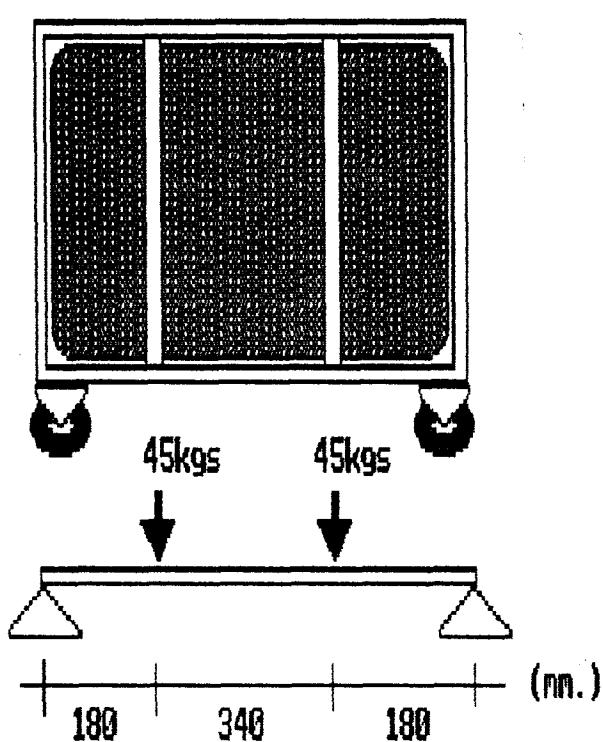


Figura 7.3.a

Distribución de cargas

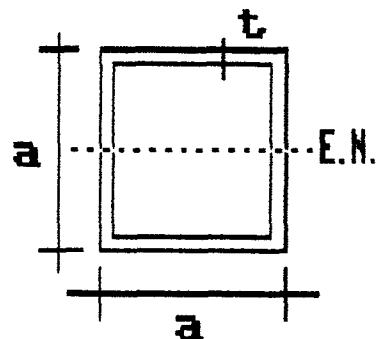


Figura 7.3.b
Tubo mecánico de sección cuadrada

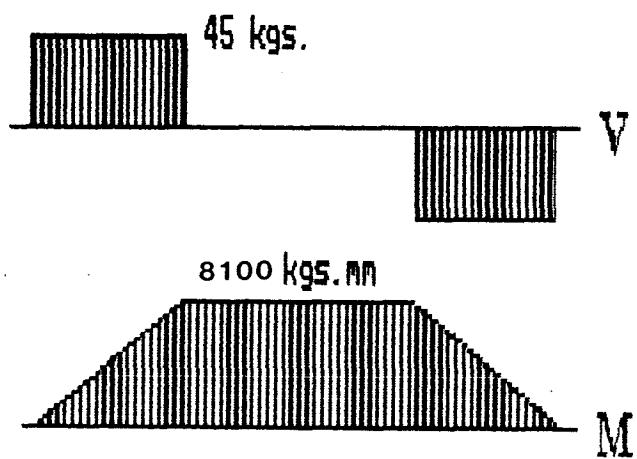


Figura 7.3.c

Diagramas de corte y momentos

por lo tanto, son estos últimos los responsables del soporte del tanque.

Tomando como valor de "a" una pulgada (25,4 mm.), el espesor de pared mínimo requerido, sabiendo que el esfuerzo máximo admisible del acero al carbono es de 1680 kg/cm², puede determinarse mediante las ecuaciones siguientes:

$$\sigma(\text{kgs}/\text{cm}^2) = M(\text{kgs} \cdot \text{mm}) * 100 / (I_x(\text{mm}^4) / c(\text{mm})) \quad (7.4)$$

$$I_x(\text{mm}^4) = (a^4 - (a - 2*t)^4) / 12 \quad (7.5)$$

donde "c" es la distancia del eje neutro de la sección hasta la fibra más alejada, e Ix el momento de inercia de la sección. Sustituyendo y despejando se obtiene:

$$16,8 = 8100 / ((25,44 - (25,4 - 2*t)^4) / 6 * 25,4)$$

$$t = 0,6 \text{ mm}$$

El momento máximo se obtuvo a través del diagrama de momentos del elemento, presentado en la figura 7.3.c.

b.- Para el caso de las vigas de perfil en C, el esfuerzo mayor ocurre cuando son utilizadas como soporte del motor y bomba de alta presión. En la figura 7.4.a se presenta la distribución de cargas a las que se someten estas vigas y están tomadas de acuerdo a las consideraciones siguientes:

* La carga total producida por el motor debe ser soportada por cada una de las vigas, ya que por efecto de la torsión que genera el mismo puede llegar a cargarlas no uniformemente, siendo el máximo de esta carga el peso total de dicho motor, es decir: 35 kg.

* La bomba es soportada por dos patines perpendiculares a los perfiles, los cuales transmiten cada uno la mitad de la carga total de la bomba (10 kg). En este caso también cada uno de los perfiles debe poder soportar la carga total de la bomba, pero debe notarse que dicha carga no está aplicada a un solo punto sino en dos, los cuales corresponden a cada uno de los patines.

Se tomaron los valores de "a" igual a 25,4 mm y "t" igual a 2 mm. (figura 7.4.b) y con estos valores se determinó la distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada y el momento de inercia de esta sección:

$$x = 18,05 \text{ mm}$$

$$I_x = 6326,4 \text{ mm}^4$$

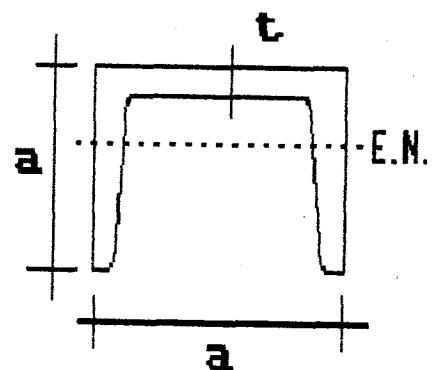
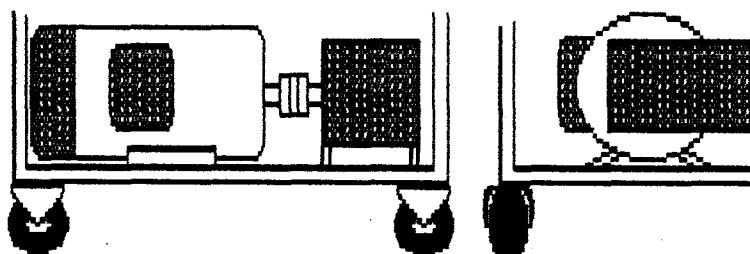


Figura 7.4.b

Viga de sección en C

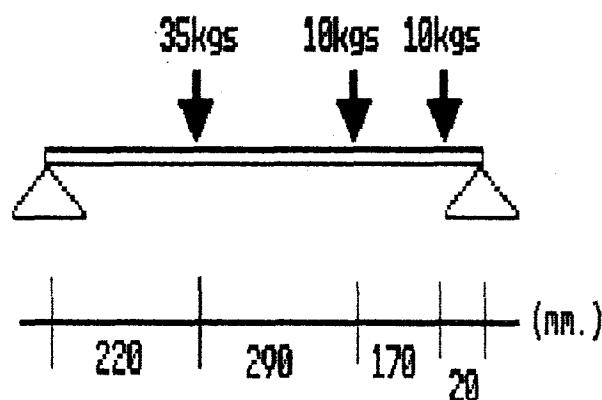


Figura 7.4.a

Distribución de cargas

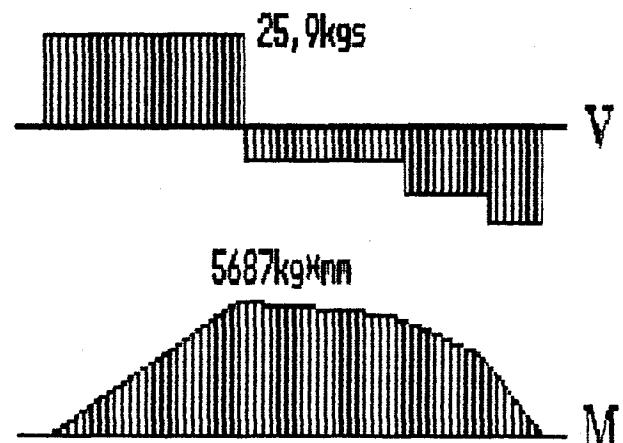


Figura 7.4.c

Diagramas de corte y momentos

Verificando que el esfuerzo producido (conociendo el momento máximo de la figura 7.4.c) es inferior al esfuerzo permisible tenemos:

$$\sigma = 5544/(6326,4/18,05)$$

$$\sigma = 15,8 \text{ kgs/mm}^2$$

$$\sigma < \sigma(\text{admisible})$$

De esta forma se seleccionaron los tubos mecánicos con sección cuadrada de 25,4 x 25,4 milímetros y espesor de un (1) milímetro, y el perfil en C de 25,4 x 25,4 mm y espesor de dos (2) milímetros.

El anclaje del motor y la bomba reciprocatante se realiza mediante un sistema de sujeción de tornillo y tuerca, empleando una lámina de goma entre la base de estos y el perfil en C (ver figura 7.5). Ambos componenentes, motor y bomba, traen sus propios "patines" para la instalación

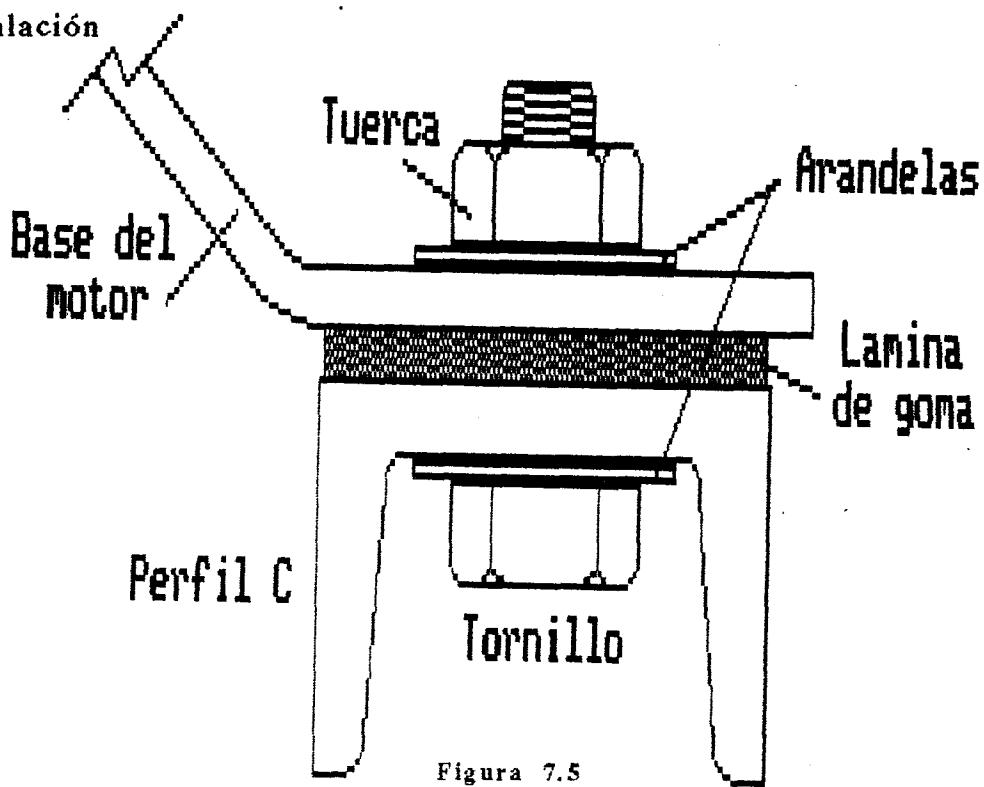


Figura 7.5

Sistema de anclaje para motor y bomba.

Debe indicarse nuevamente que para el cálculo de los perfiles en C, se supone que el peso del motor y la bomba descansan sobre un solo perfil, esto se debe a que además del peso de los componentes, deben considerarse el torque de arranque, el torque por carga de trabajo y los efectos de la vibración, además de los esfuerzos generados durante el transporte del equipo en su traslado.

Capítulo 8: Sistema de control, monitoreo y alimentación eléctrica.

8.1.- Selección de los actuadores.

Los distintos factores que deben ser considerados para la selección de los actuadores son:

- * Fuente de energía disponible.
- * Protección contra fallas.
- * Capacidad.

La energía disponible en el lugar donde operará la válvula que ha de ser accionada por el actuador, determinará la selección del actuador a emplear. Los actuadores típicos pueden emplear aire comprimido, agua a presión, líquido hidráulico, electricidad o la propia presión del proceso. También debe considerarse la confiabilidad y el mantenimiento del suministro de energía y su requerimiento en caso de emergencia.

En casos donde existe una falla del suministro de potencia, tal vez se requiera una protección contra fallas, esto suele ser un sistema de almacenamiento de energía para accionar el actuador, el cual puede ser un tanque de aire comprimido, acumuladores hidráulicos o resortes comprimidos. Los actuadores de resorte y diafragma son los únicos que poseen de manera inherente, sistema de protección contra fallas; los demás actuadores requerirán accesorios adicionales para tal fin.

Por último, el actuador deberá poseer suficiente fuerza o torsión para superar las mayores exigencias del sistema. En caso de que se requieran torsiones elevadas se recomienda utilizar actuadores hidráulicos o electro-hidráulicos; mientras que para válvulas que requieran poca

torsión se recomienda el uso de actuadores de tipo resorte y diafragma, de pistón neumático o eléctricos. También deben considerarse las variaciones de torsión de la válvula dependiendo de las propiedades del fluido.

Para el caso específico de la unidad desaladora, las fuentes de energía disponibles sin incluir equipos adicionales son:

- * Energía eléctrica.
- * Presión del proceso.

Se seleccionó el actuador eléctrico debido a la simplicidad de su instalación, menores dimensiones y las facilidades de su control remoto mediante un controlador, además de no requerir equipos adicionales. La fácil instalación de sensores eléctricos refuerza esta elección ya que la señal de tipo eléctrico, obtenida por estos sensores, podrá ser fácilmente procesada por el controlador que ordena al actuador. Los actuadores que utilizan la presión del proceso tienen el inconveniente que pueden desestabilizar el comportamiento normal cuando absorben del sistema la energía que requieren, por lo tanto, no es conveniente utilizarlos en aquellos casos en los cuales la energía que requieren es la fuente principal del sistema controlado, como es justamente el caso de la planta desaladora por Osmosis Inversa.

Los actuadores eléctricos consisten principalmente en pequeños motores con una caja reductora o de engranajes. Su mayor ventaja es su accionamiento en lugares remotos donde no se disponen de otra fuentes de energía. Son apropiados para pequeñas aplicaciones y con bajas exigencias. No se recomiendan en aplicaciones de acción continua, en las cuales se requieren cambios frecuentes en la posición de las válvulas de control, debido al esfuerzo al que se sometería el motor eléctrico. Las desventajas que presentan son: la falta de un sistema de control en caso de fallas, su capacidad limitada para estrangulación (no pueden ser

utilizados para los casos en que se requieran altos torques) y su dependencia de un controlador para el control normal.

En la unidad desaladora, en caso de una falla del suministro de potencia no se requiere ninguna acción por parte del actuador, ya que el proceso se detendrá sin causar peligro para los equipos; esto indica que no se requieren almacenadores de potencia.

La capacidad del actuador vendrá dada directamente por el fabricante de las válvulas el cual deberá indicar la torsión máxima requerida por dicha válvula para ser accionada. Las válvulas a ser controladas incluidas en este sistema específico son:

- * Válvula de control ubicada en la línea de rechazo:
 - Máxima presión diferencial: 32,15 bars. (466,3 psi)
 - Diámetro nominal: 19,05 mm. (3/4")
- * Válvula de reflujo:
 - Máxima presión diferencial: 65,40 bars. (948, 5 psi)
 - Diámetro nominal: 6,35 mm. (1/4")

Para estas válvulas se requiere de un torque de 55 lb.*pulg y 20 lb*pulg. respectivamente (las curvas de torque vs. presión diferencial están incluidas en el Anexo 3 junto con las demás características de las válvulas). Los actuadores eléctricos más pequeños encontrados en el mercado pueden vencer un torque máximo de 360 lb*pulg. (ver Anexo 3); puede observarse claramente que el uso de otro tipo de actuadores sería completamente inadecuado, ya que, como se mencionó anteriormente los de tipo eléctrico operan con menor torque y en las condiciones de trabajo del sistema, los actuadores seleccionados están ya ampliamente sobrediseñados. Conjuntamente se seleccionó el actuador con mayor velocidad de respuesta debido a sus dimensiones más compactas.

8.2.- Válvulas solenoides.

Las válvulas solenoides empleadas en las líneas de flujo operan eléctricamente, consumiendo una cantidad de corriente que dependerá de la potencia de la bobina y de un valor de voltaje constante e igual a la alimentación. Su accionamiento se realiza mediante el paso o corte de energía, empleando un relé gobernado por un controlador. La potencia y la alimentación requeridas por el solenoide está determinada por el fabricante para cada tipo de válvula. Para accionar las válvulas requeridas en el sistema de selección de flujo de la unidad, se requieren solenoides de 10 W alimentados a una tensión constante de 110V/60Hz.

8.3.- Sensores.

Las variables a controlar determinan el tipo de sensores a ser empleados. Aquellos requeridos para la unidad desaladora son:

- * Presión.
- * Caudal.
- * Salinidad (conductividad).

Para el sistema de control de la unidad se ha decidido emplear sensores de tipo eléctrico ya que estas señales pueden ser convertidas, de manera relativamente fácil, en información digital para ser procesada por un controlador.

La selección de los sensores se basa en los valores máximos y mínimos de variación que pueden ocurrir en las variables mencionadas; el ambiente en el cual han de operar, el tipo de información que se desea obtener, la sensibilidad, tiempo de respuesta y tolerancia de errores

entre otros. Por tanto, los datos necesarios para la selección de los sensores serán los valores máximos de presión, caudal y salinidad esperados, mas los valores de tolerancia del sistema de control. De esta forma, considerando las variaciones de los parámetros de operación, se tiene:

* Presión.

- Sensores de presión mínima de alimentación en la entrada de la bomba de alta presión:

Presión máxima: 55 psi.

Presión mínima: 0 psi.

Tolerancia: 1 psi.

- Sensores en las zonas de alta presión en la entrada y la salida de la membrana de Osmosis Inversa.

Presión máxima: 1000 psi.

Presión mínima: 800 psi.

Tolerancia: 1 psi.

* Caudal

- Sensor en la linea de producto.

Flujo máximo: 180 lts/h.

Flujo mínimo: 0 lts/h.

Tolerancia: 1,8 lts/h.

- Sensor en la linea de rechazo.

Flujo máximo: 1800 lts/h.

Flujo mínimo: 0 lts/h.

Tolerancia: 18 lts/h.

* Salinidad.

- Sensor en la linea de producto.

Máximo: 500 ppm.

Mínimo: 100 ppm.

Tolerancia: 5 ppm.

* pH.

- Sensor ubicado en la linea de alimentación.

Máximo: pH= 9

Mínimo: pH= 4

Tolerancia: +/- 0,1

La respuesta de estos sensores está dada en función de su resistencia interna y pueden ser alimentados con un voltaje comprendido entre 5 y 30 VDC. Dependiendo de la resistencia interna en un momento dado, la respuesta del sensor es una corriente que varía entre 4 y 20 mA. Para las condiciones de operación específicas de la unidad, se seleccionaron un conjunto de sensores presentados en el Anexo 4.

Los sensores de caudal operan por medio de una turbina que determina la velocidad del fluido. Al considerar el área transversal del tubo por el cual circula el fluido incompresible, se obtiene una relación entre la velocidad y el caudal. Este tipo de medidores puede operar en tubos de diversos diámetros y caudales.

El sensor de salinidad determina la conductividad o resistencia eléctrica que posee el fluido. Como es de saber, el agua pura desmineralizada a pH= 7 posee una elevada resistencia, lo que dificulta la transmisión de corriente a través de ella. Las sales disueltas en el agua, en forma de iones, le proporciona un medio conductor de electricidad. Esto indica que la resistencia o conductividad son factores indicativos de la concentración de sales disueltas en el agua.

Los sensores de presión operan según el principio de la deformación de elementos bimétálicos, y puede obtenerse por lo tanto una relación entre corriente y presión aplicada.

Las figura 8.1 y 8.2 presentan la relación existente entre la presión y el caudal respectivamente contra la corriente enviada por el sensor hacia el controlador.

Relacion entre corriente y presion
para los sensores de presion.

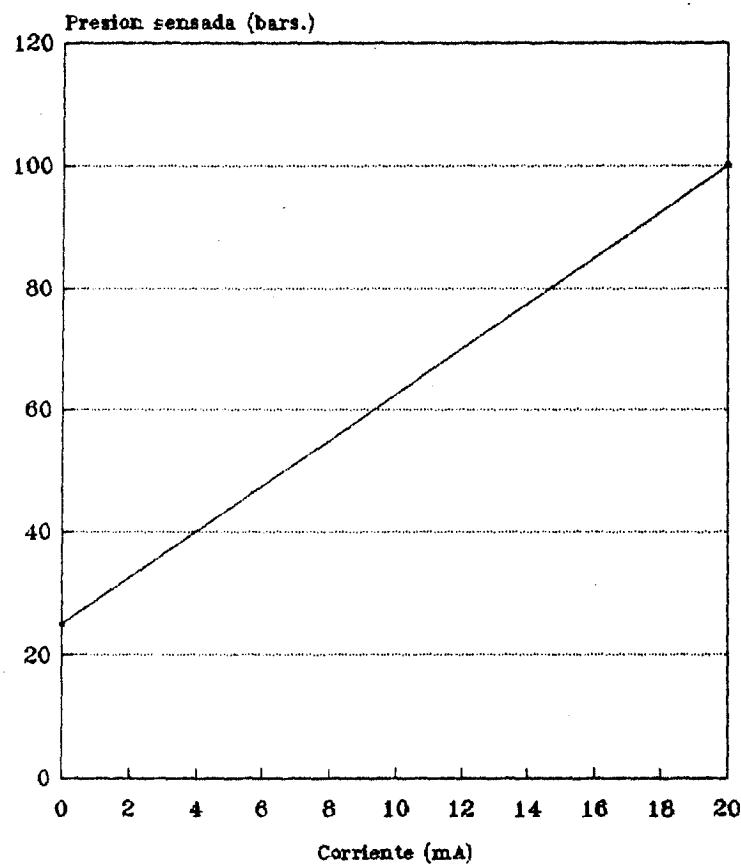


Figura 8.1

Relacion entre voltaje y velocidad
para los sensores de caudal

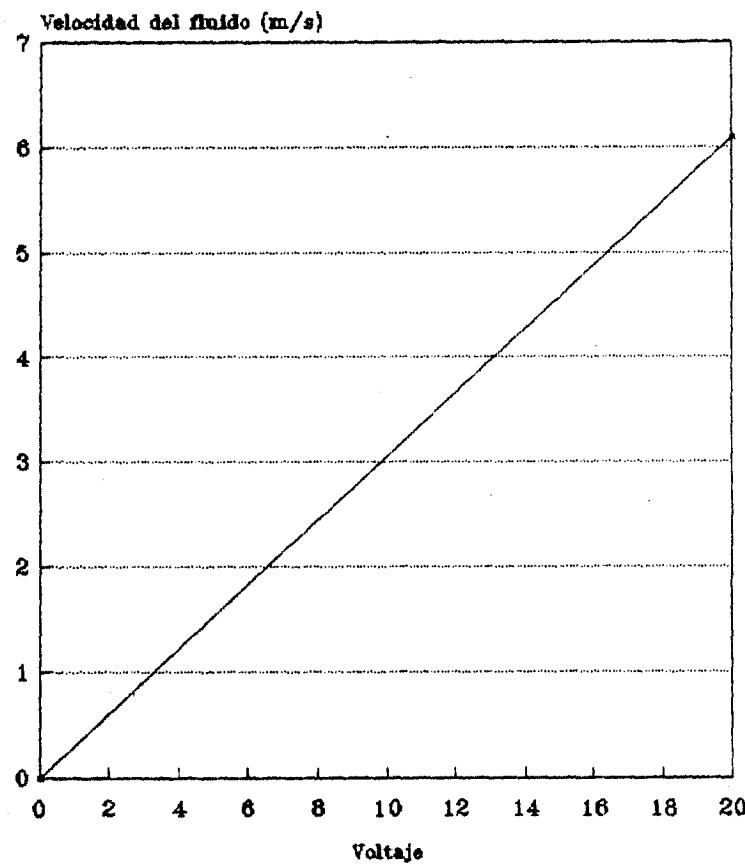


Figura 8.2

Como se mencionó anteriormente, existe una relación entre la concentración de sales disueltas en el agua (como ppm de NaCl) con respecto a la conductividad de la solución; la figura 8.3 presenta esta relación.

8.4.- Sistema de control y monitoreo.

8.4.1.- Parámetros de control.

Durante el uso de la membrana, ocurren variaciones de los parámetros de operación debido al ensuciamiento de esta. Como consecuencia, la calidad y el flujo del producto varían: ambos disminuyen. Por lo tanto, si se desea mantener constantes estos parámetros durante la operación de la membrana entre "lavados" y durante su vida útil, deben variarse los parámetros de operación de ésta.

Para que un sistema de Osmosis Inversa no sea el "dolor de cabeza" de sus usuarios, debe tener un sistema de control automatizado, el cual en la medida de lo posible actúe por sí mismo para el ajuste de las condiciones cambiantes durante el período de operación.

Con la finalidad de mantener las condiciones de calidad y flujo del producto, además de un aumento de la vida útil de la membrana con respecto a otras unidades de baja capacidad, sin que se requiera de la presencia de un operario, el sistema de accionamiento de las válvulas debe ser totalmente automático. Como se mencionó anteriormente, el sistema de control que se empleará será la variación de la presión de operación, manteniendo constante el porcentaje de conversión de agua.

Para ello se emplean las dos válvulas de bola ubicadas una en la línea de rechazo y la otra en una línea de reflujo de la bomba reciprocase. A continuación se describe el tipo de operación que debe ser realizada por estas válvulas:

Relacion entre conductividad del agua y concentracion de NaCl (ppm).

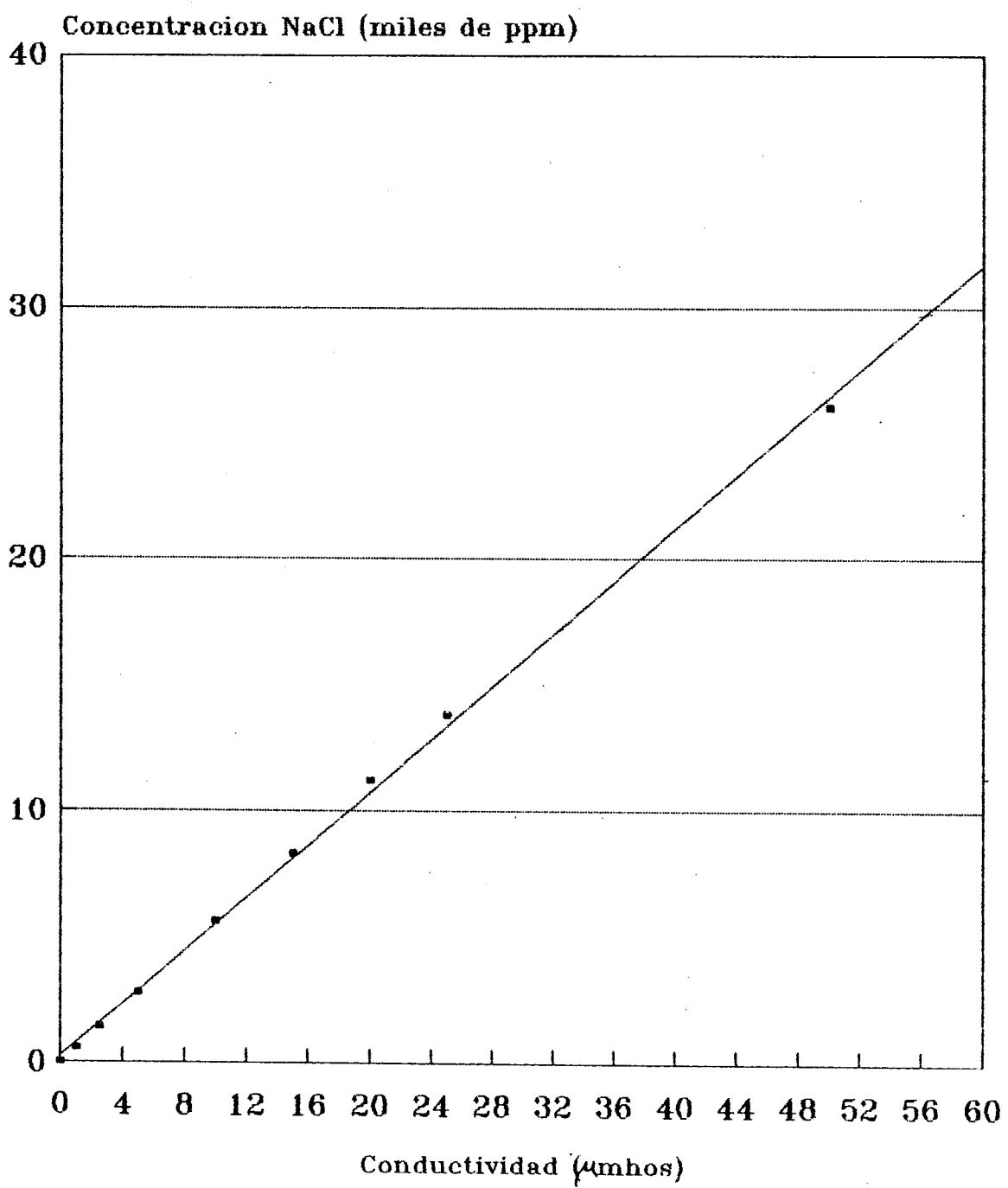


Figura 8.3

* Para lograr un aumento de la presión de operación, se requerirá de un aumento en la estrangulación realizada por la válvula ubicada en la línea de rechazo.

* Como consecuencia de este aumento de presión, ocurrirá un decremento del caudal de alimentación; efecto originado por la mecánica de los fluidos y no por el proceso osmótico. Como se desea mantener el porcentaje de conversión o recuperación constante, debe realizarse un ajuste del caudal a través de un aumento de la estrangulación del flujo de recirculación a través de la válvula ubicada en la línea de reflujo.

Para el sistema de control que se plantea, no se requiere conocer la posición de estas válvulas en un momento determinado, ya que estas se accionarán hasta recuperarse las condiciones de operación establecidas.

La información requerida para el sistema de control será:

- 1.- Presión de alimentación a la membrana.
- 2.- Presión de salida (rechazo) del módulo contenedor.
- 3.- Caudal de rechazo.
- 4.- Caudal del producto.
- 5.- Calidad (conductividad) del producto.

Esta información el sistema la determina a través de los sensores indicados, los cuales envían a diversos controladores una señal de corriente, la cual corresponde con un valor de presión, caudal o conductividad.

El pH de la solución de alimentación es controlado igualmente, a través de un sistema de dosificación, a través del cual tiende a mantenerse constante el pH en la entrada de la membrana.

8.4.2.- Sistema de control.

El sistema global de control está formado por el conjunto de sensores, transmisores y procesadores de señales, los cuales se encargan del correcto funcionamiento del equipo en las diversas condiciones de operación. El tipo de análisis y respuesta es continua y lineal, esto significa que las condiciones de operación son censadas continuamente, propiciando una reacción por parte de los actuadores también de manera continua.

Existen dos sistemas básicos de control del equipo. El sistema de control de pH, a través del cual se logran unas condiciones constantes del mismo en la entrada de la membrana, a través de un controlador que recibe una señal del fluido y a su vez envía otra señal hacia una bomba dosificadora. El esquema de este control se presenta en la figura 8.4.

A continuación se definen claramente las respuestas deseadas del sistema dependiendo de las condiciones específicas de operación. La figura 8.5 es un esquema de la interconexión entre los distintos elementos.

- * Un aumento de la señal enviada por el sensor de conductividad (C) originará un aumento de la estrangulación de la válvula de rechazo y al mismo tiempo de la válvula de reflujo.
- * Un aumento o disminución del flujo del producto, provocará un aumento o disminución de la estrangulación de las válvulas de rechazo y de reflujo.
- * Una señal de disminución de la estrangulación en las dos válvulas de control del sistema anulará cualquier señal de aumento de estrangulación de estas válvulas.
- * Una señal inferior al equivalente de 0 psi. en el sensor de baja presión instalado en la entrada de la bomba de alta presión, producirá una señal para el accionamiento del ciclo

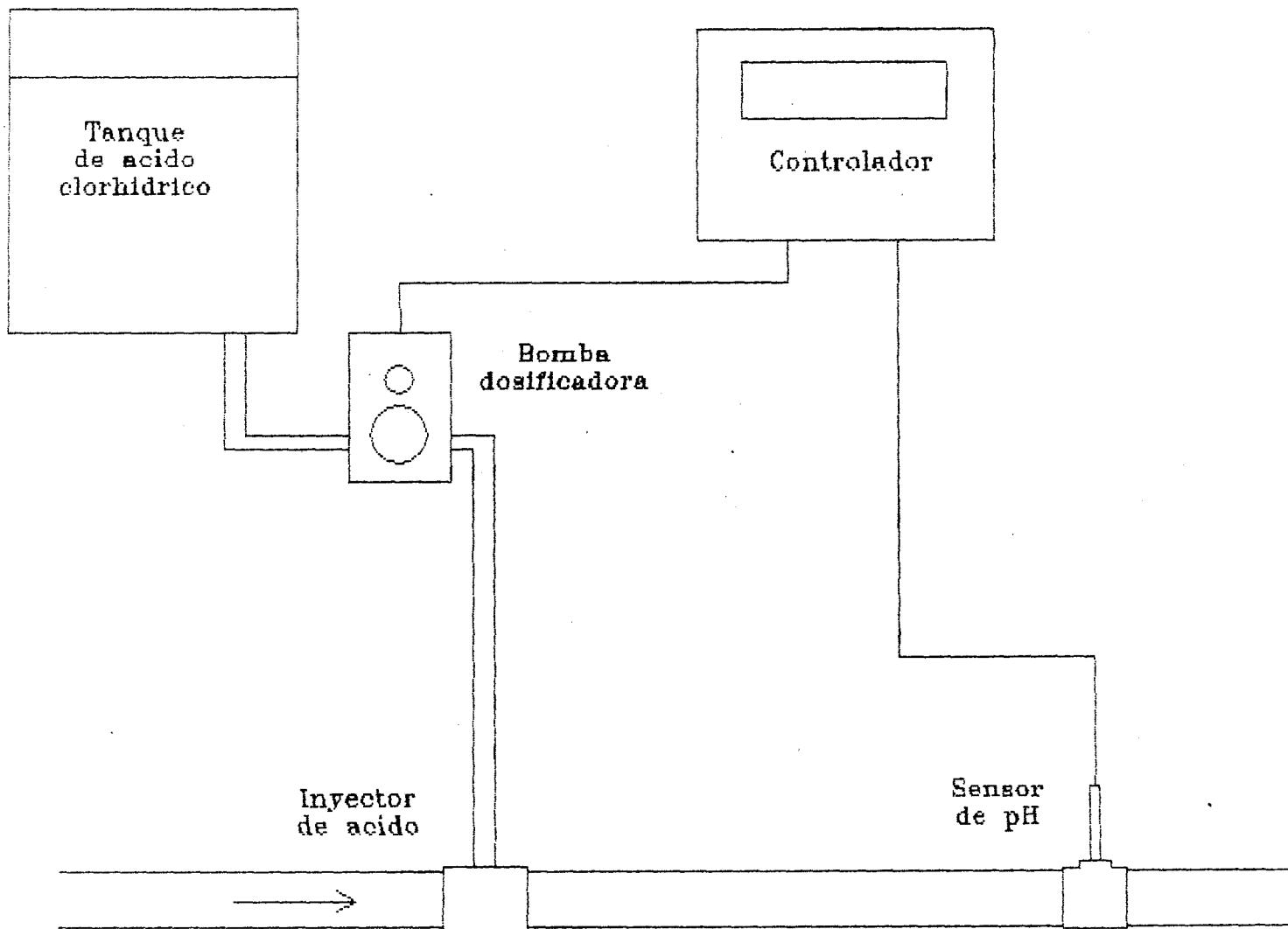


Figura 8.4
Sistema regulador de pH

de apagado con la alarma indicando "filtros sucios".

- * Una diferencia de señales entre los sensores de presión en la alimentación y rechazo de la membrana, superior al equivalente de 20 psi. originará el accionamiento del ciclo de apagado con su respectiva alarma indicando "membrana sucia".

Además de estas acciones de control, se plantea el control requerido durante el ciclo de apagado, el cual consiste en la extracción del agua de mar, enjuague y llenado con agua producto de la unidad desaladora:

- * Una señal de encendido manual o remota originará una señal para el encendido de las bombas y el inicio de un contador de tiempo.
- * Una señal de apagado manual o remota será anulada si el tiempo mínimo entre encendido y apagado es menor de 30 minutos (tiempo mínimo requerido para el llenado del tanque de producto), produciendo una señal en memoria que activará el ciclo de apagado una vez que la unidad haya operado por 30 minutos.
- * Despues de estos 30 minutos, cualquier señal de apagado remota o manual producirá una señal para el cierre de la válvula solenoide de la linea de alimentación, apertura de la válvula solenoide en la linea del tanque de producto y el inicio del contador de tiempo. Una vez superados los 150 segundos (tiempo requerido para el vaciado del tanque de producto) el sistema se detendrá, esperando nuevas señales.

Todas las condiciones de control operan de manera simultanea; los aumentos o disminuciones de cualquier señal están basadas en la asignación de valores de comparación en los controladores, los cuales son equivalentes a los parámetros de operación en señal digital. Para cada sensor, la condición de operación será:

- * Sensor de baja presión a la entrada de la bomba de alta presión: 0 psi.
- * Sensores de presión en la alimentación y rechazo de la membrana: 20 psi.
- * Sensor de flujo de rechazo: 1440 lts/h.
- * Sensor de agua de producto: 160 lts/h.
- * Sensor de salinidad: 300 ppm NaCl.

En la figura 8.6 se presenta el tablero de control propuesto para la unidad desaladora con sus respectivos controladores y sistemas de visualización de señales.

8.5.- Sistema eléctrico.

El sistema de alimentación eléctrica a la unidad debe estar compuesto por tres líneas, dos de las cuales transportan una tensión de 120 VAC y un neutro; esta alimentación es necesaria para la alimentación al motor de la bomba de desplazamiento positivo, el cual requiere una tensión de 240 VAC. Los equipos restantes trabajan con diferentes tensiones y para su suministro se aprovecharán las mismas líneas ya introducidas al sistema.

Niveles de tensión requeridos:

- * 240 VAC para el motor de 7,5HP
- * 120 VAC para la bomba de circulación.
- * 120 VAC requeridos para los motores de los actuadores.

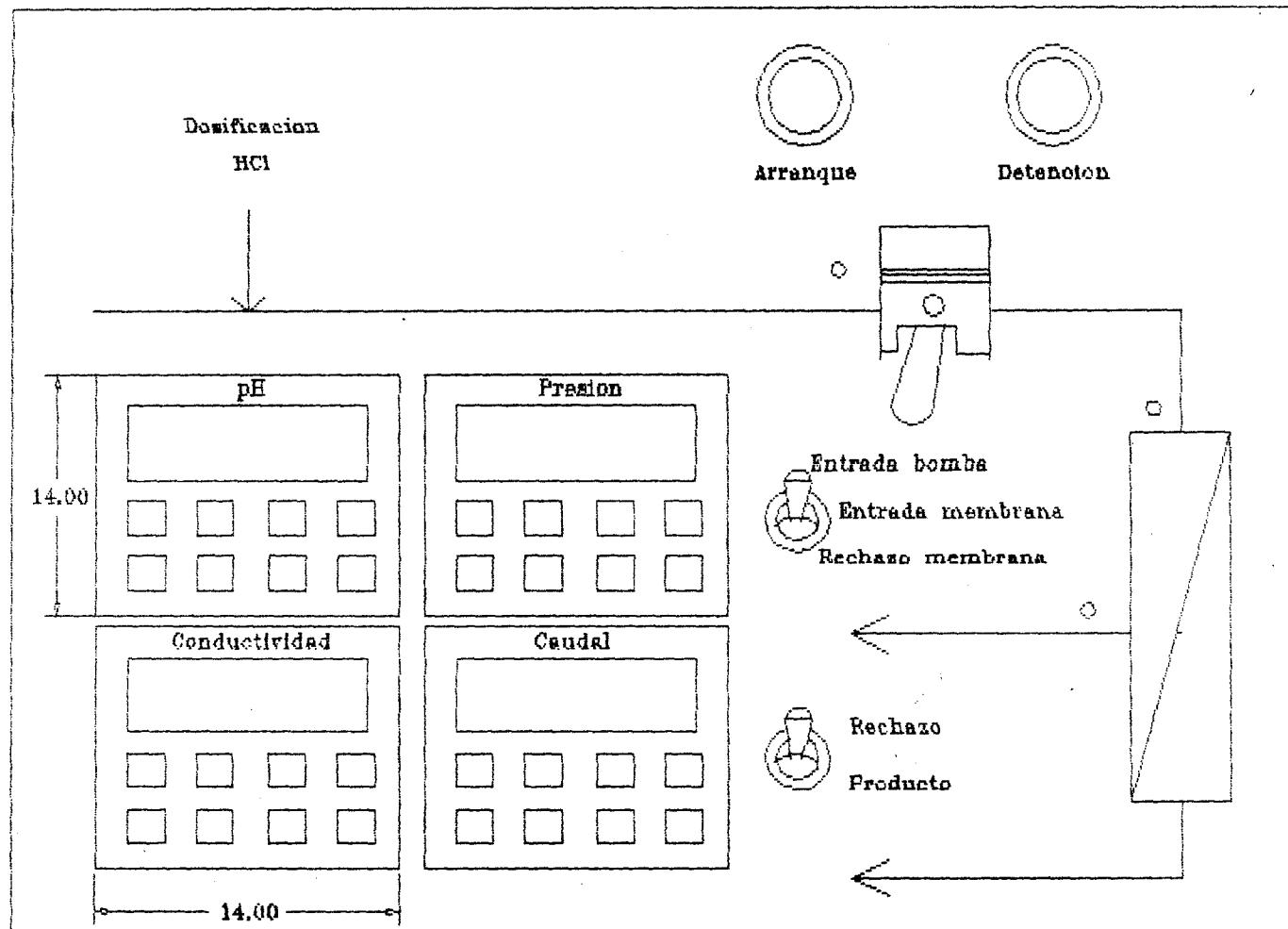


Figura 8.6
Panel de Control

- * 120 VAC necesarios para alimentar a la bomba dosificadora.
- * 120 VAC para la alimentación de los controladores.

La alimentación de los sensores la realizan los mismos controladores.

La figura 8.7 representa un diagrama de distribución de la energía a los puntos mencionados. A continuación se presentan los elementos que componen el sistema conjuntamente con el dimensionamiento de las protecciones que requieren y el calibre mínimo del cable:

- * M3f: motor de inducción trifásico alimentado a 240 VAC.
 - Corriente que consume a plena carga: 10 amperios
 - Protección: breaker instantáneo de 2 polos - 70 amp.
 - Conductores: Cable AWG 10
- * M1: motor monofásico de bomba de circulación alimentado a 120 VAC
 - Corriente máxima a plena carga: 5,8 amperios
 - Protección: breaker instantáneo de un polo - 40 amp.
 - Conductores: Cable AWG 18
- * M2: motor monofásico del dosificador alimentado a 120 VAC.
 - Corriente máxima a plena carga: 0,5 amperios
 - No requiere de protección eléctrica.
 - Conductores: Cable AWG 18
- * M3-M4: motores monofásicos de los actuadores; alimentados a 120 VAC.
 - Corriente máxima a plena carga: 0,6 amp. por actuador
 - No requieren de protección eléctrica.
 - Conductores: Cable AWG 18

- * Regleta R2: Regleta energizada a 120 VAC para la alimentación de los controladores y otros elementos adicionales:
 - Corriente máxima a plena carga: 5 amp. por controlador
Total = 20 amp.
 - Protección eléctrica: 50 amp.
 - Conductores: cable AWG 10 para el circuito principal, AWG 18 para los restantes.
- * Alimentación principal:
 - Consumo aproximado: 30 amperios.
 - Protección eléctrica: 100 amperios
 - Conductores: cable AWG 6 para el circuito de alimentación.

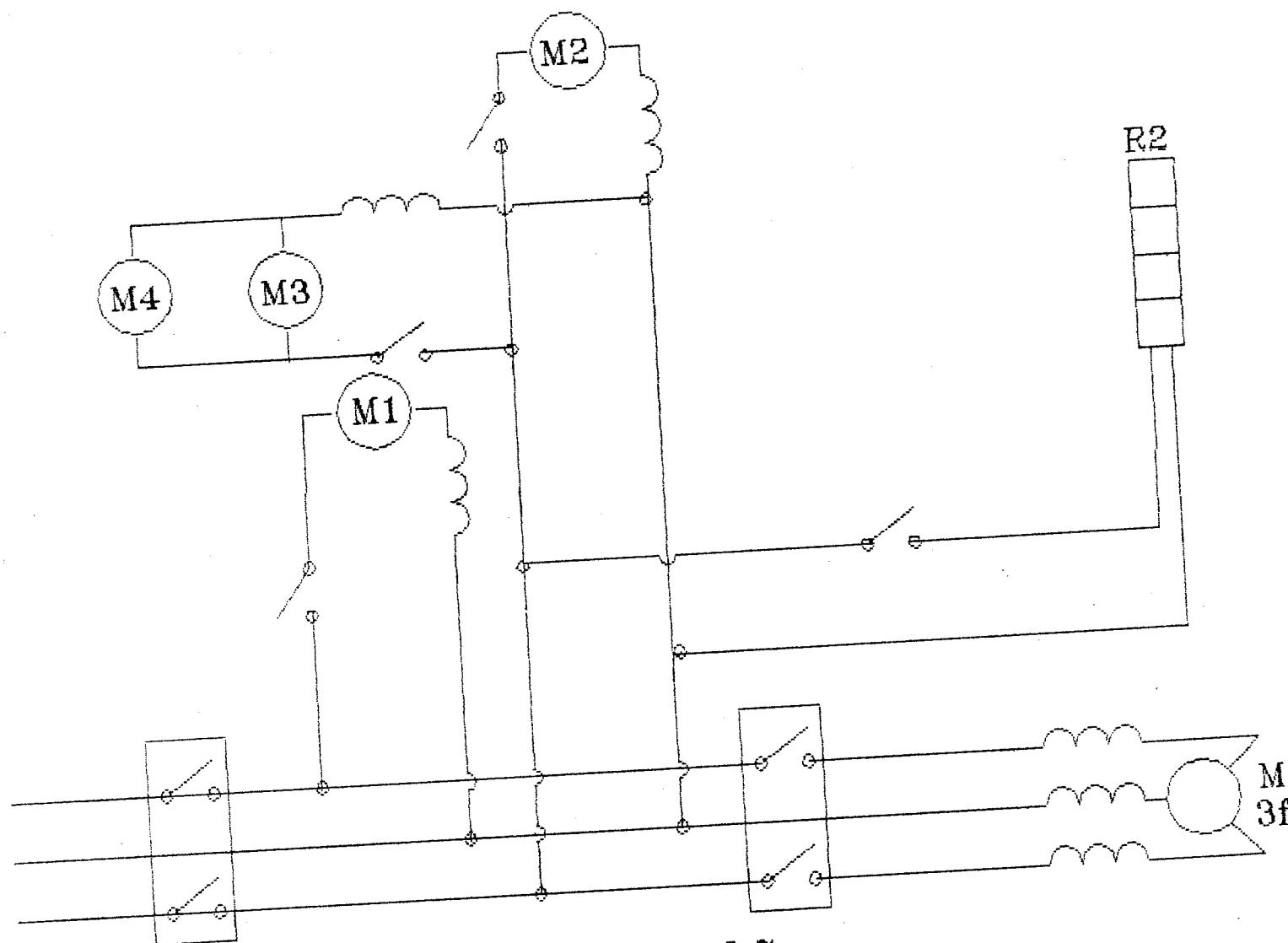


Figura 8.7
Sistema de distribucion de energia electrica

Capítulo 9: Sistema de Limpieza de la Membrana.

9.1.- Necesidades de limpieza.

Durante la operación normal de la planta de Osmosis Inversa, la membrana se ensucia gradualmente debido al efecto de la precipitación de sales y a la deposición de materia orgánica, biológica (microrganismos y algas), partículas coloidales y otras de mayor tamaño; especialmente por el pre-tratamiento marginal al que está siendo sometida. Este ensuciamiento se traduce en una disminución del área efectiva de la misma y por consiguiente del rendimiento de la membrana.

Una vez que se alcanzan las condiciones críticas de operación, mencionadas en los Capítulos 3 y 8, es necesario someter a la membrana a un proceso de limpieza para recuperar sus capacidades operativas. Sin embargo pueden ocurrir ciertas condiciones en las cuales disminuyen estas capacidades operativas, sin que esto tenga algo que ver con el proceso gradual de ensuciamiento:

- * Un descenso en la temperatura del agua de alimentación, produce una disminución del caudal del producto.
- * Un mal funcionamiento del sistema de control de presiones o de la bomba puede reflejarse en una disminución de la productividad y en un incremento del paso de sales.
- * Alguna falla en el sistema de dosificación de ácido puede provocar una variación de las características operativas debido a la variación del pH.

Por lo tanto, estos factores deben ser controlados previamente antes de afirmar que es el ensuciamiento de la membrana el responsable de un funcionamiento del sistema fuera de los parámetros operativos normales.

9.2.- Precauciones durante el Proceso de Limpieza.

En caso de que se sea necesaria la limpieza de la membrana, deben mantenerse las siguientes precauciones y recomendaciones para lograr que el proceso se lleve a cabo sin problemas ya sea para la membrana o para el encargado de la realización del mismo:

- * Debe tenerse la certeza de que todos los materiales que van a estar en contacto con las soluciones de limpieza no sean degradables o corroibles por estas.
- * Seguimiento de las adecuadas normas de seguridad durante el manejo y la disposición (posterior al proceso) de los elementos y soluciones utilizadas, las cuales serán mencionadas posteriormente.
- * Verificación de que los elementos químicos utilizados en la preparación de las soluciones de limpieza estén completamente disueltos y bien mezclados, antes de circular dicha solución por la membrana.
- * Una vez concluido este proceso, es deseable enjuagar los elementos con agua de buena calidad y libre de cloro para evitar daños en la membrana por excesiva exposición o contaminación del producto una vez que se proceda a la reactivación de la planta de Osmosis Inversa.
- * Durante la circulación de las soluciones de Limpieza debe tenerse la seguridad de que no se excedan las siguientes temperaturas:

T (° C)	pH de la solución
50	2-10
35	10-11
30	1,5-2 y 11-12

* La dirección del flujo durante el lavado debe ser la misma que durante la operación normal de la planta para evitar el efecto telescopico en el elemento de membrana que tiene como consecuencia la deformación de la membrana y una estrangulación del flujo.

9.3.- Procedimiento de Limpieza.

El proceso de limpieza de los elementos puede dividirse en seis pasos básicos:

1.- Mezclado de la solución de limpieza para lograr la homogeneización y disolución total de los elementos químicos con el objetivo de evitar valores pico de pH que puedan deteriorar irreversiblemente a la membrana.

2.- Bombeo a bajo caudal: La solución de limpieza debe ser bombeada a baja presión: $1,41 \text{ kg/cm}^2$ (20 psig) y bajo caudal hacia el recipiente contenedor de la membrana hasta el llenado total de la misma con dicha solución.

3.- Remojo de la membrana en la solución de limpieza. Esta etapa debe tener una duración mínima de una hora, la cual podría aumentar en casos de severos ensuciamientos. Normalmente puede realizarse sin la circulación de la solución, es decir con la bomba apagada. Pero es preferible mantener un pequeño flujo (aproximadamente un 10% del

flujo máximo) para renovar continuamente la solución, removiendo los elementos que ésta es capaz de disolver.

5.- Bombeo a alto caudal: La solución debe bombearse a un caudal de 1816,8 l/h (8 GPM), a una presión de 1,41 kg/cm² (20 psi.) por un período de tiempo de 30-60 minutos. Este alto caudal permite la remoción de los elementos causantes del "fouling". Sin embargo, un caudal demasiado alto puede ser un problema por la excesiva caída de presión en el módulo, la cual debe tener un valor máximo de 20 psi.

6.- Enjuague de la membrana con agua limpia para eliminar cualquier resto de la solución de limpieza. Para evitar la posible precipitación, es recomendable mantener una temperatura mínima de 20°C.

9.4.- Soluciones y elementos químicos requeridos para la limpieza.

Un tratamiento o lavado químico completo debe incluir una etapa de lavado ácido para remover todos los precipitados inorgánicos y otra etapa de lavado alcalino para remover los elementos orgánicos, incluyendo aceites y grasas.

El agua utilizada para la preparación de estas soluciones debe estar libre de cloro disuelto y de partículas sólidas por lo que es conveniente incluir en el sistema de limpieza una etapa de filtrado fino conjuntamente con filtrado por carbón activado.

Foulant:	0.1% (W) NaOH 0.1% (W) Na-EDTA pH 12, 30°C MAX.	0.1% (W) NaOH 0.1% (W) Na-DSS pH 12, 30°C MAX.	1.0% (W) STP 1.0% (W) TSP 1.0% (W) Na-EDTA	0.5% (V) HCl	0.5% (W) H ₃ PO ₄	2.0% (W) Citric Acid	0.2% (W) NH ₂ SO ₃ H	2-4% (W) Na ₂ S ₂ O ₄	2.4% (W) Citric Acid 2.4% (W) NH ₄ F·HF pH 1.5-2.5, 30°C MAX.
Inorganic Salts (for example, CaCO ₃ , CaSO ₄ , BaSO ₄)			BEST	OK	OK	OK			OK
Metal Oxides (for example, iron)				GOOD		OK	GOOD		
Inorganic Colloids (silt)		GOOD							OK
Silica	OK								BEST
Biofilms	BEST	GOOD	GOOD						
Organics	OK	GOOD	GOOD						

Tabla 9.1

Compuestos químicos compatibles con las membranas SW30HR

En la tabla 9.1 se presentan las soluciones alternativas de limpieza compatibles con las membranas del tipo SW30HR para cada uno de los elementos que pueden producir ensuciamiento.

Para estandarizar el proceso se utilizaran:

- * Solución de ácido cítrico 2,4% en peso para la remoción de las sales, coloides inorgánicos y sílice.
- * Solución de hidrosulfito de sodio (Na₂S₂O₄) 2,4% en peso para eliminar los óxidos metálicos.
- * Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1% en peso para eliminar elementos orgánicos y materias biológicas (microrganismos y algas).

La selección de las dos primeras soluciones se basó en el menor peligro durante su manipulación y de la tercera por ser el elemento de uso más común entre los distintas alternativas.

9.5.- Flujo de fluidos de la unidad de limpieza.

La figura 9.1 representa esquemáticamente el diagrama de flujo de los fluidos que circulan en la unidad. Para la simplificación práctica de la misma, el proceso completo de lavado, es decir las distintas etapas del mismo se realizan a través de la utilización del mismo tanque de mezclado y los mismos equipos, para ello dichas etapas se deberán realizar consecutivamente una tras la otra.

Es conveniente colocar un sistema de filtrado por cartuchos antes de la membrana para remover cualquier partícula que pueda desprenderse de ella y no sea disuelta por las soluciones, para que no regrese nuevamente a estas.

El estudio de las características de los fluidos en la unidad de limpieza de la membrana, no requiere un análisis tan detallado como el realizado para la unidad desaladora, ya que en esta unidad no existe control por medio de la estrangulación de los fluidos.

9.5.1.- Selección de las válvulas de paso y corte.

El manejo de los fluidos se realiza mediante válvulas solenoide de paso y corte tal como se indicó anteriormente. Para la selección de estas válvulas se consideraron las características de los fluidos, los cuales son ácidos y bases diluidas en concentraciones del 2,4% en peso; requiriéndose válvulas fabricadas en acero inoxidables para el manejo de los fluidos corrosivos. El tamaño de estas válvulas estarán determinados directamente por el diámetro de las tuberías sobre las cuales serán instaladas, las cuales son de 19,1mm (3/4") en su gran mayoría.

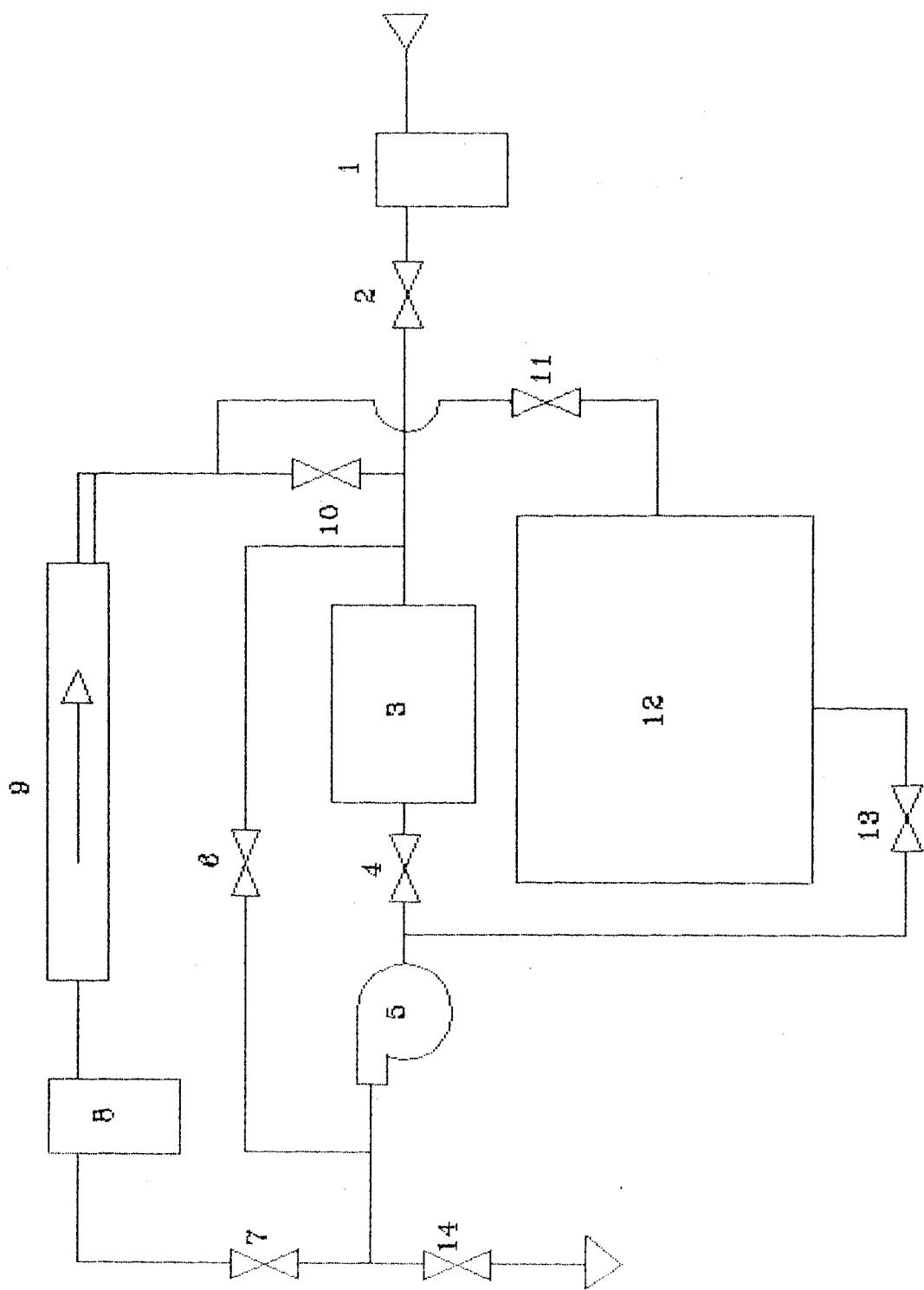


Figura 9.1
Diagrama de flujo

El diámetro de las tuberías está ya determinado, debido a que se toman en cuenta las mismas consideraciones realizadas previamente para el caudal máximo de la unidad desaladora, existiendo una única linea de flujo que posee un tamaño diferente al ya mencionado. La determinación del tamaño de esta tubería se realiza mas adelante.

La pérdida permisible por las válvulas solenoides, se determina mediante la ecuacion 6.1, considerándose la densidad de la solución diluida de acido o base, muy próxima a la densidad del agua pura. Sustituyendo el caudal de operacion de 1800 lts/h (8 GPM) y un Cv de 5,0, obtenido de las tablas suministradas por el fabricante, para el diametro requerido, se determina la presion diferencial permisible.

$$5,0 = 8 * (1,0 / \Delta p)^{1/2}$$

$$\Delta p = 2,6 \text{ psi}$$

9.5.3.- Determinación de la capacidad de la bomba.

La bomba requerida para la unidad de limpieza deberá permitir su operación en vacío, como se menciono anteriormente, ademas de ser resistente a los tipos de fluidos manejados y proporcionar la energía necesaria para suministrale al fluido una presión de 20 psi, a la entrada de la membrana, calculada mediante la ecuacion 6.8, además de vencer las pérdidas originadas por la membrana, filtros, válvulas, tuberías y accesorios.

Debido a que las pérdidas ocasionadas por las tuberías y accesorios son considerablemente inferiores, se dimensionará la bomba considerando solo las pérdidas mayores más un 5% que incluye a todas las pérdidas menores en las tuberías. Empleando la ecuación 6.7, utilizando una eficiencia del 70%, y realizando la sumatoria de las pérdidas

producidas por la membrana y filtros, ya determinados en el punto 6.4, debido a que los caudales y las consideraciones realizadas para ambas unidades son similares, tenemos:

$$h(20 \text{ psi}) = 1,37 * 105 / 1000 * 9,81$$

$$h(20 \text{ psi}) = 14,0 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$h(\text{requerida}) = (13,6 + 2 * 6,86 + 3 * 1,77 + 14,0) * 1,05$$

$$h(\text{requerida}) = 49,0 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$kW = 1800 * 49,0 * 1000 / 3669600 * 70$$

$$kW = 0,3434; \text{ HP} = 0,46$$

9.5.4.- Determinación del flujo menor.

Dadas las condiciones del flujo mayor, y las cargas por pérdidas y por bombeo, el flujo menor para el llenado y remojo de la membrana se determina mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q_{\text{menor}}(\text{lts/h}) = Q_{\text{mayor}}(\text{lts/h}) - Q_{\text{reflujo}}(\text{lts/h}) \quad (9.1)$$

$$Q_{\text{reflujo}}(\text{lts/h}) = Q_{\text{mayor}}(\text{lts/h}) / (1 + (h_2/h_1)^{1/2}) \quad (9.2)$$

donde h_1 y h_2 son las cargas en los tramos de lavado y de reflujo respectivamente. La determinación de la carga del tramo de reflujo se realizó mediante la sumatoria de las pérdidas originadas, calculadas mediante el despeje de la ecuación 7.10 aplicada para cada accesorio, asumiendo una velocidad de 1m/s y un diámetro de 19,1mm (3/4"). En el Apéndice G se muestra una tabla con la lista de los componentes

de la unidad de limpieza. De esta forma, se calcula el flujo menor:

$$h_1 = 51,6 \text{ m. H}_2\text{O}$$

$$h_2 = 1,77 + 0,138 + 0,035 + 0,057$$

$$h_2 = 2,0 \text{ m. H}_2\text{O}$$

$$Q_{reflujo} = 1800 / (1 + (2,0/51,6)^{1/2})$$

$$Q_{reflujo} = 1503 \text{ lts/h}$$

$$Q_{menor} = 1800 - 1503$$

$$Q_{menor} = 297 \text{ lts/h}$$

Se verifica ahora que la suposición realizada para el cálculo de las pérdidas en el tramo de reflujo, sea acorde con el valor del caudal calculado; para ello se emplea la ecuación 6.3 y el valor del caudal 1503 lts/h.

$$v = 4 * 1503 / \pi / 21,0^2 / 3,6$$

$$v = 1,2 \text{ m/s}$$

La velocidad asumida desde un principio resulta un poco inferior a la obtenida en el cálculo, pero se considera que esta variación no es significativa en el momento de la determinación del caudal.

9.6.- Sistema estructural de rigidizacion.

La estructura de soporte de los componentes que conforma la unidad, esta formada por un marco metálico, en posicion vertical, elaborado en tubos mecánicos de sección cuadrada de 1/2", unidos mediante soldadura y con aplicación de una protección contra la corrosión electroquímica, al igual que la estructura de rigidizacion de la unidad desaladora. La estructura se sostiene mediante una base simple, realizada con perfiles en C de 1" x 1", que descanzan el peso de la unidad sobre la superficie del suelo.

El espesor del perfil en C sera de dos milimetros, determinado por menor calibre en la cual es elaborado, no requiriendose un estudio detallado de esta, dado que no existiran esfuerzos de flexion y que la carga aplicada esta distribuida uniformemente.

El espesor del tubo mecánico se determina mediante un analisis de la mayor carga aplicada, que produzca el mayor esfuerzo por flexion, el cual ocurre cuando se ha finalizado el lavado y se encuentra lleno el tanque de desechos. Aplicando las ecuaciones 7.4 y 7.5, luego del análisis de esfuerzos presentado en la figura 9.2, se determina el mínimo espesor de pared requerido, con el máximo esfuerzo admisible.

Sustituyendo y despejando, tenemos:

$$\begin{aligned} 16,8 &= 340,8 / ((12,7^4 - (12,7 - 2 \cdot t)^4) / 6 \cdot 12,7) \\ t &= 0,097 \text{ mm} \end{aligned}$$

El calibre más bajo con que son elaboradas los tubos mecánicos, en forma estandar es de un milimetro (1 mm.)

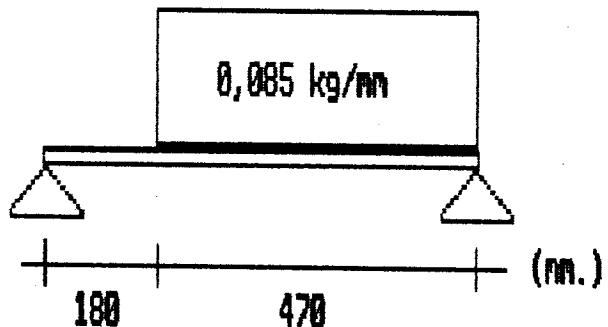
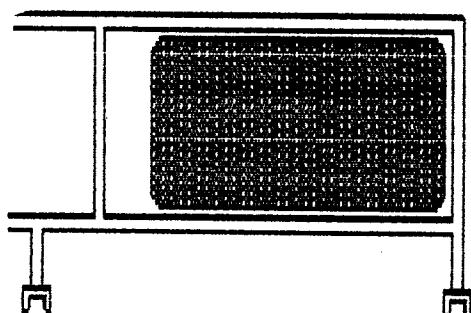


Figura 9.2.a

Distribución de cargas.

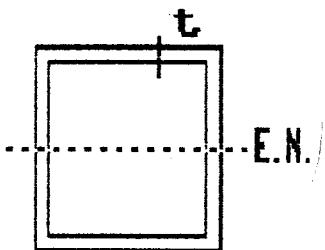


Figura 9.2.b

Tubo mecánico de sección cuadrada.

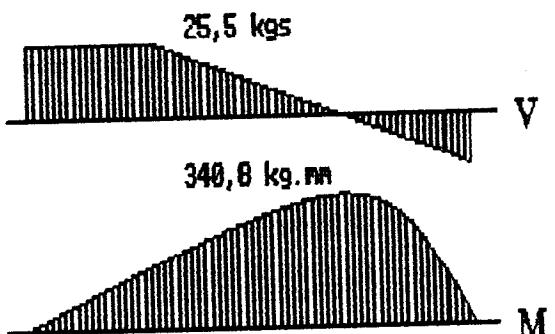


Figura 9.2.c.

Diagramas de corte y momentos.

9.7.- Sistema de control de la unidad de limpieza.

Están conformado por un reloj de control de suministro de la energía eléctrica a las diversas bobinas de las válvulas y al motor de la bomba centrífuga, el sistema de control se define por las diversas etapas del proceso.

Realizando un resumen de las condiciones de control, siguiendo la numeración presentada en la figura 9.1, tenemos:

1.- Un accionamiento manual, para el inicio del proceso de limpieza, activará al reloj controlador, el cual energizara la bobina de la valvula (2), permitiendo el llenado del tanque de mezclado, con agua proveniente de un suministro de agua dulce. Tiempo 30 segundos.

2.- Una vez finalizada la etapa de llenado, el reloj controlador se detendra para permitir la incorporacion de la sustancia quimica correspondiente a esa etapa de limpieza.

3.- Otra acción manual, reinicia el proceso de limpieza, energizando la bomba y las bobinas de las válvulas (4) y (6), con la finalidad de permitir la mezcla y homogeneidad de la solucion contenida en el tanque. Tiempo 60 segundos.

4.- Luego de transcurrido el tiempo de mezclado, y manteniendo las mismas condiciones de anteriores, se energiza las bobinas de las válvulas (7) y (10), para comenzar la primera limpieza de la membrana. Tiempo 3600 segundos.

5.- Finalizada la etapa de remojo, y manteniendo las condiciones anteriores, se desenergiza la bobina de la valvula (6), comenzando la limpieza a mayor caudal. Tiempo 3600 segundos.

6.- Transcurrido el tiempo de mayor caudal, se desenergiza la bobina de la valvula (10) y se energiza la de la valvula (11). Tiempo 2 segundos.

7.- Ahora se energiza la bobina correspondiente a la válvulas (2), con la finalidad de enjuaguar la membrana. Tiempo 5 segundos.

8.- Una vez finalizada la primera limpieza, se desenergizan las bobinas de las valvulas (4), (7) y (11) ademas de la bomba, con la finalidad del llenado del tanque, con agua dulce. Tiempo 30 segundos.

9.- Para la segunda limpieza, se repite el control indicado en los pasos 2 al 7.

10.- Finalizada la segunda limpieza, se mantiene las condiciones de control indicadas en el paso 7. Tiempo 30 segundos.

11.- Ahora se desenergizan las bobinas de las válvulas (2), (4), (7) y (11), y se energizan las bobinas correspondientes a las valvulas (13) y (14). Tiempo 105 segundos.

12.- Se desenergizan todas las bobinas y la bomba, para asi finalizar la limpieza de la membrana.

Se requiere la elaboración de un reloj controlador, para las condiciones de operación anteriormente mencionadas; ya que no existen en el mercado, relojes controladores adaptables a dichas condiciones.

Capítulo 10: Configuración modular de la Unidad.

10.1.- Configuración modular.

El término modular hace referencia a las características de adaptabilidad e independencia del diseño estudiado de la unidad desaladora, pudiéndose definirla como una unidad compacta y simple de transportar y operar para la desalación del agua de mar.

El relativamente fácil transporte y rápido armado, la caracterizan como un equipo portátil, además de no requerir obras civiles o condiciones especiales para su instalación. La única exigencia es una línea de alimentación eléctrica de 240 VAC. Su independencia permite el uso de varias unidades en paralelo para requerimientos mayores de agua, lo que permitiría el mantenimiento de una de ellas sin la interrupción del suministro. La adaptabilidad y sistema de control permite su empleo en la desalación de agua de mar con diferentes características, manteniéndose tanto la calidad como el flujo de producto prácticamente constantes a lo largo del período de operación normal.

10.1.1.- Transporte de la unidad.

La unidad puede ser dividida en tres partes: una que contiene a los filtros y a la bomba centrífuga, la segunda conteniendo a la bomba reciprocatante con su respectivo motor y al tanque de agua de producto y la tercera al contenedor de la membrana de Osmosis Inversa.

Permite un transporte relativamente facil debido a que cada una de estas partes pesa aproximadamente 70 kg., 100 kg. y 18 kg. respectivamente y cuenta con unas ruedas en su parte inferior para facilitar el desplazamiento. El hablar de un equipo con un peso de 100 kg. implica que para su transporte se requiere por lo menos de dos personas adultas para alzar a la unidad.

El hecho de estar "desnuda" la estructura (no posee tapas de recubrimiento), permite su manipulación sin la necesidad de manillas o asideros ya que puede ser sujetada por la misma estructura la cual fué diseñada para permitir cargas puntuales aplicadas y el balanceo del equipo, tal como se indica en el Capítulo 7.

Las reducidas dimensiones de los bloques estructurales en los que se divide el conjunto, 65 x 70 x 65 cm. y 75 x 70 x 65 cm. respectivamente, la convierten en un equipo poco voluminoso permitiendo una facil maniobrabilidad.

10.1.2.- Armado e instalación.

Como ya se mencionó, la unidad permite ser dividida en tres partes, las cuales pueden ser ensambladas de manera muy sencilla: se juntan las dos estructuras principales, haciéndolas rodar sobre una superficie plana de forma que las uniones de las tuberías internas y de las tomas de alimentación, producto y rechazo queden alineadas. Luego se cierran manualmente los ganchos de unión entre las estructuras (indicados en la figura 7.2), dos en cada uno de los lados de la unidad.

Empleándose una llave inglesa (única herramienta requerida para la instalación) se unen las tuberías mencionadas a través de las uniones respectivas, para luego introducir el módulo contenedor y proceder a su conexión con el resto del equipo empleando la misma

de un horno laminar (producción máxima diaria: 3840 lt.) hasta un máximo de 12 personas, las exigencias de un mayor caudal requerirían de un equipo con mayor productividad. Como el sistema es independiente

Debido a que las válvulas no realizarán estrangulación alguna del fluido, su tamaño estará determinado directamente por el diámetro de la tubería en la que serán instaladas, el cual se calculará considerando el caudal máximo de manejo y una velocidad del flujo de 1,5 m/s.

* Distribuidores de alimentación y rechazo para cuatro unidades.

Con un flujo máximo de operación de 6400 lts/h., dividiéndose en dos flujos de 3200 lts/h; las válvulas, tuberías y accesorios requeridos, tendrán un diámetro de: (empleando la ecuación 6.3)

$$di(6400 \text{ lts/h}) = (4 * 6400 / \pi * 1,5 * 3,6)^{1/2}$$

$$di(6400 \text{ lts/h}) = 38,8 \text{ mm; DN} = 1 \frac{1}{2}''.$$

$$di(3200 \text{ lts/h}) = (4 * 3200 / \pi * 1,5 * 3,6)^{1/2}$$

$$di(3200 \text{ lts/h}) = 27,5 \text{ mm; DN} = 1''.$$

Este distribuidor está formado por:

- * Una tee de PVC, 1 1/2".
- * Una unión de PVC, 1 1/2".
- * Tres niples de PVC, 1 1/2".
- * Dos reducciones de PVC, 1 1/2" - 1".
- * Dos tubos de PVC (850 mm), 1".
- * Dos codos de 90° de PVC, 1".
- * Cuatro niples de PVC, 1".
- * Dos válvulas de bola, 1".
- * Dos uniones de PVC, 1".

* Distribuidores de alimentación y rechazo para dos unidades.

Con un flujo máximo de operación de 3200 lts/h., dividiéndose en dos flujos de 1600 lts/h; las válvulas, tuberías y accesorios requeridos, serán del mismo diámetro que la salida del distribuidor anterior e igual a la tubería de entrada a la unidad desaladora.

Este distribuidor está formado por:

- * Una tee de PVC, 1".
- * Una unión de PVC, 1".
- * Tres niples de PVC, 1".
- * Dos reducciones de PVC, 1" - 3/4".
- * Dos tubos de PVC (350 mm), 3/4".
- * Dos codos de 90° de PVC, 3/4".
- * Cuatro niples de PVC, 3/4".
- * Dos válvulas de bola, 3/4".
- * Dos uniones de PVC, 3/4".

*Distribuidores de producto para cuatro unidades.

Con un flujo máximo de producto de 640 lts/h., dividiéndose en dos flujos de 320 lts/h; los diámetros de las válvulas, tuberías y accesorios requeridos, empleando la ecuación 6.3, serán:

$$di(640 \text{ lts/h}) = (4 * 640 / \pi * 1,5 * 3,6)^{1/2}$$

$$di(640 \text{ lts/h}) = 12,3 \text{ mm; DN} = 3/8".$$

$$di(320 \text{ lts/h}) = (4 * 320 / \pi * 1,5 * 3,6)^{1/2}$$

$$di(320 \text{ lts/h}) = 8,7 \text{ mm; DN} = 1/4".$$

Este distribuidor está formado por:

- * Una tee de PVC, 3/8".
- * Una unión de PVC, 3/8".
- * Tres niples de PVC, 3/8".
- * Dos reducciones de PVC, 3/8" - 1/4".
- * Dos tubos de PVC (350 mm), 1/4".
- * Dos codos de 90º de PVC, 1/4".
- * Cuatro niples de PVC, 1/4".
- * Dos válvulas de bola, 1/4".
- * Dos uniones de PVC, 1/4".

- * Distribuidores de producto para dos unidades.

Con un flujo máximo de operación de 320 lts/h., dividiéndose en dos tramos de 160 lts/h; las válvulas, tuberías y accesorios requeridos, serán del mismo diámetro que la salida del distribuidor anterior e igual a la tubería de entrada a la unidad desaladora.

Este distribuidor está formado por:

- * Una tee de PVC, 1/4".
- * Una unión de PVC, 1/4".
- * Tres niples de PVC, 1/4".
- * Dos reducciones de PVC, 1/4" - 1/8".
- * Dos tubos de PVC (350 mm), 1/8".
- * Dos codos de 90º de PVC, 1/8".
- * Cuatro niples de PVC, 1/8".
- * Dos válvulas de bola, 1/8".
- * Dos uniones de PVC, 1/8".

CONCLUSIONES.

La finalización del presente trabajo representa la culminación de un arduo proceso investigativo sobre el fenómeno de la Osmosis Inversa y su aplicación práctica; además de la solventación de innumerables problemas de diversas índoles y de múltiples dificultades para la obtención de la información requerida, pero sin embargo con el logro de las metas trazadas y la adquisición de muchos conocimientos y experiencia en los puntos tratados.

A continuación se presentan las conclusiones más importantes surgidas durante el proceso de desarrollo del trabajo:

* El proceso de Osmosis Inversa hasta ahora es el único que podría considerarse práctico para la desalación de agua de mar a baja escala, por lo que tiene un amplio campo de aplicaciones.

* La aplicación del coeficiente B/A se considera un aporte técnico en el campo de la selección de las membranas de Osmosis Inversa, el cual indica la efectividad de dichas membranas sin importar la configuración que presenten. Debido al valor de este aporte, se decidió solicitar la reserva de los derechos de propiedad intelectual de esta relación y sus futuras aplicaciones en los sistemas de desalación mediante membranas semipermeables.

* La elaboración de curvas para la dosificación de ácido clorhídrico en la línea de alimentación permite la rápida determinación de las cantidades y concentraciones requeridas, para cada concentración de carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de alimentación; simplificando así los métodos existentes actualmente para su

determinación.

* El diseño de un módulo contenedor de la membrana más simple y con menor cantidad de piezas que los modelos existentes actualmente en el mercado permite una reducción de peso y material, fácil construcción del mismo y mayor confiabilidad debido al número más reducido de sellos y elementos que lo componen; además permite el fácil armado e intercambiabilidad de las piezas que lo conforman.

* El establecimiento de principios adecuados para el control automático de unidades de desalación por Osmosis Inversa de tamaño reducido son indispensables para la obtención de un producto de calidad y flujo constantes.

* La limpieza de la membrana semipermeable se realiza a través de un lavado químico en lugar de una inversión de presiones, ya que permite la limpieza de incrustaciones y deposiciones de sales u otros elementos, además de la limpieza biológica, de grasas y aceites sin el riesgo de una deformación o maltrato de la membrana que podría ocasionarle un lavado a alta presión y que al mismo tiempo sería menos efectivo.

* Las características físico-químicas de las aguas de mar en las costas venezolanas representan solo condiciones particulares para el agua de mar, por lo que no se realizó un estudio detallado de estas, permitiendo que la unidad desaladora fuera diseñada para poder adaptarse a cualquier cambio en las características del agua de alimentación, pero dentro de los límites característicos de las aguas de mar.

* El procedimiento de limpieza y la política de control empleados, permite predecir un significativo aumento de la vida útil de la membrana con respecto a aquellas empleadas en otros equipos de Osmosis Inversa existentes en el mercado. La estimación específica de la vida útil de las membranas no puede conocerse con certeza ya que depende de muchos factores entre los cuales pueden citarse: características del agua de alimentación, efectividad del pre-tratamiento, mantenimiento, control, técnicas y frecuencias de limpieza. Aunque puede predecirse que será similar a la vida útil de las membranas de sistemas con buenos controles de proceso (entre 5-10 años), al contrario que en aquellos casos en los cuales a los factores mencionados no se les da la importnacia que requieren (1-3 años de vida útil).

* La construcción de una unidad desaladora piloto, para la verificación de los análisis y cálculos realizados, no fue posible debido a razones económicas y de tiempo.

* El diseño general representa la configuración de una Unidad desaladora modular de tamaño compacto, que permite la obtención de agua potable para el consumo requerido por un núcleo familiar, con una larga vida útil de la membrana, ademas de adaptabilidad para diversas condiciones de operación y fácil instalación.

RECOMENDACIONES.

Las innovaciones realizadas en la interpretación técnica del fenómeno de la Osmosis Inversa, como el diseño de una unidad de desalación con capacidades intermedias a las ya existentes, la aplicación de un sistema de pretratamiento a pequeña escala y el sistema de control de las condiciones de operación, originan un conjunto de recomendaciones, las cuales se presentan a continuación:

- * La necesidad de que en futuros trabajos se proceda a la construcción de una Unidad piloto para la verificación de las condiciones de operación investigadas.
- * La ejecución de un estudio factibilidad industrial y de mercado para la construcción, en caso de que sea rentable, de este tipo de unidades a nivel Nacional, ya que podría representar una válida alternativa para la obtención de estepreciado recurso en aquellas zonas costeras donde el agua potable es escasa y las fuentes de alimentación son ilimitadas.
- * El desarrollo de un sistema de control electrónico, con capacidad de adaptación para unidades modulares acopladas en paralelo que permitan ampliar los caudales a niveles superiores a los manejados.

BIBLIOGRAFIA.

- * AMJAD Z.: "Applications of Antiscalants to Control Calcium Sulfate Scaling in Reverse Osmosis System"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1985
pp 263-276 - Vol.54.
- * APPLEGATE L.: "Membrane Separation Processes"
Chemical Engineering - 1984 - pp 64-89 - Vol.6.
- * APPLEGATE L., SACKINGER S.: " Avoiding Iron Fouling in Reverse Osmosis Desalination Plants"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1987
pp 39-48 - Vol.61.
- * BADGER W., BANCHERO J.: "Introducción a la Ingeniería Química"
McGraw-Hill - México - 1981 - pp 572-625
- * BOLLIGER W.: "Pumps and Turbines in Reverse Osmosis Plants"
Sulzer Technical Review - 1984 - pp 29-32 - Vol.3.
- * CHEN J., KURIHARA M., PUSCH W.: "Transport Coefficient of Asymmetric and Composite Membranes"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1983
pp 379-388 - Vol.46.
- * COX B.: "A Study of Combined Acid/Additive Seawater Feed Treatment"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1984
pp 149-162 - Vol.51.

- * CRANE®: "Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías"
McGraw-Hill - México - 1988.
- * DICKSON J.M., MATSUURA T., BLAIS P., SOURIRAJAN S.: "Some Transport Characteristics of Aromatic Polyamide Membranes in Reverse Osmosis."
Journal of Applied Polymer Science - J.W.&S - 1976 - pp 1491-1499
Vol.20.
- * EBRAHIM S., MALIK A.: "Membrane Fouling and Cleaning at Drop"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1987
pp 201-221 - Vol.66.
- * EUGENE MOORE F.: "Today's Status of pH Measurement and Control in desalination plants"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1981
pp 23-31 - Vol.39.
- * EVANGELISTA F.: "A Short Cut Method for the Design of Reverse Osmosis Desalination Plants".
Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. - American Chemical Society 1985 - pp 211-223 - Vol 24.
- * GERE J., TIMOSHENKO S.: "Mecánica de Materiales"
Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. - 1984.
- * GREENE R.: "Válvulas, Selección, Uso y Mantenimiento"
McGraw-Hill - México - 1987.

- * HODGKIESS T., MACIVER A., CHONG P.: "Galvanic Studies Related to the Use in Desalination Plant of Corrosion-Resistant Materials"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1987
pp 147-170 - Vol.66.
- * KAUP E.: "Design Factors in Reverse Osmosis"
Chemical Engineering - 1973 - pp 46-55 - Vol.4.
- * KESTING R.: "Synthetic polymeric Membranes"
McGraw-Hill - New York - 1971.
- * NORDIN S., ERICSSON B.,WALLEN B.: "Optimization of High Pressure Piping in Reverse Osmosis Plants"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1985
pp 247-259 - Vol.55.
- * MINDLER A., EPSTEIN A.: "Measurements and Control in Reverse Osmosis desalination"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1986
pp 343-379
- * NORDIN S., OLSSON J.: "Corrosion Engineering of High Pressure Piping in RO Plants"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1987
pp 235-244 - Vol.66.
- * OLDFIELD J.W., TODD B.: "The Use of Stainless Steels and Related Alloys in Reverse Osmosis Desalination Plants"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1985
pp 261-280 - Vol.55.

- * PORTEOUS A.: "Desalination by Reverse Osmosis"
Desalination technology - 1983 - pp 205-248
- * PUSCH W., RILEY R.: "Characterization of Poly(Ether/Amide) and Poly(Ether/Urea) Thin Film Composite Membranes by Transport Coefficients".
Desalination - Elsevier Scientific Publishers - Amsterdam - 1977
- * RUSSELL G.: "Desalination"
Reporte N°133 de: Process Economics Program - 1980 - pp 43-78
- * SCHOCK G., MIQUEL A.: "Mass Transfer and Pressure Loss in Spiral Wound Modules".
Desalination - Elsevier Scientific Publishers - Amsterdam - 1987
- * SIRKAR K., DANG T., RAO H.: "Approximate Design Equations for Reverse Osmosis Desalination by Spiral-Wound modules".
Ind.Eng.Chem.Process Des.Dev. - American Chemical Society - 1982
pp 517-527 - Vol.21.
- * SOLTANIEH M., GILL W.: "Review of Reverse Osmosis Membranes and Transport Models".
Chemical Engineering Communications - G&B, Science Publishers Inc.
1981 - pp 279-363 - Vol.12
- * SOURIRAJAN S.: "Reverse Osmosis"
Academic Press - New York - 1970 - pp 539.
- * TRAGARDH G.: "Membrane Cleaning"
Desalination - Elsevier Science Publishers - Amsterdam - 1989
pp 325-335 - Vol.71.

- * WESTAWAY C.R., LOOMIS A.W.: "Cameron Hydraulic Data"
Ingersoll-Rand - Woodcliff Lake - 1984.
- * "Manual Práctico de Osmosis Inversa"
Fluid System Co.
- * "Permasep Engineering Manual" (Boletines técnicos diversos)
Dupont Company-Permasep Products - Nros. 401-405 y 501-510 - 1982.
- * "Technical Bulletin" (Boletines técnicos diversos)
FilmTec Corporation - 1985.
- * "Technical Papers" (Boletines técnicos diversos)
Fluid Systems by UOP - 1985.

APENDICES

Apéndice A

Conceptos y definiciones importantes.

Membrana semipermeable: Tejido flexible, elástico y delgado (de origen animal, vegetal o sintético) que permite facilmente el paso de un solvente, pero rechaza o dificulta el flujo de solutos iónicos o moleculares que se encuentran disueltos en el solvente.

Osmosis: Proceso físico-químico natural que ocurre entre dos soluciones separadas por una membrana semipermeable y se manifiesta como el paso de solvente desde la solución de menor concentración hacia la de mayor concentración.

Presión Osmótica: presión hidráulica equivalente originada por el proceso osmótico, en relación al solvente puro.

Osmosis Inversa: Proceso físico-químico inducido que ocurre entre dos soluciones separadas por una membrana semipermeable y se manifiesta como el flujo de solvente desde la solución mas concentrada hacia la menos concentrada.

Desalación: Proceso de disminución del contenido total de sales disueltas en una solución acuosa.

Producto o Permeado: Solución con bajo contenido de sales que pasa a través de la membrana semipermeable durante el proceso de Osmosis Inversa.

Rechazo o Salmuera: Solución con un alto contenido de sales disueltas, que se obtiene como remanente del proceso de Osmosis Inversa.

Polarización de la concentración: Aumento significativo en la concentración de sales de la solución en la zona adyacente a la membrana.

Recuperación o Conversión: Porcentaje de la solución de alimentación que se recupera como permeado o producto.

Difusividad: Capacidad que tienen las moléculas o iones de moverse a través de un medio determinado para lograr una homogeneización de las concentraciones.

Pre-tratamiento: Operación mediante la cual se modifican las características del agua de alimentación antes del proceso de Osmosis Inversa, para evitar problemas de diversas índoles en las membranas.

Post-tratamiento: Operación mediante la cual se modifican las características del producto para hacerlo apto al consumo o aplicación para la que fué producido.

Fouling: Ensuciamiento de la membrana, producido por la deposición de sales, óxidos, coloides o materias orgánicas sobre la superficie de la membrana.

Capa hidrofóbica: Acumulación de grasas y aceites sobre la superficie de la membrana que repelen el agua, disminuyendo la productividad del proceso.

Telescopio: Deformación del elemento de membrana que se manifiesta como un alargamiento longitudinal de este, disminuyendo sus capacidades operativas y provocandole un daño irreversible.

Apéndice B.

Nomenclatura y unidades.

A menos que se especifique lo contrario en el texto, se mantiene la nomenclatura y unidades especificadas a continuación:

- A: Coeficiente de permeabilidad del agua ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{seg}$).
A₀: Coeficiente de permeabilidad del agua cuando no hay aplicación de presión sobre la membrana ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{seg}$).
B: Coeficiente de transporte de sales ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{seg}$).
C_a o C_f: Concentración de sales en la alimentación ($\text{g-mol}/\text{cm}^3$).
C_ar o C_fb: Concentración promedio de sales entre la alimentación y el rechazo ($\text{g-mol}/\text{cm}^3$).
C_m: Concentración de sales en la capa límite de la membrana ($\text{g-mol}/\text{cm}^3$).
C_p: Concentración de sales en el producto ($\text{g-mol}/\text{cm}^3$).
C_r: Concentración de sales en el rechazo ($\text{g-mol}/\text{cm}^3$).
C_v: Coeficiente de flujo para válvulas.
d_h: Diámetro hidráulico (m).
D: Difusividad (m^2/seg).
d_i: Diámetro interno (mm).
DN: Diámetro nominal (mm).
E_f: Eficiencia de los equipos de bombeo (%).
f: Factor de fricción.
g: Aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/seg}^2$).
h: Carga o pérdida de energía por fricción o accesorios (m.H₂O).
H: Energía total del fluido (m.H₂O).
k: Coeficiente de transporte de sales en la zona de alta presión (cm/seg).
K: Coeficiente de pérdida de carga por velocidad.
P_a: Presión externa de alimentación (atm).
P_p: Presión del producto (atm).

Q: Caudal (l/h o GPM).

Q_f: Caudal de alimentación (l/h).

Q_b: Caudal de rechazo (l/h).

Q_w: Caudal del producto (l/h o cm³/cm²*seg).

Q_s: Flujo de sales (g-mol/cm²*seg).

R: Número de Reynolds.

S: densidad relativa.

S_e: Número de Schmidt.

S_h: Número de Sherwood.

S_a: Esfuerzo admisible (kg/cm²).

T: Temperatura (°C).

v_{ef}: velocidad efectiva en los canales de la membrana (m/seg).

X: Fracción molar del solvente.

Letras griegas:

β : Relación entre diámetros mayor y menor en válvulas y cambios de sección de tuberías.

σ : Esfuerzo máximo a tracción (kg/cm²).

τ : Esfuerzo máximo a corte (kg/cm²).

Π_m : Presión osmótica de la solución en la capa límite de la membrana (atm).

Π_p : Presión osmótica de la solución producto (atm).

ρ : Densidad del fluido (kg/m³).

η : Viscosidad cinemática (m²/seg).

APENDICE C.

Tablas mencionadas en el Capítulo 3.

Ion	Ionic Radius Å	Cellulose Acetate Membrane						Aromatic Polyamide Membrane					
		E_s Kcal mole	Δ_s Å	E_t Kcal mole	Δ_t Å	$\left(-\frac{\Delta\Delta G}{RT}\right)_s$	E_s Kcal mole	Δ_s Å	E_t Kcal mole	Δ_t Å	$\left(-\frac{\Delta\Delta G}{RT}\right)_t$		
Monovalent Cations													
Li ⁺	0.60					5.77							-1.77
Na ⁺	0.95					5.79							-2.08
K ⁺	1.33	182.0	0.89	197.1	0.978	5.91							-2.11
Rb ⁺	1.48					5.86							-2.08
Cs ⁺	1.69					5.72							-2.04
Divalent Cations													
Mg ⁺⁺	0.65					4.73							
Ca ⁺⁺	0.99	746.3	1.01	760.0	1.03	5.22							
Sr ⁺⁺	1.13					5.25							
Ba ⁺⁺	1.35					5.23							
Monovalent Anions													
F ⁻	1.36					-4.91							+1.03
Cl ⁻	1.81	120.5	-0.20	114.1	-0.23	-4.42							+1.35
P ⁻	1.95					-4.25							+1.35
I ⁻	2.16					-3.98							+1.33

Membrane Material and Type	Δx (micron)	C_F (M/l)	k_s	$D_s \cdot 10^{+9}$ (cm ² /sec)	$(k_s D_s) \cdot 10^{+12}$ (cm ² /sec)	C_w (wt%)	$D_w \cdot 10^{+7}$ (cm ² /sec)	$(C_w D_w) \cdot 10^{+7}$ (g/cm·sec)	Ref.
Cellulose Acetate with 39.8 wt% acetyl; homogeneous, uniformly dense, and nonporous $\rho_m = 1.33$	30–105 30–105 30–105 30–105 28	1.81 0.85 0.27 0.09 —	0.037 0.035 0.038 0.032 —	— 0.94 — 1.26 —	— 32.9 — 40.3 300 (D.O.) ^a	— — — — 12.0 (0.16) ^b	— — — — 16 (D.O.)	— — — — 2.6 (D.O.)	Lonsdale, et al. 1965.
The same as above but heat treated at 80°C	18–32 32 18	0.85 0.85 0.85	0.029 — —	0.86 — —	24.9 710 (D.O.) 1200 (D.O.)	— — —	— — —	— 1.3 (D.O.) 2.4 (D.O.)	
Asymmetric CA membrane with 39.8 wt. % acetyl; dense skin layer $\rho_m = 1.33$	0.25 0.25 (100) ^c	0.02 0.77	— —	— —	325 (R.O.) 400 (R.O.)	60.0 (0.80) 60.0 (0.80)	3.3 (R.O.) 2.5 (R.O.)	4.1 (R.O.) 3.1 (R.O.)	
CA membrane with 40 wt.% acetyl, homogeneous	60.6	0.85	0.039	3.0	117	—	—	—	Lonsdale, et al. 1969.
CA membrane (type IIa) with 39.8 wt. % acetyl, homogeneous and heat treated at 80°C	23	0	—	—	—	(0.153)	3.45	0.53	Meares, et al. 1971.
CA membrane with 39.8 wt.% acetyl; uniformly dense, nonporous	~75 0.05 0.10 0.50 1.0	0.013 ^d 0.016 0.017 —	5.1 ^e (D.O.) — — 49.2 (D.O.)	86.8 (D.O.) — — 10.9	13.6 13.0 (0.16) 12.3 —	— — — —	— — — —	— — — —	Heyde, et al. 1975.
CA membrane with 39.8 wt.% acetyl; uniformly dense, nonporous (cont.)	~75 2.0 5.0 Avg. 0.017	0.022 — 1.3 (D.O.) —	2.9 (D.O.) 21.4 (D.O.)	— —	9.8 —	— —	— —	— —	
Aromatic Polyamide (AP) homogeneous nonporous $\rho_m = 1.25$	63.5 63.5	1.7 0.17	0.230 0.230	0.15 0.08	34.0 18.4	40.0 (0.49)	15.0	7.4	Frommer, et al. 1973.
Aromatic Polyamide (Nomex); homogeneous $\rho_m = 1.4$	10–20	0.17	0.025	—	—	17 (0.24)	—	—	Strathmann et al. 1977
Polyamide-Hydrazide (PA-6); homogeneous $\rho_m = 1.4$			0.056	—	—	21 (0.29)	—	—	
Polysulfone (PS); homogeneous $\rho_m = 1.24$			0.003	—	—	2 (0.025)	—	—	
Polyether-Polyamide (PC-6) mixed with 20 wt.% PVP, poly (vinylpyrrolidone), pore size = 8.5 Å $\rho_m = 1.33$	40	0.1	0.30	0.13	39.0	21 (0.28)	2.5	0.68	Shchrori, et al. 1976.
the same with 30% PVP pore size = 12.4 Å, $\rho_m = 1.24$	29	0.1	0.34	0.80	272	26 (0.33)	4.8	1.49	

Δx – Membrane thickness (μ); C_F – concentration of solution in contact (cm^2/sec) with the membrane (feed) (M/l); k_s – partition coefficient – (g salt/membrane)/(g salt/cc solution); D_s – diffusion coefficient of salt in the membrane cm^2/sec ; $(k_s D_s)$ – permeability of salt in the membrane either calculated by and D_s data or measured directly by osmosis or reverse osmosis experiments (cm^2/sec); C_w – water content of the membrane in equilibrium or saturated state (wt.%). To convert this to units of g/cc multiply by the density of the soaked membrane; D_w – diffusion coefficient of water in membrane (cm^2/sec); $(C_w D_w)$ – permeability of water in the membrane (g/cm·sec), either calculated by C_w and D_w data or measured directly in osmosis or reverse osmosis experiments.

^aPermeabilities and diffusivities that have been obtained in direct osmotic (D.O.) or reverse osmosis (R.O.) experiments. Otherwise the reported permeabilities are the calculated values from the independently measured solubilities and diffusivities using Eq. (2.10) and Eq. (2.12).

^bNumbers in parentheses are the equilibrium water content in units of g/cc-membrane. To convert wt.% values to concentration units of g/cc, values have been multiplied by the membrane density. For cellulose acetate membrane $\rho_m \approx 1.25\text{--}1.35$ and for polyamide membranes $\rho_m \approx 1.25\text{--}1.40$ have been used. C_w in units g/cc have been used in calculation of the water permeability.

^cTotal membrane thickness. In case of asymmetric membranes, the skin thickness (0.25 μ) is used in calculations.

^dGeometric mean value of independently measured anion and cation partition coefficients.

^eThese diffusivities were calculated using the measured permeabilities and the average values of partition coefficient (0.017).

Tabla 2.

Solubilidad, Difusividad y Permeabilidad en distintas membranas

APENDICE D.

Características Físico-químicas de las soluciones de NaCl-agua

PM (NaCl) = 58.4426	PM (H ₂ O) = 18.0154			Dens H ₂ O = 0.9971		@ 25 °C	
Conc. solución (ppm)	Conc. solución (mg/l)	Conc. molar NaCl (moles/cm^3)	Conc. molar H ₂ O (moles/cm^3)	Fracción Molar NaCl	Dens.molar solución (moles/cm^3)	Densidad solución (g/cm^3)	Viscosidad Cinemática (cm^2/seg)
1000	997.71	0.00001707	0.05532556	0.000309	0.05534263	0.9977	0.00896691
950	947.79	0.00001622	0.05532637	0.000293	0.05534259	0.9977	0.00896649
900	897.88	0.00001536	0.05532719	0.000278	0.05534255	0.9976	0.00896607
850	847.96	0.00001451	0.05532800	0.000262	0.05534251	0.9976	0.00896565
800	798.06	0.00001366	0.05532882	0.000247	0.05534247	0.9976	0.00896523
750	748.15	0.00001280	0.05532963	0.000231	0.05534243	0.9975	0.00896481
700	698.25	0.00001195	0.05533045	0.000216	0.05534239	0.9975	0.00896439
650	648.35	0.00001109	0.05533126	0.000200	0.05534235	0.9975	0.00896397
600	598.46	0.00001024	0.05533207	0.000185	0.05534231	0.9974	0.00896355
550	548.57	0.00000939	0.05533289	0.000170	0.05534227	0.9974	0.00896313
500	498.68	0.00000853	0.05533370	0.000154	0.05534223	0.9974	0.00896271
450	448.79	0.00000768	0.05533451	0.000139	0.05534219	0.9973	0.00896229
400	398.91	0.00000683	0.05533533	0.000123	0.05534215	0.9973	0.00896187
350	349.04	0.00000597	0.05533614	0.000108	0.05534211	0.9973	0.00896145
300	299.16	0.00000512	0.05533695	0.000093	0.05534207	0.9972	0.00896103
250	249.30	0.00000427	0.05533776	0.000077	0.05534203	0.9972	0.00896061
200	199.43	0.00000341	0.05533858	0.000062	0.05534199	0.9971	0.00896019
150	149.57	0.00000256	0.05533939	0.000046	0.05534195	0.9971	0.00895977
100	99.71	0.00000171	0.05534020	0.000031	0.05534190	0.9971	0.00895935

PM (NaCl) =	58.4428	PM (H2O) =	18.0154			Dens H2O =	0.9971	'@ 25 C
Conc. solución (ppm)	Conc. solución (mg/l)	Conc. molar NaCl (moles/cm^3)	Conc. molar H2O (moles/cm^3)	Fracción Molar NaCl	Dens.molar solución (moles/cm^3)	Densidad solución (g/cm^3)	Viscosidad Cinemática (cm^2/seg)	
50000	51612.09	0.00088312	0.05443286	0.016224	0.05531598	1.0322	0.00937809	
49500	51078.53	0.00087399	0.05444292	0.016053	0.05531691	1.0319	0.00937390	
49000	50545.32	0.00086487	0.05445295	0.015883	0.05531782	1.0315	0.00936970	
48500	50012.46	0.00085575	0.05446297	0.015713	0.05531872	1.0312	0.00936551	
48000	49479.95	0.00084664	0.05447297	0.015542	0.05531961	1.0308	0.00936131	
47500	48947.80	0.00083753	0.05448295	0.015372	0.05532049	1.0305	0.00935712	
47000	48416.00	0.00082843	0.05449291	0.015203	0.05532135	1.0301	0.00935292	
46500	47884.55	0.00081934	0.05450285	0.015033	0.05532219	1.0298	0.00934872	
46000	47353.45	0.00081025	0.05451277	0.014864	0.05532303	1.0294	0.00934453	
45500	46822.71	0.00080117	0.05452267	0.014694	0.05532385	1.0291	0.00934033	
45000	46292.32	0.00079210	0.05453256	0.014525	0.05532465	1.0287	0.00933614	
44500	45762.28	0.00078303	0.05454242	0.014356	0.05532545	1.0284	0.00933194	
44000	45232.59	0.00077396	0.05455226	0.014188	0.05532622	1.0280	0.00932775	
43500	44703.25	0.00076491	0.05456208	0.014019	0.05532699	1.0277	0.00932355	
43000	44174.27	0.00075585	0.05457189	0.013851	0.05532774	1.0273	0.00931935	
42500	43645.64	0.00074681	0.05458167	0.013682	0.05532848	1.0270	0.00931516	
42000	43117.36	0.00073777	0.05459144	0.013514	0.05532921	1.0266	0.00931096	
41500	42589.44	0.00072874	0.05460118	0.013347	0.05532992	1.0263	0.00930677	
41000	42061.87	0.00071971	0.05461091	0.013179	0.05533062	1.0259	0.00930257	
40500	41534.65	0.00071069	0.05462061	0.013011	0.05533130	1.0255	0.00929837	
40000	41007.78	0.00070167	0.05463030	0.012844	0.05533197	1.0252	0.00929418	
39500	40481.26	0.00069266	0.05463997	0.012677	0.05533263	1.0248	0.00928998	
39000	39955.10	0.00068366	0.05464961	0.012510	0.05533327	1.0245	0.00928579	
38500	39429.29	0.00067466	0.05465924	0.012343	0.05533390	1.0241	0.00928159	
38000	38903.83	0.00066567	0.05466885	0.012176	0.05533452	1.0238	0.00927740	
37500	38378.72	0.00065669	0.05467844	0.012010	0.05533512	1.0234	0.00927320	
37000	37853.97	0.00064771	0.05468800	0.011844	0.05533571	1.0231	0.00926900	
36500	37329.57	0.00063874	0.05469755	0.011678	0.05533629	1.0227	0.00926481	
36000	36805.52	0.00062977	0.05470708	0.011512	0.05533685	1.0224	0.00926061	
35500	36281.82	0.00062081	0.05471659	0.011346	0.05533740	1.0220	0.00925642	
35000	35758.48	0.00061185	0.05472608	0.011180	0.05533794	1.0217	0.00925222	
34500	35235.49	0.00060291	0.05473556	0.011015	0.05533846	1.0213	0.00924802	
34000	34712.85	0.00059396	0.05474501	0.010850	0.05533897	1.0210	0.00924383	
33500	34190.56	0.00058503	0.05475444	0.010685	0.05533946	1.0206	0.00923963	
33000	33668.62	0.00057610	0.05476385	0.010520	0.05533995	1.0203	0.00923544	
32500	33147.04	0.00056717	0.05477324	0.010355	0.05534041	1.0199	0.00923124	
32000	32625.81	0.00055825	0.05478262	0.010190	0.05534087	1.0196	0.00922705	
31500	32104.93	0.00054934	0.05479197	0.010026	0.05534131	1.0192	0.00922285	
31000	31584.41	0.00054043	0.05480131	0.009862	0.05534174	1.0189	0.00921865	
30500	31064.23	0.00053153	0.05481062	0.009698	0.05534215	1.0185	0.00921446	
30000	30544.41	0.00052264	0.05481991	0.009534	0.05534255	1.0181	0.00921026	

Cálculo del coeficiente de transferencia de masa.

Membrana: SW30HR-4040

Concentracion de la solucion (ppm)	42000	42250	42500	42750	43000
Densidad (kg/m ³)	1026.60393	1026.78011	1026.95630	1027.13248	1027.3086
Caudal (m ³ /seg)	0.00041617	0.00041617	0.00041617	0.00041617	0.00041617
Ancho membrana (m)	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000
Altura canales (m)	0.00077000	0.00077000	0.00077000	0.00077000	0.00077000
Porosidad	0.89000000	0.89000000	0.89000000	0.89000000	0.89000000
Area efectiva (m ²)	0.00232317	0.00232317	0.00232317	0.00232317	0.00232317
Velocidad efectiva (m/seg)	0.17914113	0.17914113	0.17914113	0.17914113	0.17914113
Area esp. espaciador (1/m)	0.01040000	0.01040000	0.01040000	0.01040000	0.01040000
Diametro hidraulico (m)	0.00137029	0.00137029	0.00137029	0.00137029	0.00137029
Viscosidad dinamica (kg/m ² seg)	9.558670E-04	9.562464E-04	9.566260E-04	9.570056E-04	9.573853E-04
Viscosidad cinematica (m ² /seg)	9.310962E-07	9.313060E-07	9.315158E-07	9.317256E-07	9.319353E-07
Difusividad (m ² /seg)	1.475996E-09	1.476089E-09	1.476182E-09	1.476275E-09	1.476368E-09
Numero de Reynolds	263.6408	263.5814	263.5221	263.4627	263.403
Numero de Schmidt	630.8258	630.9281	631.0304	631.1327	631.235
Numero de Sherwood	42.7835	42.7769	42.7702	42.7635	42.756
Coeficiente de transporte (cm/seg)	0.00460840	0.00460797	0.00460754	0.00460711	0.00460666

Concentracion de la solucion (ppm)

Concentracion de la solucion (ppm)	43250	43500	43750	44000	44250
Densidad (kg/m ³)	1027.48485	1027.66103	1027.83721	1028.01340	1028.1895
Caudal (m ³ /seg)	0.00041617	0.00041617	0.00041617	0.00041617	0.00041617
Ancho membrana (m)	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000
Altura canales (m)	0.00077000	0.00077000	0.00077000	0.00077000	0.00077000
Porosidad	0.89000000	0.89000000	0.89000000	0.89000000	0.89000000
Area efectiva (m ²)	0.00232317	0.00232317	0.00232317	0.00232317	0.00232317
Velocidad efectiva (m/seg)	0.17914113	0.17914113	0.17914113	0.17914113	0.17914113
Area esp. espaciador (1/m)	0.01040000	0.01040000	0.01040000	0.01040000	0.01040000
Diametro hidraulico (m)	0.00137029	0.00137029	0.00137029	0.00137029	0.00137029
Viscosidad dinamica (kg/m ² seg)	9.577650E-04	9.581448E-04	9.585247E-04	9.589047E-04	9.592847E-04
Viscosidad cinematica (m ² /seg)	9.321451E-07	9.323549E-07	9.325647E-07	9.327745E-07	9.329843E-07
Difusividad (m ² /seg)	1.476462E-09	1.476555E-09	1.476648E-09	1.476741E-09	1.476834E-09
Numero de Reynolds	263.3442	263.2849	263.2257	263.1665	263.1073
Numero de Schmidt	631.3372	631.4395	631.5417	631.6439	631.746
Numero de Sherwood	42.7501	42.7434	42.7367	42.7300	42.7233
Coeficiente de transporte (cm/seg)	0.00460625	0.00460582	0.00460539	0.00460496	0.00460455

Membrana: TFC 1020SS	36000	36250	36500	36750	37000
Concentracion de la solucion (ppm)					
Densidad (kg/m^3)	1022.37552	1022.55170	1022.72788	1022.90407	1023.08025
Caudal (m^3/seg)	0.00054353	0.00054353	0.00054353	0.00054353	0.00054353
Ancho membrana (m)	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000
Altura canales (m)	0.00082000	0.00082000	0.00082000	0.00082000	0.00082000
Porosidad	0.88000000	0.88000000	0.88000000	0.88000000	0.88000000
Area efectiva (m^2)	0.00244622	0.00244622	0.00244622	0.00244622	0.00244622
Velocidad efectiva (m/seg)	0.22219163	0.22219163	0.22219163	0.22219163	0.22219163
Area esp. espaciador (1/m)	0.00980000	0.00980000	0.00980000	0.00980000	0.00980000
Diametro hidraulico (m)	0.00144285	0.00144285	0.00144285	0.00144285	0.00144285
Viscosidad dinamica (kg/m*s seg)	9.467823E-04	9.471600E-04	9.475377E-04	9.479156E-04	9.482935E-04
Viscosidad cinematica (m^2/seg)	9.260612E-07	9.262710E-07	9.264808E-07	9.266906E-07	9.269004E-07
Difusividad (m^2/seg)	1.475000E-09	1.475000E-09	1.475000E-09	1.475000E-09	1.475000E-09
Numero de Reynolds	346.1858	346.1074	346.0290	345.9507	345.8724
Numero de Schmidt	627.8381	627.9803	628.1226	628.2648	628.4070
Numero de Sherwood	54.2339	54.2262	54.2186	54.2109	54.2032
Coeficiente de transporte (cm/seg)	0.00554424	0.00554345	0.00554267	0.00554188	0.00554110

Concentracion de la solucion (ppm)	37250	37500	37750	38000	38250
Densidad (kg/m^3)	1023.25644	1023.43262	1023.60880	1023.78499	1023.96117
Caudal (m^3/seg)	0.00054353	0.00054353	0.00054353	0.00054353	0.00054353
Ancho membrana (m)	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000	3.39000000
Altura canales (m)	0.00082000	0.00082000	0.00082000	0.00082000	0.00082000
Porosidad	0.88000000	0.88000000	0.88000000	0.88000000	0.88000000
Area efectiva (m^2)	0.00244622	0.00244622	0.00244622	0.00244622	0.00244622
Velocidad efectiva (m/seg)	0.22219163	0.22219163	0.22219163	0.22219163	0.22219163
Area esp. espaciador (1/m)	0.00980000	0.00980000	0.00980000	0.00980000	0.00980000
Diametro hidraulico (m)	0.00144285	0.00144285	0.00144285	0.00144285	0.00144285
Viscosidad dinamica (kg/m*s seg)	9.486714E-04	9.490495E-04	9.494276E-04	9.498058E-04	9.501841E-04
Viscosidad cinematica (m^2/seg)	9.271102E-07	9.273200E-07	9.275297E-07	9.277395E-07	9.279493E-07
Difusividad (m^2/seg)	1.475000E-09	1.474319E-09	1.474412E-09	1.474505E-09	1.474598E-09
Numero de Reynolds	345.7941	345.7159	345.6377	345.5596	345.4814
Numero de Schmidt	628.5493	628.9820	629.0845	629.1871	629.2896
Numero de Sherwood	54.1955	54.1941	54.1856	54.1771	54.1686
Coeficiente de transporte (cm/seg)	0.00554031	0.00553761	0.00553709	0.00553657	0.00553605

APENDICE E.

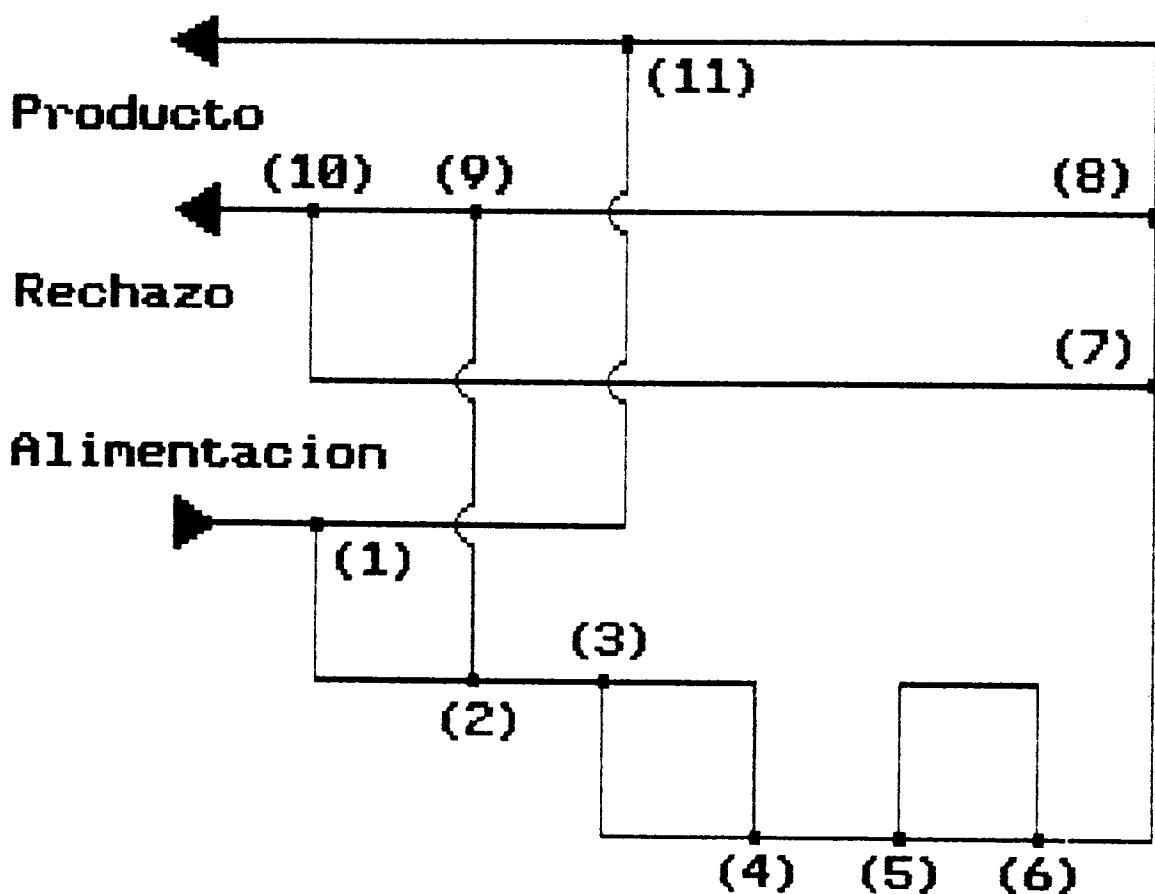
Comportamiento de la membrana a distintos valores de pH

pH de alimentación	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
Cf (mg/l)	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48
Cb (mg/l)	43420.53	42777.85	42237.28	41774.51	41372.83
Cfb (mg/l)	39589.51	39268.16	38997.88	38766.50	38565.65
Cfb (g-mol/cm^3)	6.774061E-04	6.719076E-04	6.672829E-04	6.633237E-04	6.598872E-04
Cfb (ppm)	38651.44	38345.99	38088.97	37868.86	37677.76
k1 (cm/seg)	0.004386	0.004415	0.004440	0.004462	0.004481
Cw (g-mol/cm^3)	9.522612E-04	9.220683E-04	8.971075E-04	8.760514E-04	8.580088E-04
Cw (ppm)	53754.19	52110.93	50749.51	49599.01	48611.66
Cp (mg/l)	192.01	198.70	205.52	212.44	219.44
Cp (g-mol/cm^3)	3.285419E-06	3.399853E-06	3.516581E-06	3.635014E-06	3.754758E-06
Cp (ppm)	192.55	199.26	206.10	213.04	220.06
Recup. (%)	19.74%	18.47%	17.37%	16.40%	15.55%
Rechazo (%)	99.52%	99.49%	99.47%	99.45%	99.43%
Pf (atm)	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370
Pp (atm)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
CPfb (atm)	0.3075	0.3112	0.3144	0.3173	0.3198
Wfb (atm)	44.3495	42.9192	41.7380	40.7424	39.8899
Wp (atm)	0.1504	0.1556	0.1609	0.1664	0.1718
T (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Qw (l/d)	7472.08	6989.98	6573.48	6208.62	5885.48
Qw (l/h)	311.34	291.25	273.89	258.69	245.23
Qw (cm^3/seg)	86.48	80.90	76.08	71.86	68.12
Area (cm^2)	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00
Qw (cm^3/cm^2*seg)	1.493651E-03	1.397280E-03	1.314023E-03	1.241088E-03	1.176495E-03
Qw (l/m^2*h)	53.77	50.30	47.30	44.68	42.35
A (cm^3/cm^2*seg*atm)	1.644266E-04	1.328506E-04	1.122843E-04	9.770622E-05	8.676886E-05
Qs (g-mol/cm^2*seg)	4.907270E-09	4.750548E-09	4.620869E-09	4.511372E-09	4.417453E-09
B (cm^3/cm^2*seg)	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06
Qf (l/h)	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08
Qb (l/h)	1265.75	1285.83	1303.19	1318.39	1331.85

pH de alimentación	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8
Cf (mg/l)	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48
Cb (mg/l)	41020.18	40707.63	40428.40	40177.20	39949.85
Cfb (mg/l)	38389.33	38233.06	38093.44	37967.84	37854.17
Cfb (g-mol/cm^3)	6.568701E-04	6.541962E-04	6.518073E-04	6.496582E-04	6.477131E-04
Cfb (ppm)	37509.94	37361.17	37228.23	37108.62	37000.34
k1 (cm/seg)	0.004498	0.004514	0.004528	0.004541	0.004552
Cw (g-mol/cm^3)	8.423470E-04	8.286053E-04	8.164384E-04	8.055813E-04	7.958270E-04
Cw (ppm)	47753.47	46999.63	46331.50	45734.76	45198.21
Cp (mg/l)	226.50	233.60	240.75	247.93	255.14
Cp (g-mol/cm^3)	3.875534E-06	3.997139E-06	4.119422E-06	4.242268E-06	4.365586E-06
Cp (ppm)	227.14	234.26	241.43	248.62	255.85
Recup. (%)	14.79%	14.10%	13.48%	12.91%	12.39%
Rechazo (%)	99.41%	99.39%	99.37%	99.35%	99.33%
Pf (atm)	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370
Pp (atm)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
CPfb (atm)	0.3220	0.3241	0.3259	0.3276	0.3292
¶fb (atm)	39.1504	38.5019	37.9280	37.4161	36.9563
¶p (atm)	0.1774	0.1829	0.1885	0.1941	0.1998
T (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Qw (l/d)	5596.72	5336.73	5101.14	4886.47	4689.91
Qw (l/h)	233.20	222.36	212.55	203.60	195.41
Qw (cm^3/seg)	64.78	61.77	59.04	56.56	54.28
Area (cm^2)	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00
Qw (cm^3/cm^2*seg)	1.118772E-03	1.066801E-03	1.019707E-03	9.767942E-04	9.375017E-04
Qw (l/m^2*h)	40.28	38.40	36.71	35.16	33.75
A (cm^3/cm^2*seg*atm)	7.822004E-05	7.132954E-05	6.564126E-05	6.085479E-05	5.676376E-05
Qs (g-mol/cm^2*seg)	4.335839E-09	4.264150E-09	4.200601E-09	4.143823E-09	4.092744E-09
B (cm^3/cm^2*seg)	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06
Qf (l/h)	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08
Qb (l/h)	1343.89	1354.72	1364.54	1373.48	1381.67

pH de alimentación	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8
Cf (mg/l)	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48
Cb (mg/l)	39742.99	39553.84	39380.17	39220.13	39072.12
Cfb (mg/l)	37750.73	37656.16	37569.33	37489.30	37415.30
Cfb (g-mol/cm^3)	6.459433E-04	6.443250E-04	6.428393E-04	6.414700E-04	6.402038E-04
Cfb (ppm)	36901.81	36811.70	36728.96	36652.70	36582.17
k1 (cm/seg)	0.004563	0.004573	0.004583	0.004591	0.004599
Cw (g-mol/cm^3)	7.870109E-04	7.789937E-04	7.716738E-04	7.649634E-04	7.587878E-04
Cw (ppm)	44712.91	44271.29	43867.85	43497.79	43157.06
Cp (mg/l)	262.37	269.62	276.89	284.17	291.47
Cp (g-mol/cm^3)	4.489306E-06	4.613367E-06	4.737725E-06	4.862343E-06	4.987187E-06
Cp (ppm)	263.10	270.37	277.66	284.96	292.27
Recup. (%)	11.91%	11.47%	11.06%	10.68%	10.33%
Rechazo (%)	99.31%	99.28%	99.26%	99.24%	99.22%
Pf (atm)	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370
Pp (atm)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
CPfb (atm)	0.3306	0.3319	0.3331	0.3343	0.3353
Mfb (atm)	36.5409	36.1633	35.8186	35.5028	35.2121
Mp (atm)	0.2055	0.2111	0.2168	0.2225	0.2282
T (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Qw (l/d)	4509.15	4342.24	4187.61	4043.92	3910.01
Qw (l/h)	187.88	180.93	174.48	168.50	162.92
Qw (cm^3/seg)	52.19	50.26	48.47	46.80	45.25
Area (cm^2)	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00
Qw (cm^3/cm^2*seg)	9.013678E-04	8.680029E-04	8.370939E-04	8.083708E-04	7.816021E-04
Qw (l/m^2*h)	32.45	31.25	30.14	29.10	28.14
A (cm^3/cm^2*seg*atm)	5.322147E-05	5.011909E-05	4.737758E-05	4.493546E-05	4.274453E-05
Qs (g-mol/cm^2*seg)	4.046516E-09	4.004416E-09	3.965921E-09	3.930576E-09	3.897996E-09
B (cm^3/cm^2*seg)	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06
Qt (l/h)	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08
Qb (l/h)	1389.20	1396.16	1402.60	1408.59	1414.17

pH de alimentación	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8
Cf (mg/l)	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48	35758.48
Cb (mg/l)	39698.11	38807.04	38687.84	38576.36	38471.85
Cfb (mg/l)	37728.29	37282.76	37223.16	37167.42	37115.16
Cfb (g-mol/cm^3)	6.455593E-04	6.379359E-04	6.369161E-04	6.359623E-04	6.350682E-04
Cfb (ppm)	36880.43	36455.83	36399.01	36345.87	36296.05
k1 (cm/seg)	0.004606	0.004614	0.004621	0.004627	0.004633
Cw (g-mol/cm^3)	7.608043E-04	7.477999E-04	7.428892E-04	7.383132E-04	7.340384E-04
Cw (ppm)	43268.33	42550.40	42279.10	42026.20	41789.87
Cp (mg/l)	301.83	306.09	313.42	320.75	328.10
Cp (g-mol/cm^3)	5.164475E-06	5.237454E-06	5.362833E-06	5.488355E-06	5.614003E-06
Cp (ppm)	302.66	306.94	314.28	321.64	329.00
Recup. (%)	10.00%	9.69%	9.40%	9.13%	8.87%
Rechazo (%)	99.20%	99.18%	99.16%	99.14%	99.12%
Pf (atm)	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370	54.4370
Pp (atm)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
CPfb (atm)	0.0015	0.3372	0.3381	0.3390	0.3397
ffb (atm)	35.3070	34.6951	34.4642	34.2490	34.0480
fp (atm)	0.2364	0.2397	0.2454	0.2512	0.2569
T (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Qw (l/d)	3785.00	3667.67	3557.63	3454.10	3356.52
Qw (l/h)	157.71	152.82	148.23	143.92	139.85
Qw (cm^3/seg)	43.81	42.45	41.18	39.98	38.85
Area (cm^2)	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00	57900.00
Qw (cm^3/cm^2*seg)	7.566126E-04	7.331582E-04	7.111613E-04	6.904669E-04	6.709601E-04
Qw (l/m^2*h)	27.24	26.39	25.60	24.86	24.15
A (cm^3/cm^2*seg*atm)	4.119738E-05	3.897105E-05	3.733292E-05	3.583174E-05	3.445050E-05
Qs (g-mol/cm^2*seg)	3.907507E-09	3.839882E-09	3.813839E-09	3.789527E-09	3.766772E-09
B (cm^3/cm^2*seg)	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06	5.171123E-06
Qf (l/h)	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08	1577.08
Qb (l/h)	1419.38	1424.26	1428.85	1433.16	1437.23

APENDICE F.**Cálculo de las pérdidas de la unidad desaladora**

Determinacion de los tramos para el calculo de las perdidas.

**RESUMEN DE LAS ECUACIONES EMPLEADAS
PARA LA DETERMINACION DE LAS PERDIDAS
EN EL SISTEMA DE MANEJO DE FLUIDOS**

Las perdidas originadas por la friccion fueron calculadas mediante la determinacion del coeficiente K, para cada componente, que multiplica al termino de carga por velocidad, expresado en la relacion de Bernoulli:

$$H = P/\delta + K*v^2 / 2*g$$

empleandose las siguientes ecuaciones; extraidas en su mayoria, del libro "Flujo de Fluidos en valvulas, accesorios y tuberias", CRANE (ver bibliografia).

Componentes	COEFICIENTE "K"
Tuberia	$f*l/d$
Niple	$f*(38,1\text{ mm})/d$
Codo	$30*f$
Tee de 90° (flujo directo)	$20*f$
Tee de 90° (flujo desviado)	$60*f$
Tee de 45° (flujo directo)	$36*f$
Tee de 45° (flujo desviado)	$76*f$

Componentes	COEFICIENTE "K"
Tee de 90° con reduccion (flujo directo)	20*f
Tee de 90° con reduccion (flujo desviado)	$(1-\beta^2)2/\beta^4$ $\beta=d_1/d_2$
Valvula de reteccion	600*f
Valvula solenoide	340*f
Union	5*f
Entrada en el tanque de Producto y contenedor de la membrana	0,5*f
Salida del tanque de Producto y contenedor de la membrana	1,0*f

Componentes	COEFICIENTE "K"
Reducción (estrechamiento)	$(1-\beta_2) * \sqrt{\sin(\theta/2)} / \beta_4$ $\theta = 2 \cdot \tan^{-1}((d_2-d_1)/2 \cdot 25,4)$
Reducción (ensanchamiento)	$(1-\beta_2)^2 / \beta_4$

Ademas de estas ecuaciones se realizo la deduccion de una relacion para la determinacion de los caudales, en lineas de tuberias multiples, como es el caso de la distribucion del flujo para los filtros de cartucho y la linea de reflujo en la bomba de alta presion. Aplicando el principio de continuidad:

$$h_a = h_b \quad (1)$$

y

$$Q = Q_a + Q_b \quad (2)$$

y desarrolando el sistema de ecuaciones planteado al sustituir las ecuaciones de perdidas en funcion del caudal:

$$h = k * v^2 / 2 * g \quad (3)$$

$$v = 4 * Q / \pi * d^2 \quad (4)$$

sustituyendo la ecuacion (4) en (3) y realizando la igualacion de la ecuacion (1), se obtiene:

$$\frac{k_a^2}{a^2} Q_a^2 = \frac{k_b^2}{b^2} Q_b^2 \quad (5)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones (2) y (5), se obtiene la relacion final, utilizada en la determinacion de flujos:

$$Q_a = Q / ((\sqrt{k_a} / \sqrt{k_b}) - 1)$$

$$Q_b = Q - Q_a$$

TRAMO	COMPONENTES
A - 1	<ul style="list-style-type: none"> - Union de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Valvula solenoide, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Tee de PVC (flujo directo), 3/4".
1 - 2	<ul style="list-style-type: none"> - Tubo de PVC (125 mm.), 3/4". - Bomba centrifuga de 1/2 HP. - Niple de PVC, 3/4". - Valvula de bola, 3/4". - Tubo de PVC (30 mm.), 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4".
2 - 3	<ul style="list-style-type: none"> - Filtro autolavable (flujo de producto). - Niple de PVC, 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (150 mm.), 3/4". - Union de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4".
3 - 4 (a)	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de PVC (flujo directo), 3/4". - Tubo de PVC (100 mm.), 3/4". - Union de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Reducción de PVC, 3/4" - 1/2". - Niple de PVC, 1/2". - Filtro de cartucho. - Niple de PVC, 1/2". - Filtro de cartucho. - Niple de PVC, 1/2". - Reducción de PVC, 3/4" - 1/2". - Niple de PVC, 3/4". - Tee de PVC (flujo desviado), 3/4".

3 - 4 (b)	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de PVC (flujo desviado), 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Reducción de PVC, 3/4" - 1/2". - Niple de PVC, 1/2". - Filtro de cartucho. - Niple de PVC, 1/2". - Filtro de cartucho. - Niple de PVC, 1/2". - Reducción de PVC, 3/4" - 1/2". - Niple de PVC, 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (140 mm.), 3/4". - Tee de PVC (flujo directo), 3/4".
4 - 5	<ul style="list-style-type: none"> - Tubo de PVC (50 mm.), 3/4". - Unión de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (95 mm.), 3/4". - Tee de PVC para dosificador, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (50 mm.), 3/4". - Tee de PVC para sensor, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Válvula de retención, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Tee de PVC (flujo directo), 3/4".
5 - 6 (a)	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de 45° de Ac. Inox. (flujo directo), 1/2". - Niple de Ac. Inox., 1/2". - Reducción de Ac. Inox., 1/2" - 1/4". - Niple de Ac. Inox., 1/4". - Codo de 90° de Ac. Inox., 1/4". - Niple de Ac. Inox., 1/4". - Válvula de bola, 1/4". - Niple de PVC de 1/4". - Unión de PVC, 1/4". - Tubo de PVC (390 mm.), 1/4". - Codo de 90° de PVC, 1/4". - Tubo de PVC (190 mm.), 1/4". - Tee con reducción de PVC (flujo desviado), 3/4" - 1/4".

5 - 6 (b)	<ul style="list-style-type: none"> - Niple de PVC, 3/4". - Tee de PVC para sensor, 3/4". - Tubo de PVC (175 mm.), 3/4". - Bomba reciprocedora, ent. 3/4", sal. 1/2". - Niple de Ac. Inox., 1/2". - Codo de 90° de Ac. Inox., 1/2". - Niple de Ac. Inox., 1/2".
6 - 7	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de 45° de Ac. Inox. (flujo desviado), 1/2". - Tubo de Ac. Inox. (70 mm.), 1/2".
7 - 9	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de 45° de Ac. Inox. (flujo desviado), 1/2". - Niple de Ac. Inox., 1/2". - Disco de ruptura, 1/2". - Válvula de seguridad, ent. 1/2", sal. 3/4". - Tubo de PVC (700 mm.), 3/4". - Unión de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (280 mm.), 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (120 mm.), 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (250 mm.), 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Tubo de PVC (250 mm.), 3/4". - Tee de PVC (flujo directo), 3/4".
7 - 8	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de 45° de Ac. Inox. (flujo directo), 1/2". - Tubo de Ac. Inox. (150 mm.), 1/2". - Unión de Ac. Inox., 1/2". - Niple de Ac. Inox., 1/2". - Codo de 90° de Ac. Inox., 1/2". - Tubo de Ac. Inox. (150 mm.), 1/2".

	<ul style="list-style-type: none"> - Modulo de la membrana (flujo de rechazo). - Tubo de Ac. Inox. (150 mm.), 1/2". - Codo de 90° de Ac. Inox., 1/2". - Niple de Ac. Inox., 1/2". - Union de Ac. Inox., 1/2". - Niple de Ac. Inox., 1/2". - Tee de Ac. Inox. para sensor, 1/2". - Valvula de reduccion, 1/2". - Reducción de Ac. Inox., 3/4" - 1/2". - Niple de PVC, 3/4". - Valvula de bola, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Tee de PVC para sensor, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Tee con reduccion de PVC (flujo directo), 3/4" - 1/4".
8 - 9	<ul style="list-style-type: none"> - Niple de PVC, 3/4". - Tee de PVC (flujo desviado), 3/4".
10 - R	<ul style="list-style-type: none"> - Niple de PVC, 3/4". - Union de PVC, 3/4".
8 - 11	<ul style="list-style-type: none"> - Modulo de la membrana (flujo de producto). - Tubo de PVC (150 mm.), 1/8". - Codo de 90°, 1/8". - Niple de PVC, 1/8". - Codo de 90°, 1/8". - Niple de PVC, 1/8". - Union de PVC, 1/8". - Tubo de PVC (250 mm.), 1/8". - Reducción de PVC, 1/4" - 1/8". - Niple de PVC, 1/4". - Tee de PVC para sensor, 1/4". - Niple de PVC, 1/4". - Tee de PVC para sensor, 1/4". - Niple de PVC, 1/4". - Reducción de PVC, 3/4" - 1/4". - Niple de PVC, 3/4".

11 - P

- Tee de PVC (flujo desviado), 3/4".
- Tubo de PVC (580 mm.), 3/4".
- Union de PVC, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Conección del tanque, 3/4".
- Tanque de Polipropileno (85 lts.).
- Conección del tanque, 1/8".
- Niple de PVC, 1/8".
- Codo de PVC, 1/8".
- Tubo de PVC (500 mm.), 1/8".
- Codo de 90° de PVC, 1/8".
- Niple de PVC, 1/8".
- Union de PVC, 1/8".

11 - 1

- Tee de PVC (flujo desviado), 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Valvula Solenoide, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Tee de PVC (flujo desviado), 3/4".

Z - 9

- Filtro autolavable (flujo de lavado).
- Niple de PVC, 1/8".
- Codo de 90° de PVC, 1/8".
- Tubo de PVC (150 mm.), 1/8".
- Tee con reducción de PVC (flujo desviado), 3/4" - 1/8".

IRAMO A - 1

	Union	Niple	V. Solen.	Niple	Tubo	Iee
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44
Friction (f)	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230
Coeficiente (k)	0.1151	0.0418	7.8290	0.0418	0.1101	0.4605
Longitud l(mm.)	-	38.10	-	38.10	100.40	-
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (β)	-	-	-	-	-	-
Teta (θ)	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00966	0.00351	0.65703	0.00351	0.00924	0.03865
						Total
						0.72159

IRAMO 1 - 2

	Niple	Iee	Niple	Tubo	Codo	Niple
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44
Friction (f)	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230
Coeficiente (k)	0.0418	0.4605	0.0418	0.2471	0.6908	0.0418
Longitud l(mm.)	38.10	-	38.10	225.40	-	38.10
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (β)	-	-	-	-	-	-
Teta (θ)	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00351	0.46053	0.00351	0.02074	0.05797	0.00351
						Total
						0.54976

IRAMO 2 - 3

	Filtro	Niple	Codo	Tubo	Union	Niple
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44
Friction (f)	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230
Coeficiente (k)	51.39	0.0418	0.6908	0.1923	0.1151	0.0418
Longitud l(mm.)	-	38.10	-	175.40	-	38.10
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (β)	-	-	-	-	-	-
Teta (θ)	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	4.31319	0.00351	0.05797	0.01614	0.00966	0.00351
						Total
						4.40398

TRAMO 3 - 4 (a)

	Tee	Lubo	Union	Niple	Codo	Niple	Reduccion	Niple
Caudal Q(lts/h)	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00
Velocidad v(m/s)	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	1.13
Numero Reynolds (R)	14868.22	14868.22	14868.22	14868.22	14868.22	14868.22	-	19761.56
Friccion (f)	0.0245	0.0245	0.0245	0.0245	0.0245	0.0245	-	0.0240
Coeficiente (k)	0.4903	0.1454	0.1226	0.0445	0.7354	0.0445	0.2161	0.0579
Lonitud l(mm.)	-	125.40	-	38.10	-	38.10	-	38.10
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	15.80
Beta (β)	-	-	-	-	-	-	0.75	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	-	11.69	-
Perdida dh(mts.)	0.01029	0.00307	0.00257	0.00093	0.01543	0.00093	0.00453	0.00379

TRAMO 3 - 4 (a)

	Filtro	Niple	Filtro	Niple	Reduccion	Niple	Tee	
Caudal Q(lts/h)	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	
Velocidad v(m/s)	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	0.64	0.64	
Numero Reynolds (R)	19761.56	19761.56	19761.56	19761.56	-	14868.22	14868.22	
Friccion (f)	0.0240	0.0240	0.0240	0.0240	-	0.0245	0.0245	
Coeficiente (k)	53.6212	0.0579	53.6212	0.0579	0.1883	0.0445	1.4708	
Lonitud l(mm.)	-	38.10	-	38.10	-	38.10	-	
Diametro d1(mm.)	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80	21.00	21.00	
Beta (β)	-	-	-	-	1.33	-	-	
Ieta (θ)	-	-	-	-	11.69	-	-	
Perdida dh(mts.)	3.51079	0.00379	3.51079	0.00379	0.01233	0.00093	0.03086	7.11483

TRAMO 3 - 4 (b)

	Tee	Niple	Reduccion	Niple	Filtro	Niple	Filtro	Niple
Caudal Q(lts/h)	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00
Velocidad v(m/s)	0.64	0.64	0.64	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
Numero Reynolds (R)	14868.22	14868.22	-	19761.56	19761.56	19761.56	19761.56	19761.56
Friccion (f)	0.0245	0.0245	-	0.0240	0.0240	0.0240	0.0240	0.0240
Coeficiente (k)	1.4708	0.0445	0.2161	0.0579	53.6212	0.0579	53.6212	0.0579
Lonitud l(mm.)	-	38.10	-	38.10	-	38.10	-	38.10
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	15.80	15.80	15.80	15.80	15.80
Beta (β)	-	-	0.75	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	11.69	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.03086	0.00093	0.00453	0.00379	3.51079	0.00379	3.51079	0.00379

TRAMO 3 - 4 (b)

	Reduccion	Niple	Codo	Lubo	Tee	
Caudal Q(lts/h)	800.00	800.00	800.00	800.00	800.00	
Velocidad v(m/s)	1.13	0.64	0.64	0.64	0.64	
Numero Reynolds (R)	-	14868.22	14868.22	14868.22	14868.22	
Friccion (f)	-	0.0245	0.0245	0.0245	0.0245	
Coeficiente (k)	0.1883	0.0445	0.7354	0.1919	0.4903	
Lonitud l(mm.)	-	38.10	-	164.40	-	
Diametro d1(mm.)	15.80	21.00	21.00	21.00	21.00	
Beta (β)	1.33	-	-	-	Total	
Ieta (θ)	11.69	-	-	-	-	
Perdida dh(mts.)	0.01233	0.00093	0.01543	0.00403	0.01029	7.11228

TRAMO 4 - 5

	Tubo	Union	Niple	Lodo	Tubo	Tee	Niple	Lodo
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44
Friccion (f)	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230
Coeficiente (k)	0.0827	0.1151	0.0418	0.6908	0.1320	0.4605	0.0418	0.6908
Longitud l(mm.)	75.40	-	38.10	38.10	120.40	-	38.10	-
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (B)	-	-	-	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00694	0.00966	0.00351	0.05797	0.01108	0.03865	0.00351	0.05797

TRAMO 4 - 5

	Tubo	Tee	Niple	V. Check	Niple	Tee
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44
Friccion (f)	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230
Coeficiente (k)	0.0827	0.4605	0.0418	72.1262	0.0418	0.4605
Longitud l(mm.)	75.40	-	38.10	-	38.10	-
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (B)	-	-	-	0.66	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	0.00	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00694	0.03865	0.00351	6.05319	0.00351	0.03865
						total
						6.33372

TRAMO 5 - 6 (a)

	Tee	Niple	Reduccion	Niple	Lodo	Niple	Union	Tubo
Caudal Q(lts/h)	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Velocidad v(m/s)	0.38	0.38	0.38	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
Numero Reynolds (R)	6402.83	6402.83	-	10941.10	10941.10	10941.10	10941.10	10941.10
Friccion (f)	0.0499	0.0499	-	0.0499	0.0499	0.0249	0.0249	0.0249
Coeficiente (k)	0.9987	0.1248	0.9850	0.2131	1.4967	0.1064	0.1245	1.1601
Longitud l(mm.)	-	38.10	-	38.10	-	38.10	-	415.40
Diametro d1(mm.)	15.24	15.24	15.24	8.92	8.92	8.92	8.92	8.92
Beta (B)	-	-	0.59	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	14.19	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00738	0.00092	0.00728	0.01343	0.09429	0.00670	0.00785	0.07308

TRAMO 5 - 6 (a)

	Lodo	Tubo	Tee
Caudal Q(lts/h)	250.00	250.00	250.00
Velocidad v(m/s)	1.11	1.11	1.11
Numero Reynolds (R)	10941.10	10941.10	10941.10
Friccion (f)	0.0249	0.0249	0.0249
Coeficiente (k)	0.7472	0.6016	2.1662
Longitud l(mm.)	-	215.40	-
Diametro d1(mm.)	8.92	8.92	8.92
Beta (B)	-	-	2.35
Ieta (θ)	-	-	26.76
Perdida dh(mts.)	0.04707	0.03790	0.13647
			0.43236

TRAMO 5 - 6 10

	Niple	Tee	Tubo	Niple	Lodo	Niple
Caudal Q(lts/h)	1850.00	1850.00	1850.00	1850.00	1850.00	1850.00
Velocidad v(m/s)	1.48	1.48	1.48	2.82	2.82	2.82
Numero Reynolds (R)	34382.76	34382.76	34382.76	47380.93	47380.93	47380.93
Friccion (f)	0.0497	0.0497	0.0497	0.0495	0.0213	0.0495
Coeficiente (k)	0.0901	0.9931	0.4739	0.1238	0.6379	0.1238
Longitud l(mm.)	38.10	-	200.40	38.10	-	38.10
Diametro d(mm.)	21.00	21.00	21.00	15.24	15.24	15.24
Beta (B)	-	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.01011	0.11143	0.05317	0.05010	0.25808	0.05010
					Total	

TRAMO 6 - 7

	Tee	Tubo
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	2.44	2.44
Numero Reynolds (R)	40978.10	40978.10
Friccion (f)	0.0496	0.0496
Coeficiente (k)	2.1820	0.3104
Longitud l(mm.)	-	95.40
Diametro d(mm.)	15.24	15.24
Beta (B)	-	-
Ieta (θ)	-	-
Perdida dh(mts.)	0.66036	0.09395
		Total

TRAMO 7 - 10

	Tee	Niple	V1500	V.Segur.	Tubo	Union	Tubo	Codo
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	2.44	2.44	2.44	2.44	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	40978.10	40978.10	40978.10	40978.10	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44
Friccion (f)	0.0496	0.0496	0.0496	0.0496	0.0497	0.0230	0.0230	0.0230
Coeficiente (k)	2.1820	0.1240	0.2480	0.8934	1.7169	0.1151	0.3349	0.6908
Longitud l(mm.)	-	38.10	-	-	725.40	-	305.40	-
Diametro d(mm.)	15.24	15.24	15.24	15.24	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (B)	-	-	-	1.38	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.66036	0.03752	0.07504	0.27038	0.14408	0.00966	0.02810	0.05797

TRAMO 7 - 10

	Tubo	Codo	Tubo	Codo	Tubo	Tee
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44	29736.44
Friccion (f)	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230	0.0230
Coeficiente (k)	0.1594	0.6908	0.3020	0.6908	0.3020	0.4605
Longitud l(mm.)	145.40	-	275.40	-	275.40	-
Diametro d(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (B)	-	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.01338	0.05797	0.02534	0.05797	0.02534	0.03865
					Total	

TRAMO 7 - 8

	Iee	Judo	Union	Niple	Lodo	Tubo	
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	
Velocidad v(m/s)	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	2.44	
Numero Reynolds (R)	40978.10	40978.10	40978.10	40978.10	40978.10	40978.10	
Friccion (f)	0.0496	0.0496	0.0496	0.0496	0.0496	0.0219	
Coeficiente (k)	0.9918	0.5708	0.2480	0.1240	1.5	0.2521	
Longitud l(mm.)	-	175.40	-	38.10	-	175.40	
Diametro d(mm.)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	
Beta (B)	-	-	-	-	-	Total	
Teta (θ)	-	-	-	-	-	-	
Perdida dh(mts.)	0.30016	0.17274	0.07504	0.03752	0.45	0.07629	1.11201

TRAMO 8 - 9

	Judo	Lodo	Niple	Union	Niple	Iee	Niple	Reducción
Caudal Q(lts/h)	1440.00	1440.00	1440.00	1440.00	1440.00	1440.00	1440.00	1440.00
Velocidad v(m/s)	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
Numero Reynold (R)	36798.55	36798.55	36798.55	36798.55	36798.55	36798.55	36798.55	36798.55
Friccion (f)	0.0496	0.0496	0.0496	0.0496	0.0223	0.0223	0.0223	-
Coeficiente (k)	0.5713	1.4890	0.1241	0.2482	0.0558	0.4464	0.0558	0.1851
Longitud l(mm.)	175.40	-	38.10	-	38.10	-	38.10	-
Diametro d(mm.)	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24	15.24
Beta (B)	-	-	-	-	-	-	-	1.32
Teta (θ)	-	-	-	-	-	-	-	11.13
Perdida dh(mts.)	0.14004	0.36500	0.03042	0.06083	0.01368	0.10943	0.01368	0.04537

TRAMO 8 - 9

	Niple	Iee	Niple	Iee	
Caudal Q(lts/h)	1440.00	1440.00	1440.00	1440.00	
Velocidad v(m/s)	1.25	1.15	1.15	1.15	
Numero Reynold (R)	27777.54	26703.48	26703.48	26703.48	
Friccion (f)	0.0232	0.0233	0.0233	0.0233	
Coeficiente (k)	0.0438	0.4666	0.0423	0.4666	
Longitud l(mm.)	38.10	-	38.10	-	
Diametro d(mm.)	20.19	21.00	21.00	21.00	
Beta (B)	-	-	-	-	
Teta (θ)	-	-	-	-	
Perdida dh(mts.)	0.00349	0.03172	0.00288	0.03172	0.84826

TRAMO 9 - 10

	Niple	Iee	
Caudal Q(lts/h)	1520.00	1520.00	
Velocidad v(m/s)	1.22	1.22	
Numero Reynold (R)	28187.00	28187.00	
Friccion (f)	0.0497	0.0497	
Coeficiente (k)	0.0902	2.9831	
Longitud l(mm.)	38.10	-	
Diametro d(mm.)	21.00	21.00	
Beta (B)	-	-	
Teta (θ)	-	-	
Perdida dh(mts.)	0.00683	0.22594	0.23277

TRAMO 10 - R

	Nipie	Union
Caudal Q(lts/h)	1520.00	1520.00
Velocidad v(m/s)	1.22	1.22
Numero Reynolds (R)	28187.00	28187.00
Friccion (f)	0.0497	0.0497
Coeficiente (k)	0.0902	0.2486
Longitud l(mm.)	38.10	-
Diametro d(mm.)	21.00	21.00
Beta (β)	-	-
Ieta (θ)	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00683	0.01883
		Total
		0.02566

TRAMO 8 - II

	Tubo	Lodo	Nipie	Lodo	Nipie	Union	Tubo	Reduccion
Caudal Q(lts/h)	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00
Velocidad v(m/s)	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Numero Reynolds (R)	8321.83	8321.83	8321.83	8321.83	8321.83	8321.83	8321.83	8321.83
Friccion (f)	0.0499	0.0499	0.0499	0.0499	0.0499	0.0499	0.0252	-
Coeficiente (k)	1.2876	1.4975	0.2797	1.4975	0.2797	0.2496	1.0193	0.2058
Longitud l(mm.)	175.40	-	38.10	-	38.10	-	275.40	-
Diametro d(mm.)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
Beta (β)	-	-	-	-	-	-	-	1.35
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	-	-	5.41
Perdida dh(mts.)	0.09829	0.11431	0.02135	0.11431	0.02135	0.01905	0.07781	0.01571

TRAMO 8 - II

	Nipie	Iee	Nipie	Iee	Nipie	Reduccion	Nipie	Codo
Caudal Q(lts/h)	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00
Velocidad v(m/s)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.13	0.13
Numero Reynolds (R)	6150.92	6150.92	6150.92	6150.92	6150.92	6150.92	2694.69	2694.69
Friccion (f)	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	0.0254	-	0.0257	0.0257
Coeficiente (k)	0.1051	0.5077	0.1051	0.5077	0.1051	0.6530	0.0467	0.4117
Longitud l(mm.)	38.10	-	38.10	-	38.10	-	38.10	-
Diametro d(mm.)	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	21.00	21.00
Beta (β)	-	-	-	-	-	2.28	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	26.15	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00240	0.01157	0.00240	0.01157	0.00240	0.01488	0.00004	0.00035

TRAMO 8 - II

	Nipie
Caudal Q(lts/h)	160.00
Velocidad v(m/s)	0.13
Numero Reynolds (R)	2694.69
Friccion (f)	0.0257
Coeficiente (k)	0.0467
Longitud l(mm.)	38.10
Diametro d(mm.)	21.00
Beta (β)	-
Ieta (θ)	-
Perdida dh(mts.)	0.00004
	Total
	0.52780

IRAMU 11 - R

	Iee	Tubo	Union	Niple	Conexión	Conexión	Niple	Codo
Caudal Q(lts/h)	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00	160.00
Velocidad v(m/s)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	1.22	1.22	1.22
Numero Reynolds (R)	2694.69	2694.69	2694.69	2694.69	2694.69	8321.83	8321.83	8321.83
Friction (f)	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0499	0.0252	0.0252
Coeficiente (k)	2.9984	1.4407	0.2499	0.0907	1.0000	1.0000	0.1410	0.7550
Longitud l(mm.)	-	605.40	-	38.10	-	-	38.10	-
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	6.80	6.80	6.80
Beta (B)	-	-	-	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.00252	0.00121	0.00021	0.00008	0.00084	0.07633	0.01076	0.05764

IRAMU 11 - P

	Tubo	Codo	Niple	Union
Caudal Q(lts/h)	160.00	160.00	160.00	160.00
Velocidad v(m/s)	1.22	1.22	1.22	1.22
Numero Reynolds (R)	8321.83	8321.83	8321.83	8321.83
Friction (f)	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252
Coeficiente (k)	1.9446	0.7550	0.1410	0.1258
Longitud l(mm.)	525.40	-	38.10	-
Diametro d1(mm.)	6.80	6.80	6.80	6.80
Beta (B)	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.14844	0.05764	0.01076	0.00961
				Total
				0.37603

IRAMU 11 - I

	Iee	Niple	V: solen.	Niple	Iee
Caudal Q(lts/h)	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00	1600.00
Velocidad v(m/s)	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Numero Reynolds (R)	26946.87	26946.87	26946.87	26946.87	26946.87
Friction (f)	0.0497	0.0497	0.0233	0.0497	0.0497
Coeficiente (k)	2.9838	0.0902	7.9238	0.0902	2.9838
Longitud l(mm.)	-	38.10	-	38.10	-
Diametro d1(mm.)	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Beta (B)	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.25041	0.00757	0.66499	0.00757	0.25041
					1.18095

IRAMU 2 - 9

	Filtro	Tubo	Codo	Tubo	Iee
Caudal Q(lts/h)	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
Velocidad v(m/s)	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Numero Reynolds (R)	4591.66	4591.66	4591.66	4591.66	4591.66
Friction (f)	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500
Coeficiente (k)	29.9725	1.1416	1.4986	1.2893	0.9991
Longitud l(mm.)	-	155.40	-	175.50	-
Diametro d1(mm.)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
Beta (B)	-	-	-	-	-
Ieta (θ)	-	-	-	-	-
Perdida dh(mts.)	0.57198	0.02179	0.02860	0.02460	0.01907
					0.66604

APENDICE G.

Tramos que comprende la unidad de limpieza.

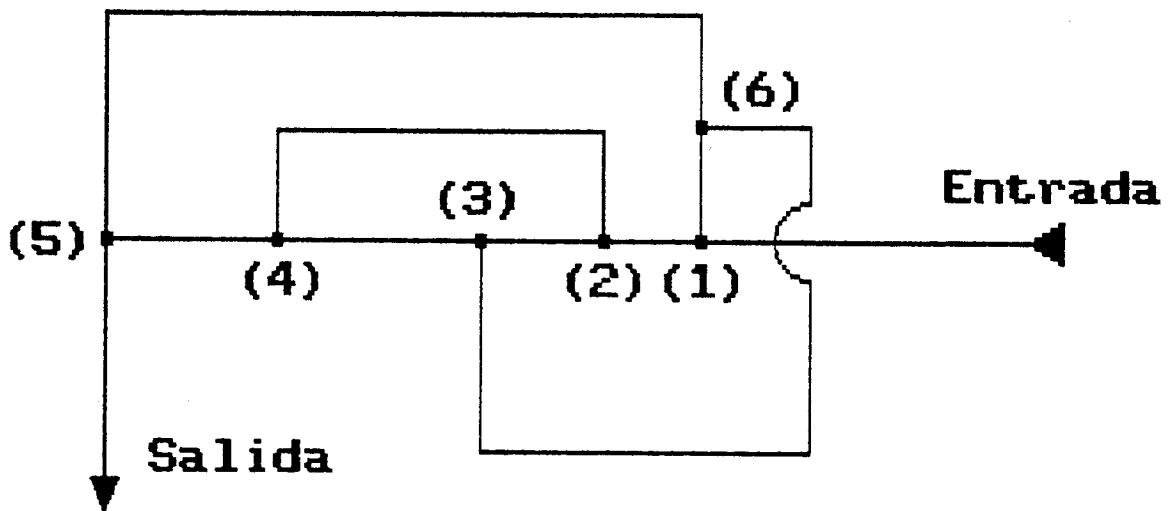


Diagrama de los tramos
de la unidad de limpieza.

LISTA DE COMPONENTES DE LA UNIDAD DE LIMPIEZA

TRAMO	COMPONENTES
E - 1	<ul style="list-style-type: none"> - Union de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Filtro de carbon activado. - Niple de PVC, 3/4". - Codo de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Valvula solenoide. - Niple de PVC, 3/4".
1 - 2	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de PVC (flujo desviado), 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Tee de PVC (flujo directo), 3/4".
2 - 3	<ul style="list-style-type: none"> - Niple de PVC, 3/4". - Entrada a tanque, 3/4". - Salida del tanque, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Codo de 90° de PVC, 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Valvula solenoide. - Niple de PVC, 1/2".
3 - 4	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de PVC (flujo desviado), 3/4". - Niple de PVC, 3/4". - Codo de PVC, 3/4" - Niple de PVC, 3/4". - Bomba centrifuga. - Niple de PVC, 3/4".
4 - 2	<ul style="list-style-type: none"> - Tee de PVC (flujo desviado), 1/4". - Niple de PVC, 1/4". - Valvula solenoide. - Tubo de PVC (40 mm.), 1/4". - Codo de 90° de PVC, 1/4". - Tubo de PVC (25 mm.), 1/4". - Tee de PVC (flujo desviado), 1/4".

4 - 5

- Tee de PVC. (flujo directo), 3/4".
- Niple de PVC, 1/2".

5 - 6

- Tee de PVC (flujo desviado), 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Codo de PVC, 3/4".
- Niple de PVC de 3/4".
- Valvula solenoide.
- Niple de PVC de 3/4".
- Codo de PVC, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Filtro de cartucho.
- Niple de PVC, 3/4".
- Codo de PVC, 3/4".
- Tubo de PVC (700 mm.), 3/4".
- Codo de PVC, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Codo de PVC, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Union de PVC de 3/4".
- Contenedor y conexiones.
- Union de PVC, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Codo de 90° de PVC, 3/4".
- Tubo de PVC (54 mm.), 3/4".
- Tee de PVC, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".

6 - 3

- Tee de PVC (flujo directo), 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Codo de 90° de PVC, 3/4".
- Tubo de PVC (860 mm.), 3/4".
- Valvula solenoide.
- Niple de PVC, 3/4".
- Codo de 90° de PVC, 3/4".
- Niple de PVC, 3/4".
- Entrada a tanque.
- Salida del tanque.
- Niple de PVC, 3/4".
- Valvula solenoide.
- Tubo de PVC (400 mm.), 3/4".

S - S

- Niple de PVC, 3/4".
- Valvula solenoide.
- Tubo de PVC (250 mm.), 3/4".
- Union de PVC, 3/4".

ANEXOS

APPLICATION	SEAWATER				
PRODUCT TYPE	B-10 ¹				
MODEL NO.	6410T	6440T	6840T	6840TR	6845T
PHYSICAL CHARACTERISTICS					
MEMBRANE TYPE	ARAMID				
MEMBRANE CONFIGURATION	Hollow Fine Fiber				
DIAMETER, NOMINAL, cm (in)	11.7 (5)	11.7 (5)	21.6 (8)	21.6 (8)	21.6 (8)
APPROX. LENGTH, cm (in)	58 (23)	126 (50)	150 (59)	99 (39) ²	150 (59)
APPROX. SHIPPING WEIGHT kg (lb)	10 (22)	32 (70)	122 (270)	35 (78)	122 (270)
CONNECTIONS ² —FEMALE NPT FEED	1 2"	1 2"	3 4"	NA	3 4"
PRODUCT	1 2"	1 2"	3 4"	NA	3 4"
BRINE	3 8"	3 8"	3 4"	NA	3 4"
SAMPLE	1 8"	1 8"	3 8"	NA	3 8"
OPERATING SPECIFICATIONS					
PRODUCT WATER CAPACITY m ³ /day (GPD) Nominal ³	2.46 (650)	7.57 (2000)	23.8 (6300)	27.2 (6300)	26.5 (7000)
RANGE	2.09-2.83 (552-747)	6.43-8.71 (1700-2300)	20.23-27.37 (5355-7245)	20.23/27.37 (5355-7245)	22.52/30.48 (5950-8050)
SALT REJECTION (%) Nominal ³	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
MINIMUM	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7
OPERATING PRESSURE RANGE KPa (psig)	(5515-8274) 800-1200				
OPERATING TEMPERATURE RANGE °C (°F)	0-4 (32-104)				
pH RANGE, CONTINUOUS EXPOSURE	4-9				
FEED RATE, MAXIMUM. l/min (gpm)	NA				
BRINE RATE, l/min (gpm) MAXIMUM	9.9 (2.6)	39.4 (10.4)	105.2 (27.8)	105.2 (27.8)	105.2 (27.8)
MINIMUM SEAWATER	1.1 (0.3)	5.3 (1.4)	15.9 (4.2)	15.9 (4.2)	15.9 (4.2)
HIGH BRACKISH	2.1 (0.6)	8.3 (2.2)	26.5 (7.0)	26.5 (7.0)	26.5 (7.0)
BRACKISH	NA	NA	NA	NA	NA
STANDARD CONDITIONS					
FEED, mg/l NaCl	35,000				
PRESSURE, KPa (psig)	6895 (1000)				
TEMPERATURE °C (°F)	25 (77)				
CONVERSION %	35				

FILMTEC®**Technical Bulletin****2.5" Seawater High Rejection Element
Specifications**

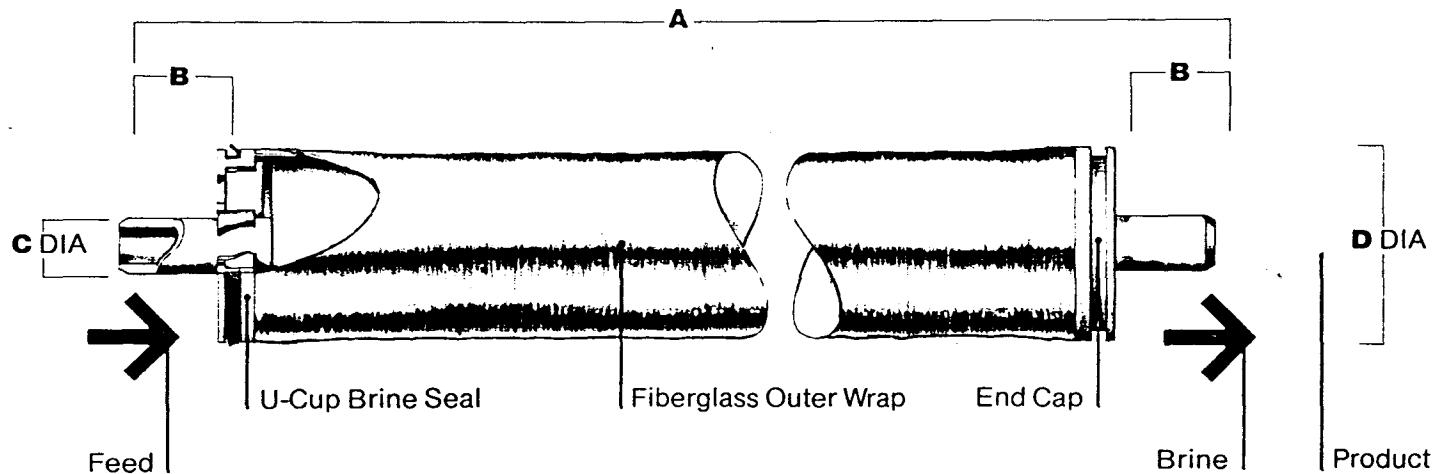
7200 Ohms Lane
Minneapolis, MN 55435 USA
Telephone 612-835-5475
TELEX 290899 FILMTEC EDNA
TELEFAX 612-835-4996

December 1985

New Product

	Product Water Flow Rate GPD (m³/D)	Minimum Salt Rejection Cl⁻ (%)	Average Salt Rejection Cl⁻ (%)
SW30HR-2514	65 (0.25)	99.2	99.5
SW30HR-2521	130 (0.50)	99.2	99.5
SW30HR-2540	320 (1.3)	99.2	99.5

1. Permeate flow and salt rejection based on the following conditions:
35000 PPM Seawater, 800 PSI (5.7 MPa), 77°F (25°C), pH8 and recovery
as indicated below. 2. Flow rates for individual elements may vary ±15%.

**Operating Conditions**

Membrane Type	Thin-Film Composite
Maximum Operating Pressure	1000 PSI (6.8 MPa)
Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
Maximum Feed Turbidity	1 NTU
Free Chlorine Tolerance	< 0.1 PPM
pH Range:	
Continuous operation	2-11
Short-term (30 min.), cleaning	1-12
Maximum Feed Flow	6 GPM (23 LPM)
Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
Maximum Pressure Drop Across 40" Element	20 PSI

Maximum Recovery (Permeate Flow to Feed Flow) on Seawater:

Ratio	Dimensions (inches)			
	A	B	C	D
SW30HR-2514 0.035	14.0	1.2	0.75	2.4
SW30HR-2521 0.05	21.0	1.2	0.75	2.4
SW30HR-2540 0.1	40.0	1.0	0.75	2.4

3. For more information, contact FilmTec Corporation, Marketing Department.

4. Element to fit 2.5 inch I.D. pressure vessel.

FILMTEC

Technical Bulletin

4" Seawater High Rejection Element Specifications

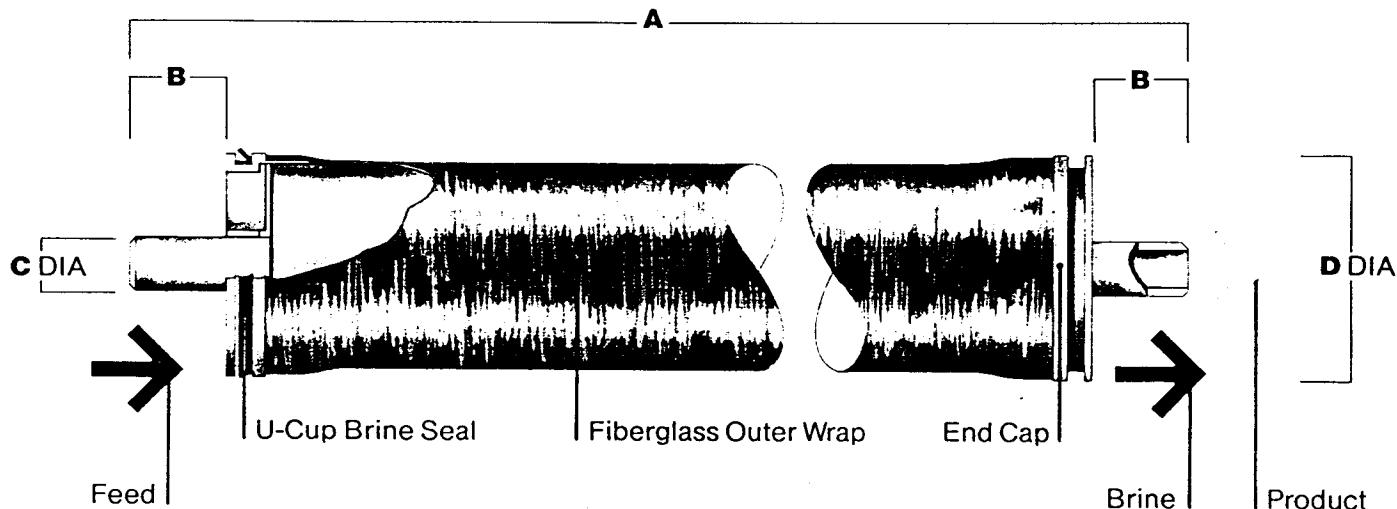
7200 Ohms Lane
Minneapolis, MN 55435 USA
Telephone 612-835-5475
TELEX 290899 FILMTEC EDNA
TELEFAX 612-835-4996

December 1985

	Product Water Flow Rate GPD (m³/D)	Minimum Salt Rejection Cl⁻ (%)	Average Salt Rejection Cl⁻ (%)
SW30HR-4014	200 (0.7)	99.2	99.5
SW30HR-4021	400 (1.5)	99.2	99.5
SW30HR-4040	1000 (3.8)	99.2	99.5

1. Permeate flow and salt rejection based on the following conditions:
35000 PPM Seawater, 800 PSI (5.7 M Pa), 77°F (25°C), pH8 and recovery
as indicated below. 2. Flow rates for individual elements may vary ±15%.

New Product



Operating Conditions

Membrane Type	Thin-Film Composite
Maximum Operating Pressure	1000 PSI (6.8 M Pa)
Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
Maximum Feed Turbidity	1 NTU
Free Chlorine Tolerance	<0.1 PPM
pH Range:	
Continuous operation	2-11
Short-term (30 min.), cleaning	1-12
Maximum Feed Flow	16 GPM (60 LPM)
Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
Maximum Pressure Drop Across 40" Element	20 PSI

Maximum Recovery (Permeate Flow to Feed Flow) on Seawater:

Element	Ratio	Dimensions (inches)			
		A	B	C	D
SW30HR-4014	0.035	14.0	1.1	0.75	3.9
SW30HR-4021	0.05	21.0	1.1	0.75	3.9
SW30HR-4040	0.1	40.0	1.0	0.75	3.9

3. For more information, contact FilmTec Corporation, Marketing Department.

4. Element to fit 4.00 inch I.D. pressure vessel.

FILMTEC

Technical Bulletin

8" Seawater High Rejection Element Specifications

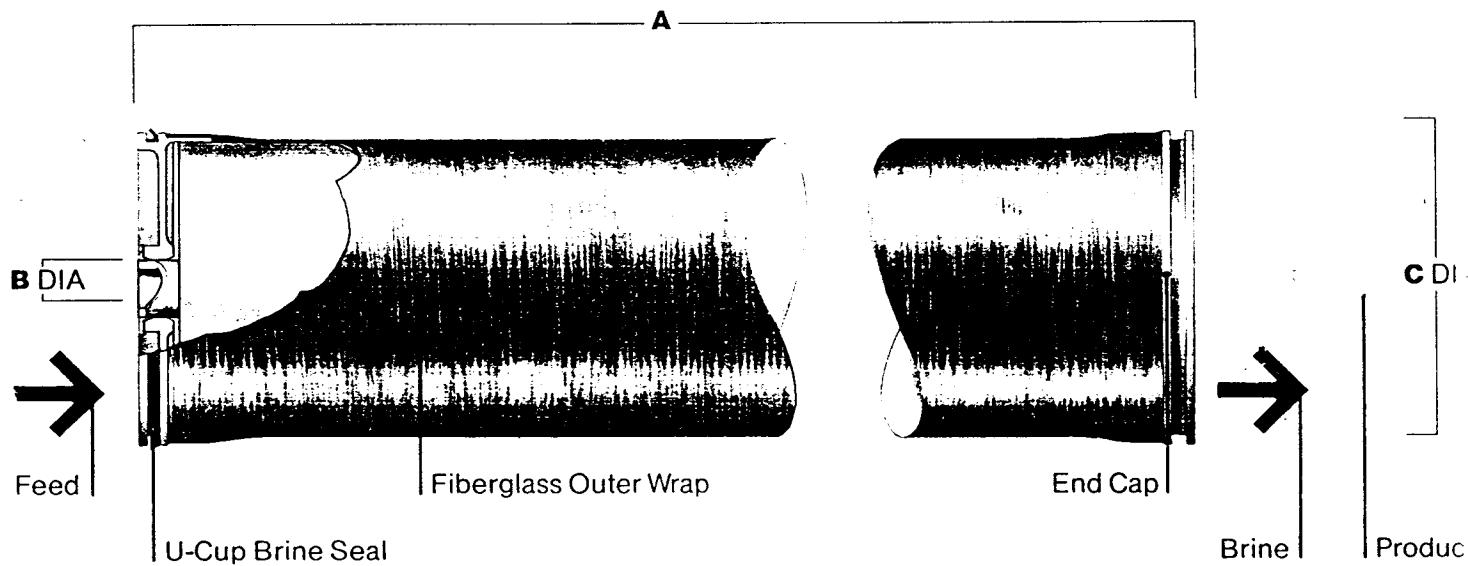
7200 Ohms Lane
Minneapolis, MN 55435 USA
Telephone 612-835-5475
TELEX 290899 FILMTEC EDNA
TELEFAX 612-835-4996

December 1985

	Product Water Flow Rate GPD (m³/D)	Minimum Salt Rejection Cl⁻ (%)	Average Salt Rejection Cl⁻ (%)
SW30HR-8040	4000 (15)	99.2	99.5

1. Permeate flow and salt rejection based on the following conditions:
35000 PPM Seawater, 800 PSI (5.7 M Pa), 77°F (25°C), pH8 and recovery
as indicated below. 2. Flow rates for individual elements may vary ±15%.

New Product



Operating Conditions

Membrane Type	Thin-Film Composite
Maximum Operating Pressure	1000 PSI (6.8 M Pa)
Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
Maximum Feed Turbidity	1 NTU
Free Chlorine Tolerance	<0.1 PPM
pH Range:	
Continuous operation	2-11
Short-term (30 min.), cleaning	1-12
Maximum Feed Flow	64 GPM (240 LPM)
Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
Maximum Pressure Drop Across 40" Element	20 PSI

Maximum Recovery (Permeate Flow to Feed Flow) on Seawater:

Ratio	Dimensions (inches)	A	B	C
SW30HR-8040	0.10	40.0	1.125	7.9

3. For more information, contact FilmTec Corporation, Marketing Department

4. Element to fit 8.0 inch I.D. pressure vessel.

TFC Spiral-Wound Reverse Osmosis Element Seawater Model 7020SS

PERFORMANCE SPECIFICATION

DESIGN CHLORIDE ION REJECTION

99.4
99.5%

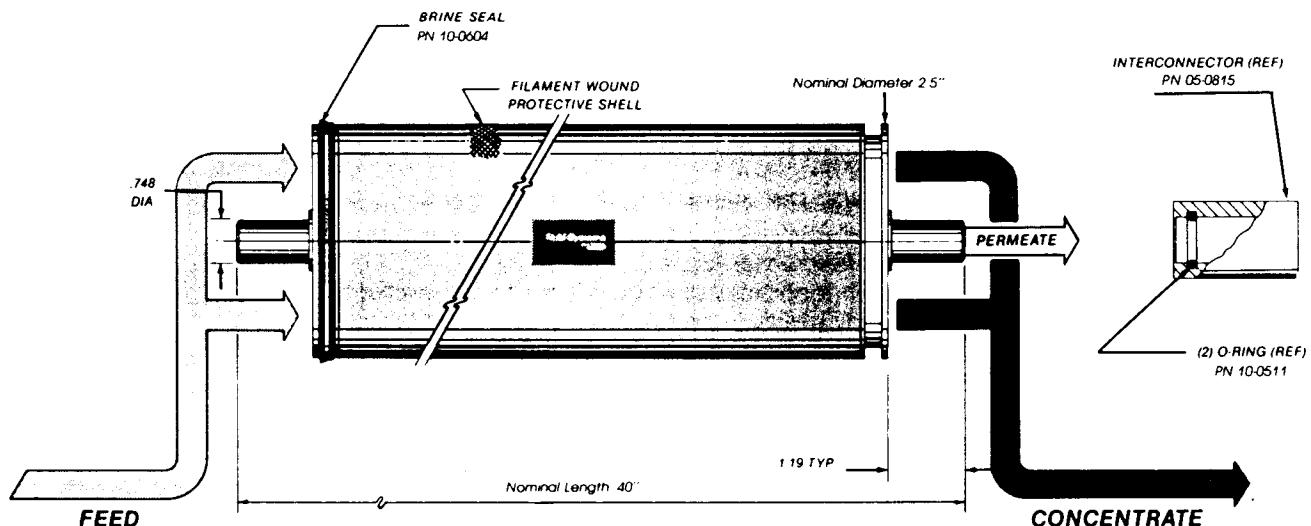
DESIGN PERMEATE PRODUCTIVITY

275 U.S. gpd (1.0 m³/day)

TEST CONDITIONS: 32,800 mg/L NaCl solution (isosmotic to ASTM seawater), 800 psi, 7% water recovery, 25°C (77°F) and pH 5.7. Data is collected on each element after 30 minutes of operation at these conditions.

DRAINED WEIGHT:

4 lbs (1.8 kg)



Refer to the back of this sheet for important operating and design information.

Fluid systems



One of The Signal Companies

Operational and Design Information

- 1.** The design chloride ion rejection and permeate productivities are based on average values obtained during the final acceptance of the elements and should be used when designing systems.
- 2.** At the test conditions shown, the minimum chloride ion rejection is 99.2%. Individual element permeate productivities may vary $\pm 15\%$ from the design value.
- 3.** For most seawater systems, the optimum pH is approximately 5.7 to obtain maximum rejection as well as to minimize the tendency for precipitation of sparingly soluble salts. If the operating pH is above 5.7, NaCl rejection can be estimated by the following equations:
$$\text{NaCl Rejection} = 0.995 - 0.00105 (\text{pH} - 5.7)$$

where pH = anticipated operating pH
- 4.** Recommended design pressure — 800 psi (5516 kPa)
Operation at any pressure below 1000 psi is permissible providing it is within the hydraulic limits stated in 5 below.

Maximum operating pressure — 1000 psi (6895 kPa)
- 5.** Maximum pressure drop per element — 10 psi (68.95 kPa)
- 6.** Maximum allowable feedwater turbidity — 1.0 NTU
Experience has shown that prolonged operation on feedwater turbidities greater than 0.2 NTU generally results in prohibitively frequent cleaning requirements.
Fluid Systems strongly recommends that pretreatment equipment be designed to routinely attain feedwater turbidity of less than 0.2 NTU.
- 7.** Allowable feedwater temperature range: 1 to 45°C (34 to 113°F)
The effects of temperature on net operating pressure and productivity can be calculated from FSD Bulletin 0004, Temperature Effect.
- 8.** Maximum allowable chlorine or similarly active oxidizing agents such as iodine, bromine and ozone: Zero
- 9.** Allowable operating pH range: 3 to 11
Allowable cleaning pH range: 2 to 12
- 10.** Elements may be cleaned with cationic or nonionic surfactants. Anionic surfactants should be avoided as irreversible fouling may occur.

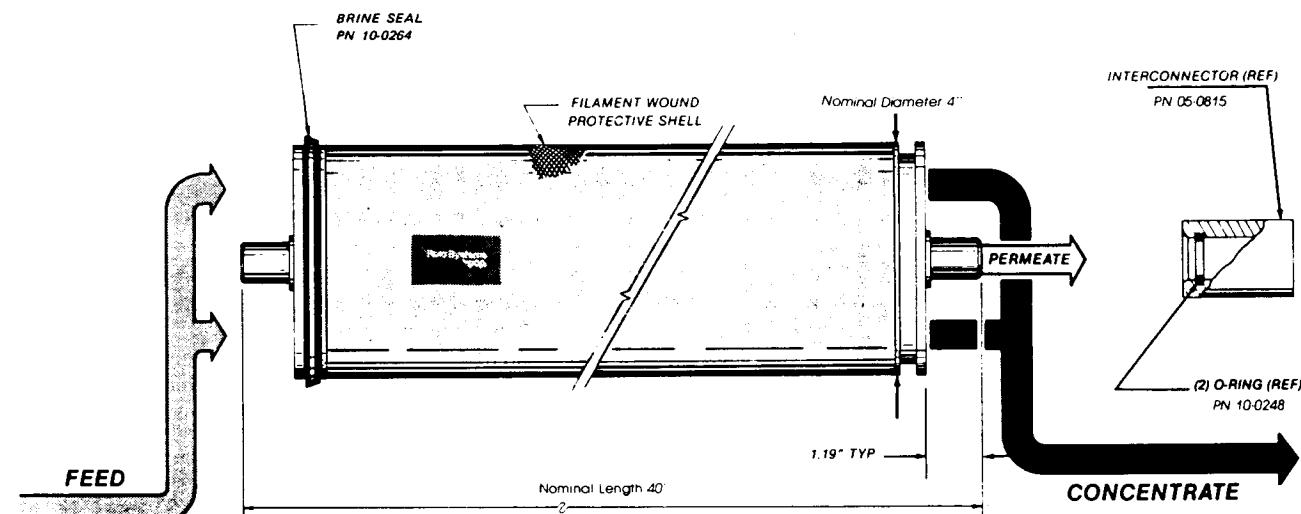
TFC Spiral-Wound Reverse Osmosis Element Seawater Model 1020SS

PERFORMANCE SPECIFICATION

DESIGN CHLORIDE ION REJECTION	99.4 99.6%
DESIGN PERMEATE PRODUCTIVITY	900 U.S. gpd (3.4 m ³ /day)

TEST CONDITIONS: 32,800 mg/L NaCl solution (isosmotic to ASTM seawater), 800 psi, 7% water recovery, 25°C (77°F) and pH 5.7. Data is collected on each element after 30 minutes of operation at these conditions.

DRAINED WEIGHT: 10 lbs (4.5 kg)



Refer to the back of this sheet for important operating and design information.

Fluid systems



One of The Signal Companies

Operational and Design Information

1. The design chloride ion rejection and permeate productivity are based on average values obtained during the final acceptance testing of the elements and should be used when designing systems.

2. At the test conditions shown, the minimum chloride ion rejection is 99.2%. Individual element permeate productivities may vary $\pm 15\%$ from the design value.

3. For most seawater systems, the optimum pH is approximately 5.7 to obtain maximum rejection as well as to minimize the tendency for precipitation of sparingly soluble salts. If the operating pH is above 5.7, NaCl rejection can be estimated by the following equations:

$$\text{NaCl Rejection} = 0.995 - 0.00105 (\text{pH} - 5.7)$$

where pH = anticipated operating pH

4. Recommended design pressure — 800 psi (5516 kPa)

Operation at any pressure below 1000 psi is permissible providing it is within the hydraulic limits stated in 5 and 11 below.

Maximum operating pressure — 1000 psi (6895 kPa)

5. Maximum pressure drop per element — 10 psi (68.95 kPa)

6. Maximum allowable feedwater turbidity — 1.0 NTU

Experience has shown that prolonged operation on feedwater turbidities greater than 0.2 NTU generally results in prohibitively frequent cleaning requirements.

Fluid Systems strongly recommends that pretreatment equipment be designed to routinely attain feedwater turbidity of less than 0.2 NTU.

7. Allowable feedwater temperature range: 1 to 45°C (34 to 113°F)

The effects of temperature on net operating pressure and permeate productivity can be calculated from FSD Bulletin 0004, Temperature Effect.

8. Maximum allowable chlorine or similarly active oxidizing agents such as iodine, bromine and ozone: Zero

9. Allowable operating pH range: 3 to 11
Allowable cleaning pH range: 2 to 12

10. Elements may be cleaned with cationic or nonionic surfactants. Anionic surfactants should be avoided as irreversible fouling may occur.

11. Maximum recovery rate for any pressure tube in a system:

Elements/tube	one	two	three	four	five	six
Maximum (%)	16	25	31	36	39	40

Operation greater than the maximum recovery may result in excessive boundary layer conditions or brine concentrations. Please contact Fluid Systems or your distributor for assistance.

TFC® Spiral-Wound Reverse Osmosis Element Seawater Model 2021SS

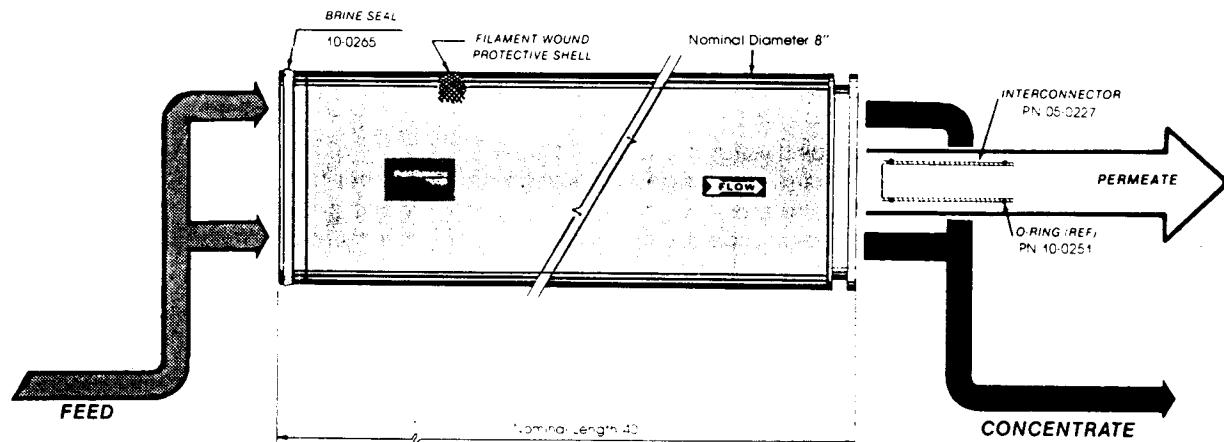
PERFORMANCE SPECIFICATION

DESIGN CHLORIDE ION REJECTION 99.4%

DESIGN PERMEATE PRODUCTIVITY 4000 U.S. gpd (15.2 m³/d)

TEST CONDITIONS: 32,800 mg/L NaCl solution (isosmotic to ASTM seawater), 800 psi (5520 kPa), 7% water recovery, 25°C (77°) and pH 5.7. Data are collected on each element after 30 minutes of operation at these conditions.

DRAINED WEIGHT: 40 lb (18.1 kg)



Refer to the back of this sheet for important operating and design information. This information is intended for use as a guideline. For operation outside these guidelines, please contact Fluid Systems.

UOP Fluid systems

Allied Signal Technologies

Operational and Design Information

1. The design chloride ion rejection and permeate productivity are based on average values obtained during the final acceptance testing of the elements and should be used when designing systems.
2. At the test conditions shown, the minimum chloride ion rejection is 99.2%. Individual element permeate productivities may vary $\pm 15\%$ from the design value.
3. For most seawater systems, the optimum pH is approximately 5.7 to obtain maximum rejection as well as to minimize the tendency for precipitation of sparingly soluble salts. If the operating pH is above 5.7, NaCl rejection can be estimated by the following equations:

$$\text{NaCl Rejection} = 0.995 - 0.00105 (\text{pH} - 5.7)$$

where pH = anticipated operating pH

4. Recommended design pressure — 800 psi (5520 kPa)
Operation at any pressure below 1000 psi (6900 kPa) is permissible provided the design permeate productivity per element is not exceeded and the operation is within the hydraulic limits stated in 5 and 11 below.

Maximum operating pressure — 1000 psi (6900 kPa)

5. Maximum pressure drop per element — 10 psi (69 kPa)
6. Maximum allowable feedwater turbidity — 1.0 NTU
Experience has shown that prolonged operation on feedwater turbidities greater than 0.2 NTU generally results in prohibitively frequent cleaning requirements.
Fluid Systems strongly recommends that pretreatment equipment be designed to routinely attain feedwater turbidity of less than 0.2 NTU.
7. Allowable feedwater temperature range: 1 to 45°C (34 to 113°F)
The effects of temperature on net operating pressure and permeate productivity can be calculated from FSD Bulletin 0004, Temperature Effect.
8. Maximum allowable chlorine or similarly active oxidizing agents such as iodine, bromine and ozone: Zero
9. Allowable operating pH range: 4 to 11
Allowable cleaning pH range: 3.5 to 12
10. Elements may be cleaned with cationic or nonionic surfactants. Anionic surfactants should be avoided as irreversible fouling may occur.
11. Maximum recovery rate for any pressure tube in a system:

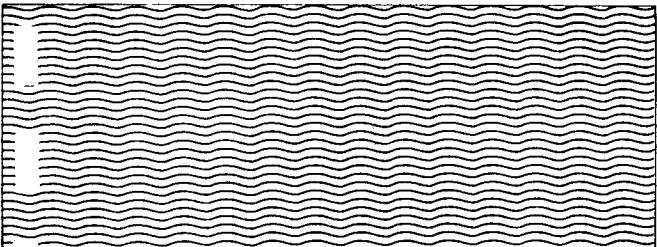
Elements/tube	one	two	three	four	five	six
Maximum (%)	17	25	32	37	40	42

Operation at greater than the maximum recovery may result in excessive boundary layer conditions or brine concentrations. Please contact Fluid Systems or your distributor for assistance.

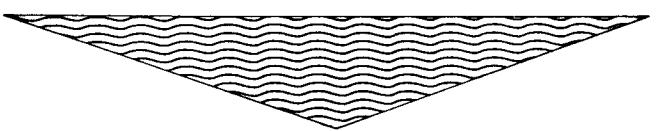
ANEXO 2.

Equipos para el pre y post-tratamiento.

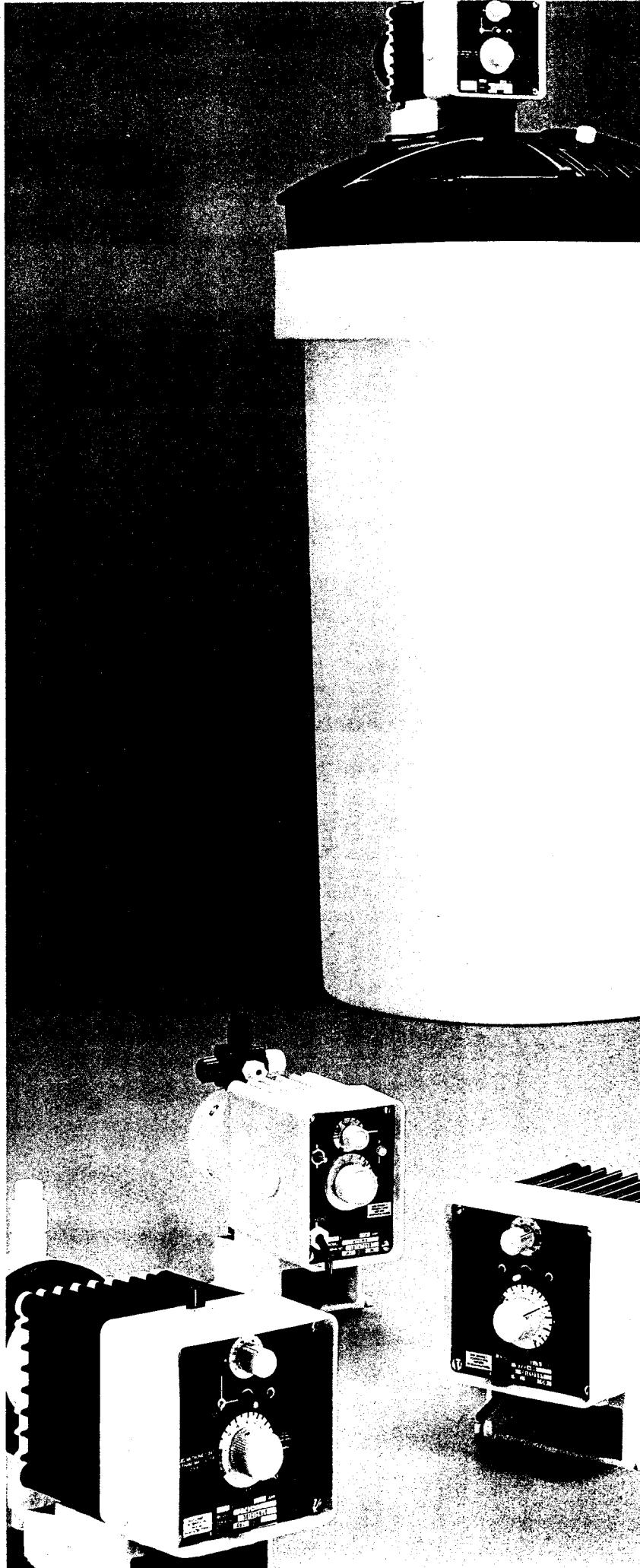
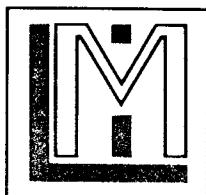
ADVANCE® DOSIFICADORES QUIMICOS TIPO SOLENOIDE



POR QUE ? ADVANCE-SOLENOIDE

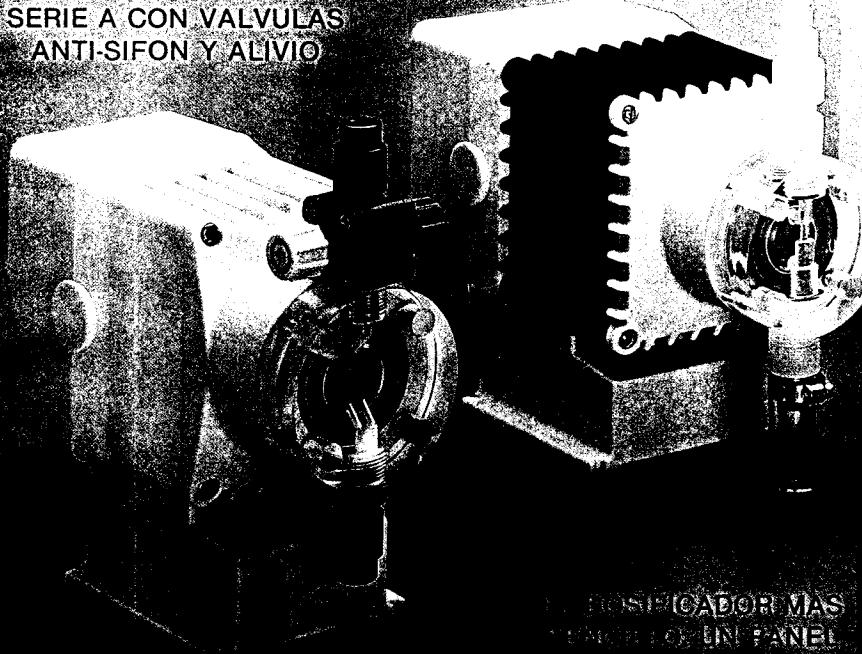


1. SENCILLAS: No poseen motor, ni engranajes, ni necesitan ser lubricadas.
2. RANGO DE AJUSTE: de hasta 300:1.
3. MANEJA: ácidos, álcalis, solventes, biocidas, soluciones viscosas, etc.
4. PUEDEN OPERAR CON:
 - Corriente alterna, 110-220 V/60 HZ
 - Corriente directa, batería de 12 V.
5. CAPACIDADES: entre 0.05 y 480 GPD 0.008 y 76 LT/HR.
6. CONTRA-PRESIONES: de hasta 300 psi.
7. ADAPTABILIDAD A CONTROLES EXTERNOS. Responde automáticamente a medidores de flujo, instrumentos, etc.
8. NO REQUIEREN VALVULA DE ALIVIO.
9. CONSUMEN UN MINIMO DE ENERGIA.
10. NO GENERAN CALOR.
11. CUBIERTA DE REFORZADO TERMOPLASTICO A PRUEBA DE ATAQUE QUIMICO.

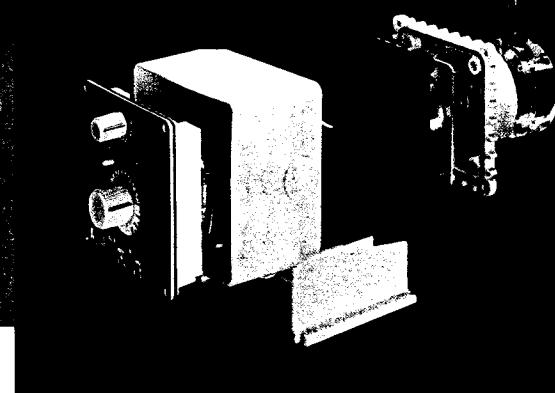
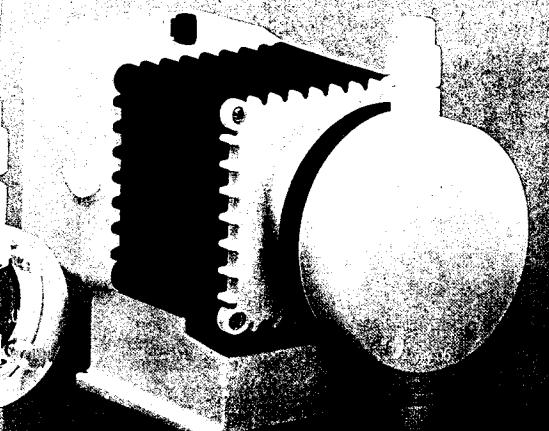


SERIE B CON CABEZAL PARA SOLUCIONES VISCOSAS

SERIE A CON VALVULAS ANTI-SIFON Y ALIVIO



SERIE C CON CABEZAL PARA SOLVENTES



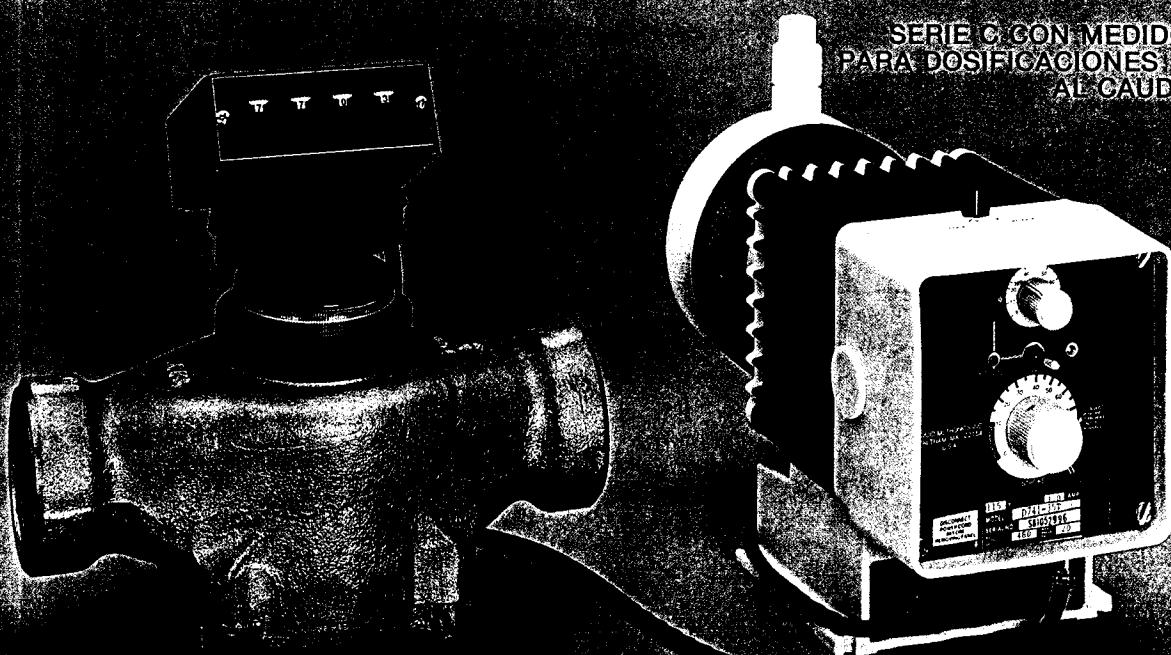
SERIE A

Son dosificadores sencillos en los cuales la velocidad y longitud de impulsos son controlados en forma independiente, lo cual permite un rango de ajuste de por lo menos 100:1. Los modelos A5, A10 y A14 se caracterizan por ser dosificadores económicos. Los modelos A15A, A24A y A48A pueden responder en forma automática a señales externas de analizadores y/o medidores de flujo. El modelo A15E tiene un rango de ajuste de 300:1. (Ver especificaciones en la página 3).

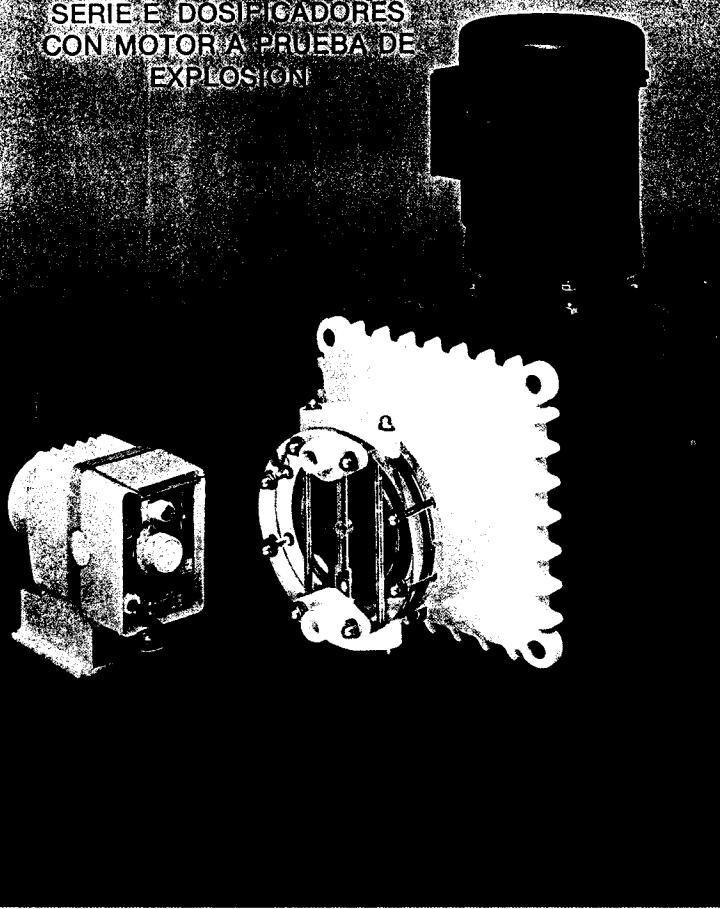
SERIES B y C

Además de poder ajustar independientemente la velocidad y longitud de impulsos, permiten rango de ajuste de 200:1, responder a señales de analizadores automáticos ajustando la dosificación a un residual deseado, ser utilizados con el medidor/contador para dosificaciones proporcionales al caudal (Ver modelos y características en la última página).

SERIE C CON MEDIDOR/CONTADOR PARA DOSIFICACIONES PROPORCIONALES AL CAUDAL



**SERIE E DOSIFICADORES
CON MOTOR A PRUEBA DE
EXPLOSION**



SERIE E

Estos dosificadores están diseñados para operar en atmósferas a prueba de explosión. NO POSEEN SOLENOIDES, son operados por medio de un motor eléctrico tipo XP, pero utilizan los mismos cabezales químicos de los otros dosificadores. (Ver modelos y características en la última página)

SERIE S

Similares a las SERIE B y C pero capaces de manejar soluciones "slurries" (ver modelos y características en la última página). NOTA: Estos dosificadores NO responden en forma automática a señales externas.

¡OTRAS VENTAJAS DE LOS SOLENOIDES!

- **GRAN VARIEDAD DE CABEZALES QUÍMICOS:** Capaces de manejar Soluciones Acidas, Alcalinas, Viscosas, Solventes, Biocidas, etc. Los dosificadores ADVANCE han sido probados con más de 300 químicos diferentes. Consultenos.
- **PUEDE OPERAR CON CAMBIOS DE FRECUENCIA** de 25 a 66 Hz sin que esto afecte los componentes de la unidad.
- **NO REQUIERE VALVULA DE ALIVIO**, ya que el dosificador se detiene automáticamente al sobrepasar la presión máxima de diseño.
- **NO GENERA CALOR**, por consiguiente no requiere ventilación.
- **CONSUMO DE ENERGIA MINIMO**, se puede economizar hasta 4.000 Kwh/año, si se compara con un dosificador con motor eléctrico equivalente.

¡ACCESORIOS!

- CONVERTIDORES DE SEÑAL
- TANQUES DE SOLUCION
- MEDIDORES DE FLUJO PROGRAMABLES
- CORPORACIONES
- VALVULAS ANTI-SIFON
- FLUORADORES
- AGITADORES
- INDICADORES DE NIVEL

SERIE X

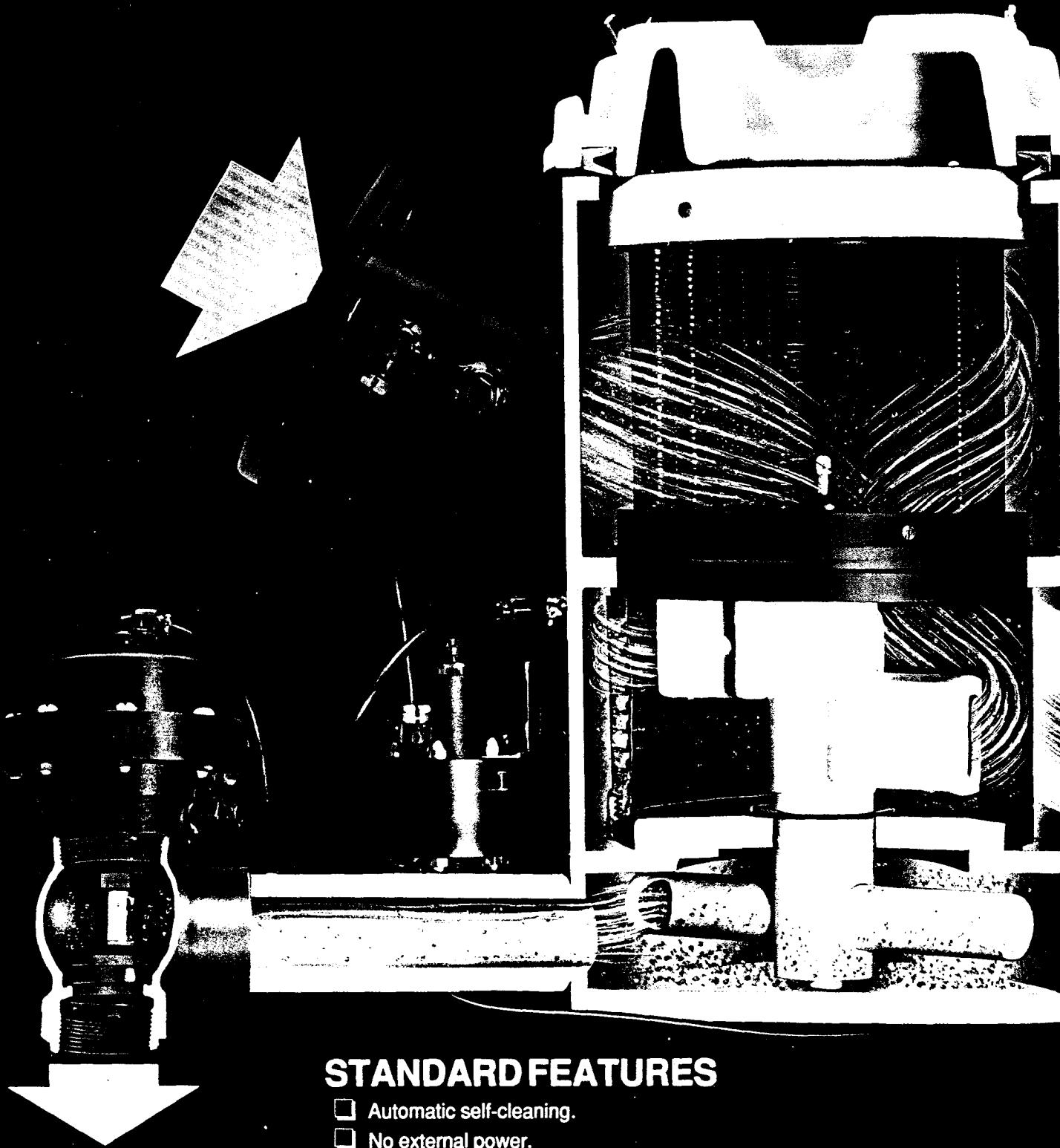
Similares a la SERIE A pero operan con baterías de 12 a 14 voltios (Ver modelos y características en la última página).

ESPECIFICACIONES SERIE A

MODELO	A5		A10		A14		A15		A15E		A15A		A24A		A48A	
CAPACIDAD	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
gal/día	0,14	5,00	0,14	10,00	0,14	14,40	0,14	14,40	0,05	14,40	0,14	14,40	0,24	24,00	0,48	48,00
gal/hr	0,006	0,21	0,006	0,42	0,006	0,60	0,006	0,60	0,002	0,60	0,006	0,60	0,01	1,00	0,02	2,00
lt/hr	0,022	0,79	0,022	1,58	0,022	2,20	0,02	2,20	0,008	2,20	0,02	2,20	0,04	3,79	0,08	7,57
ml/min	3,67	13,15	3,67	26,30	3,67	38,00	0,40	38,00	0,13	38,00	0,40	38,00	0,63	63,00	1,26	126,00
ml/pulsac.	0,12	0,41	0,12	0,41	0,12	0,41	0,08	0,38	0,08	0,38	0,08	0,38	0,13	0,63	0,26	1,26
PRESION máxima	150 psi		75 psi		40 psi		250 psi		250 psi		250 psi		110 psi		55 psi	
VOLTAJE	110/220 v		110/220v													
CONSUMO Promedio	14 watts		14 watts		14 watts		12 watts		14 watts		12 watts		28 watts		28 watts	
PESO APROX.	2,3 kg		2,3 kg		2,3 kg		4,55 kg		4,55 kg		4,55 kg		4,55 kg		4,55 kg	

MODELO	S 60		S 96		S 108		S 192		X 24		X 48	
CAPACIDADES	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
Gal/día	0,29	60,0	0,48	96,0	0,50	108,0	1,2	192,0	0,48	24,0	0,96	48,0
Litros/Hr	0,05	9,5	0,076	15,2	0,085	17,0	0,19	30,3	0,08	3,79	0,15	7,57

No Power Needed, Self-c



STANDARD FEATURES

- Automatic self-cleaning.
- No external power.
- 30 psi minimum inlet pressure
- Up to 150 psi, 140° F
- 50 micron (300 mesh)
flat stainless steel screen.

Cleaning, Water Filter System

NO MAINTENANCE

Filtomat[™], the innovative new self-cleaning water filter, provides the ultimate economical solution to all applications where dirty water is a maintenance problem. Cleaning by a simple pressure differential phenomenon, the Filtomat[™] patented system filters within all filtration ranges and in any installation requirements, even upside down.

OPERATION

Filtomat[™] water filters remove a wide variety of debris such as sand, silt, algae, rust and more from any water source with a simple operation.

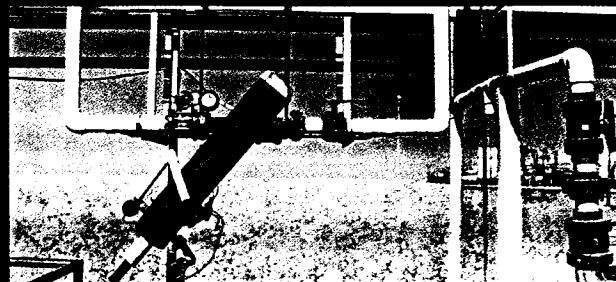
Working as dirt gradually builds up on the inside of a stainless steel screen, a pressure differential increases to a pre-determined level of approximately 7 psi. This pressure difference activates a rinse control switch and opens a rinse valve to a drain. Since the drain is at atmospheric pressure, a low pressure path is created through a hydraulic motor, and dirt collector. This low pressure, in effect 'Vacuums' the dirt from the screen at the dirt collector slot and sends it through the dirt collector, hydraulic motor, and rinse valve to the drain. As contaminated water flows out, it causes the hydraulic motor to spin the dirt collector. As the screen is cleaned, the pressure differential disappears, and the rinse control switch closes the rinse valve. This cleansing cycle lasts approximately 5 seconds and uses less than 5 gallons of water without interrupting flow.

Filtomat[™] is guaranteed the world's best filtration solution, combining advantages not found in any other water filter.

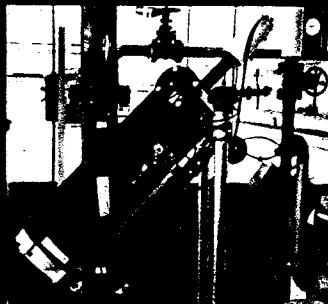
50 MODELS

Filtomat[™] offers a complete line of over 50 models and options for unlimited applications.

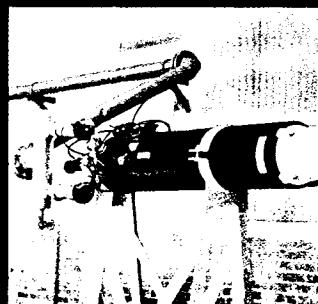
- Interchangeable fine screens down to 15 microns (0.0006"), with pleated design for extended area.
- Models available with 2" through 16" flanges.
- Single filter flow from 10 to 5,000 gpm.
- Options of high & low pressure and high temp.
- Computer controlled and monitored systems.



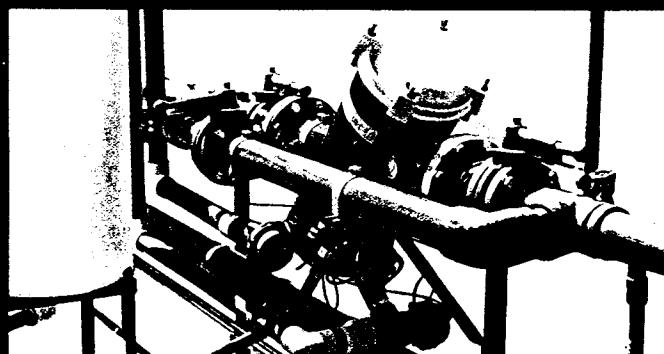
Chemical plant; final effluent treatment: model M304L, 240 gpm, 25 microns



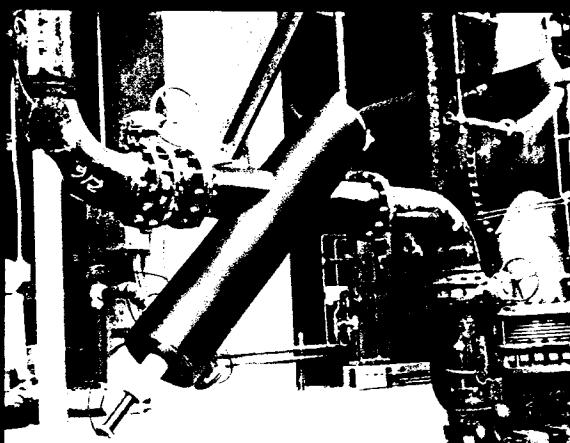
Cannery; cooling water: model M306, 600 gpm, 100 microns.



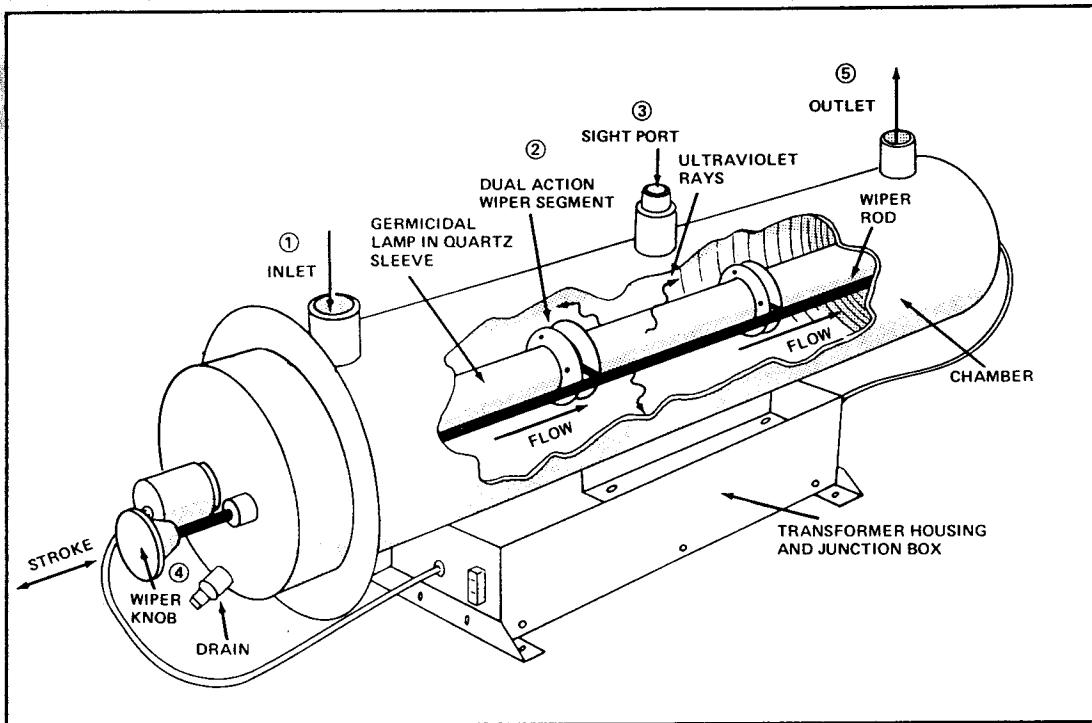
City water plant entrance: model M306LP, 600 gpm, 50 microns



Injection molding; cooling water with zero backwash discharge (dewatering): model M304, 350 gpm, 100 microns



Bio-reclamation power plant; cooling water, side stream filtration: model M310, 1500 gpm, 100 microns



PRINCIPLE OF OPERATION

- ① The water enters the purifier and flows into the annular space between the quartz sleeve and the outside chamber wall.
- ② The wiper segments induce turbulence in the flowing liquid to insure uniform exposure of suspended micro-organisms to the lethal ultraviolet rays.
- ③ The sight port enables visual observation of lamp operation.
- ④ The wiper assembly facilitates periodic cleaning of the quartz sleeve without any disassembly or interruption of purifier operation.
- ⑤ Water leaving the purifier is instantly ready for use.

GERMICIDAL ULTRAVIOLET

Ultraviolet water purification is a unique and rapid method of water disinfection without the use of heat or chemicals.

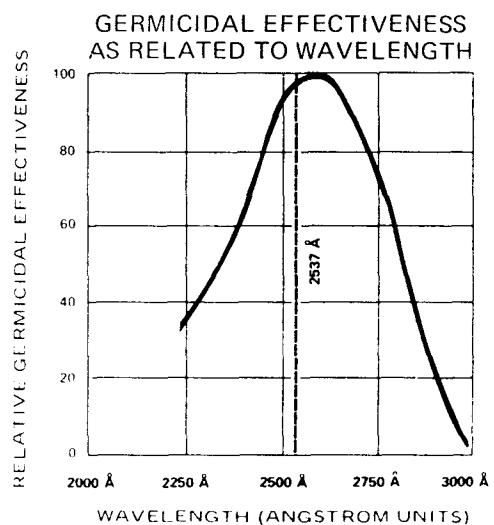
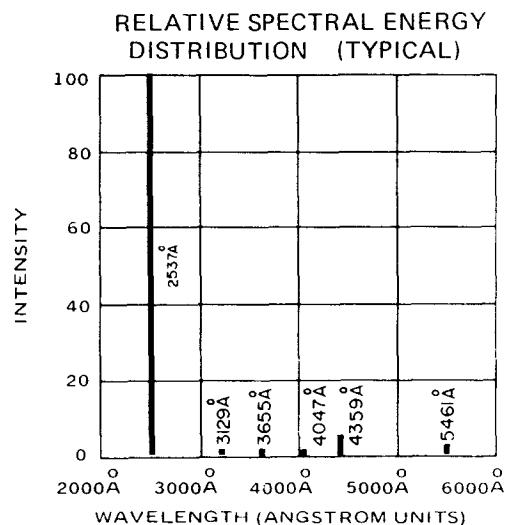
Sanitron water purifiers utilize germicidal ultraviolet lamps that produce short wave radiation that is lethal to bacteria, viruses and other micro-organisms present in common water.

These rays are shorter in wavelength than the shortest ultraviolet rays that penetrate the earth's atmosphere from the sun.

Germicidal lamps are widely used for air disinfection in hospitals, veterinaries and laboratories to protect personnel and prevent cross infection.

Pharmaceutical manufacturers, food processors and bottlers use germicidal lamps to prevent product contamination and in some instances for the cold sterilization of the finished product.

SANITRON WATER PURIFIERS



EXPOSURE NECESSARY TO KILL

The dosage necessary to inactivate a micro-organism is a product of time and intensity. An average bacterium will be destroyed if exposed in air at a distance of two inches from an S18T6VZ lamp for about two seconds.

Ultraviolet energy at 2537 \AA required for complete destruction of some micro-organisms.

Organism	$\mu\text{Wsec}/\text{cm}^2$
BACILLUS ANTHRACIS	8700
BACILLUS SUBTILIS	11000
CORYNEBACTERIUM DIPHTHERIAE	6500
DYSENTERY BACILLI	4200
EBERTHELLA TYPOSA	4100
ESCHERICHIA COLI	7040
INFLUENZA VIRUS	6600
STAPHYLOCOCCUS AUREUS	6600

When used as directed Sanitron water purifiers will provide a dosage in excess of 30,000 microwatt seconds per square centimeter. ($\mu\text{Wsec}/\text{cm}^2$)

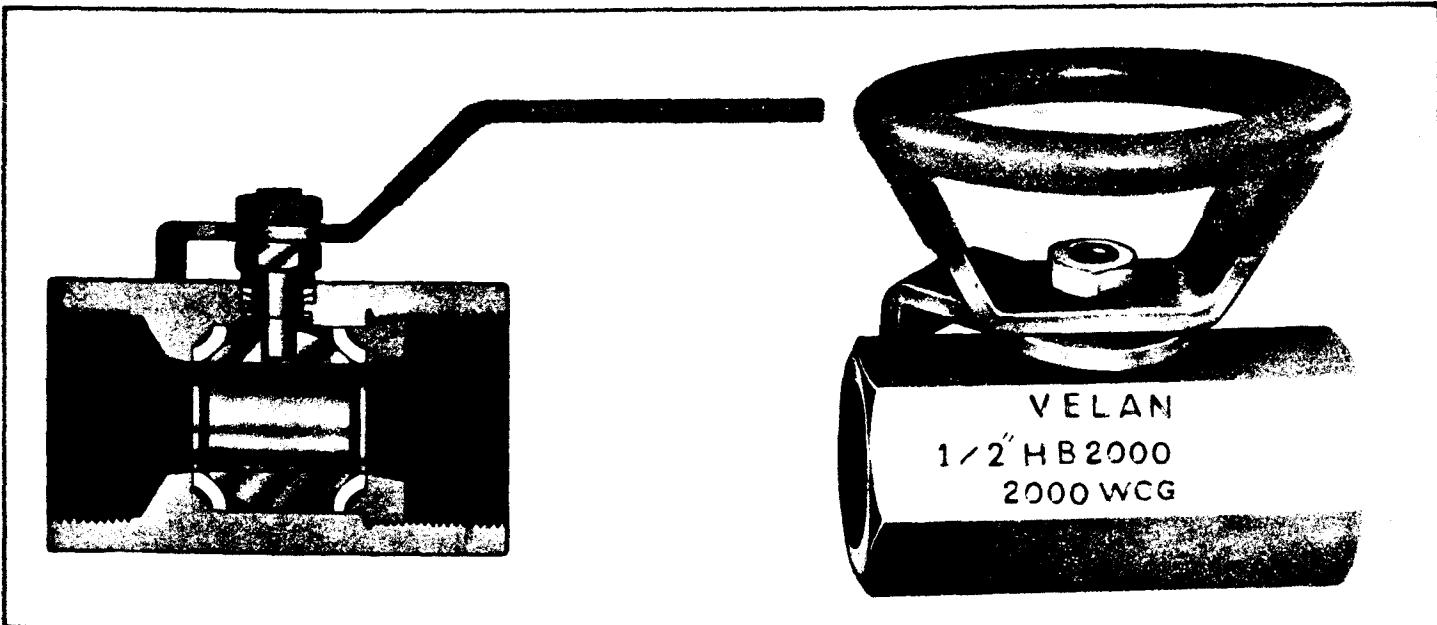
ANEXO 3.
Equipos de control y manejo de fluidos.

VELAN

**HB-2000 MEMORY SEAL BALL VALVES
ONE PIECE, CARBON AND STAINLESS STEEL
BAR STOCK, CONVENTIONAL BORE, 1/4"-2"**

THREADED ENDS

Rating: 2000 WOG, 2000 PSI — 100°F	137 Bar - 38°C	RTFE
100 PSI — 450°F	7 Bar - 232°C	
STEAM: 150 PSI	10 Bar	SEAT



DESIGN FEATURES

- Compact, one piece, hexagon body for high structural strength.
- **Stainless Steel ball and stem.**
- Unique "in-tension" seats with induced sealing memory.
- The memory seal seats compensate automatically for wear and fluctuations in pressure and temperature.
- Long cycle life.
- Tight shut-off.
- Low torque.
- Blowout-proof stem.
- Solid teflon stem seal.
- Adjustable packing by self locking gland nut.
- Stem washer prevents galling, reduces torque and provides secondary stem seal.
- Operation automatically wipes ball clean.
- Stem electrically grounded against body (optional). Grounding of ball extra.
- **Stainless Steel handle on all valves.**
- Carbon Steel valves have black oxide finish.

FIRE SAFE TO API 607, BS 6755

- Due to three secondary metal-to-metal seals when resilient seals evaporate in fire.

 1. ball-body edge
 2. stem shoulder-body.
 3. seat retainer-body.

APPLICATIONS

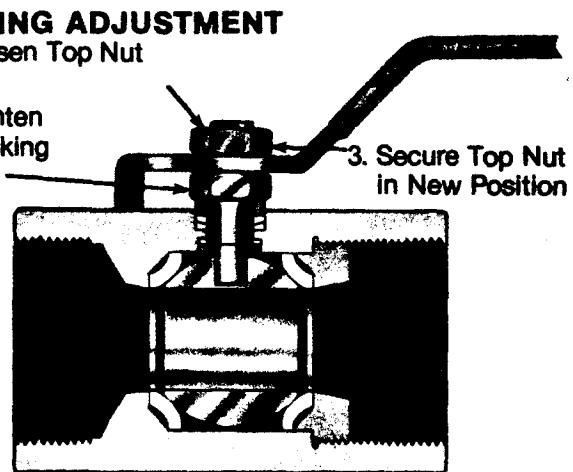
- A superior quality, low cost, rugged and universal purpose valve for all fluids, and corrosive services in endless industrial, commercial and original equipment applications. Well-suited for steam service to 150 PSI. Fire-safe, ideal for fuel lines, LP-gas and a variety of petroleum and petrochemical processes. Also available for oxygen, chlorine, high vacuum and hydrogen peroxide services.
- Valves comply with NACE MR-01-75 for sour gas service.
- An ideal valve for pneumatic or electric remote operation. Tapped holes for actuator mounting supplied if requested.

PACKING ADJUSTMENT

1. Loosen Top Nut

2. Tighten
Packing
Nut

3. Secure Top Nut
in New Position



STANDARD MATERIALS

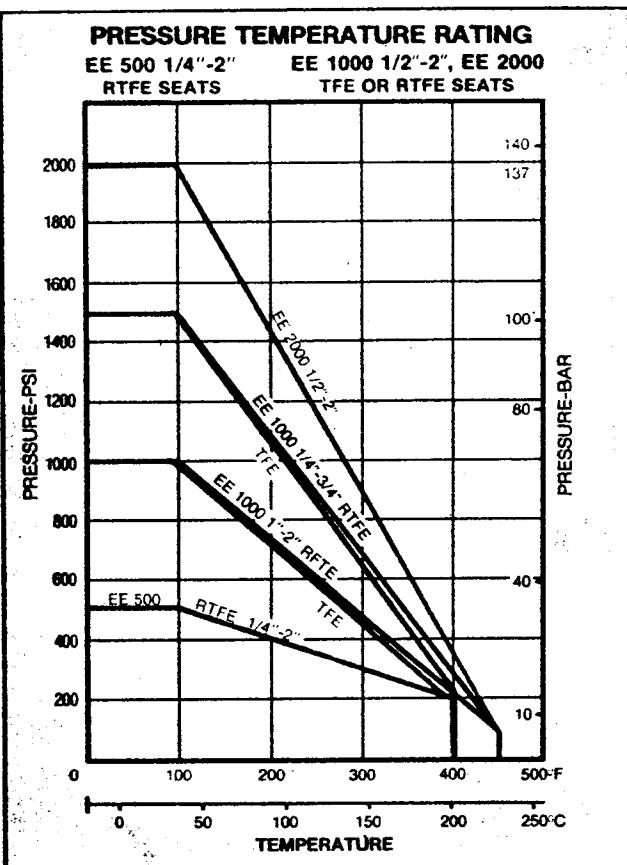
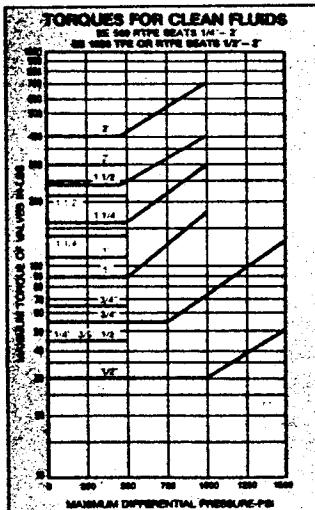
PART	BRASS TRIM - EE 500	WCB - EE 2000 SS316 - EE 1000
BODY	BRONZE B62	CF8M1
BODY END	BRONZE B62	CF8M1
BODY SEAL	TFE	TFE
BALL	BRASS B16 CR/PLATED	CF8M
SEAT	RTFE (15%)	TFE
STEM	BRASS B16	SS 316
THRUST RING	RTFE	RTFE
STEM SEAL	VITON A	RTFE
LOCK NUT	STEEL 1045/PLATED	STAINLESS
HANDLE	STEEL 1045/PLATED	STAINLESS
HANDLE COVER	PVC	PVC
BELLEVILLE WASHERS	SPRING STEEL	STAINLESS
		GLAND - STAINLESS

(1) WCB FOR EE 2000

MATERIALS AND OTHER
TECHNICAL DATA PAGE 34
AUTOMATION DATA PAGES 28-32
SPECIAL SERVICES PAGES 23-27

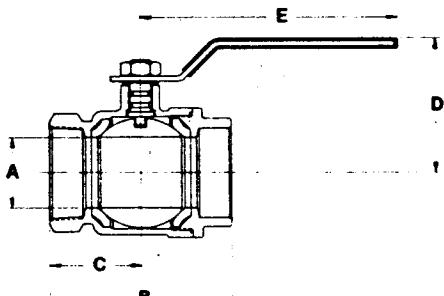
FLOW COEFFICIENT CV

Size	Cv		
	EE 500	EE 1000	EE 2000
1/4"	6	-	-
3/8"	8	-	-
1/2"	11	13.5	10
3/4"	35	50	13
1"	65	130	50
1-1/4"	110	170	130
1-1/2"	170	220	140
2"	300	370	240



TORQUE DETAILS ON PAGES 28 - 30

DIMENSIONS AND WEIGHTS



DIMENSIONS AND WEIGHTS

EE 500 MANUAL					Total Weight	
SIZE	A	B	C	D	E	Lbs. Kg.
1/4"	.37	1.97	.99	1.63	3.33	0.5
6 mm	10	50	25	42	85	0.2
5/16"	.37	1.97	.99	1.63	3.33	0.4
9 mm	10	50	25	42	85	0.2
1/2"	.47	2.24	1.12	1.89	3.88	0.6
13 mm	12	57	29	48	99	0.3
3/4"	.65	2.49	1.25	2.09	3.88	0.8
19 mm	17	63	32	53	99	0.4
1"	.88	3.07	1.54	2.47	4.33	1.5
25.4 mm	23	78	39	63	110	0.7
1-1/4"	1.02	3.50	1.76	2.58	4.33	2.2
32 mm	26	89	45	66	110	1.0
1-1/2"	1.30	3.87	1.93	3.04	6.30	3.2
38 mm	33	98	49	77	160	1.5
2"	1.69	4.49	2.24	3.33	6.30	5.2
51 mm	43	114	57	85	160	2.4

EE 1000 MANUAL					Total Weight	
SIZE	A	B	C	D	E	Lbs. Kg.
1/2"	.54	2.50	1.25	2.60	4.94	.75
13 mm	13.7	63.5	31.8	66	125	0.2
3/4"	.87	3.13	1.56	3.13	5.12	1.8
19 mm	22	79.4	39.7	80	130	.82
1"	1.05	3.75	1.88	3.34	6.50	2.25
25 mm	26.7	95.3	47.6	85	165	1.02
1-1/4"	1.31	4.25	2.13	4.06	7.78	5.8
32 mm	33.3	107.9	53.9	103	198	2.6
1-1/2"	1.56	4.75	2.38	4.35	7.78	6.8
38 mm	39.5	120.7	60.3	110	198	3.1
2"	2.06	5.75	2.88	4.68	8.12	8.8
51 mm	52.2	146.1	73.0	118.7	206	4.0

EE 2000 MANUAL					Total Weight	
SIZE	A	B	C	D	E	Lbs. Kg.
1/2"	.36	2.50	1.25	2.25	4.74	.5
13 mm	9	64	32	57	120	2
3/4"	.50	3.11	1.56	2.63	4.94	1.4
19 mm	13	79	39	67	125	.6
1"	.81	3.75	1.88	3.13	5.125	2
25 mm	21	95	48	80	130	.9
1-1/4"	1.31	4.75	2.38	4.06	7.78	4
38 mm	32	121	60	103	198	1.6
2"	1.50	5.75	2.88	4.35	7.55	7.5
51 mm	38	146	73	110	198	3.4

VELAN

END ENTRY MEMORY SEAL BALL VALVES

EE 500 - BRONZE
EE 1000 SS 316
EE 2000 WCB

LARGE PORT
FULL PORT
STANDARD PORT

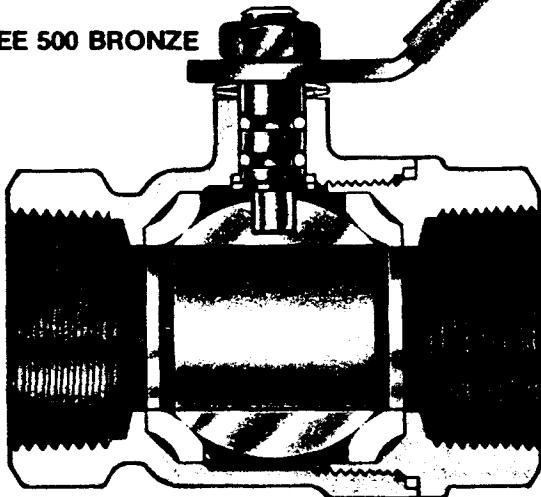
RTFE SEATS 1/2"-2"
RTFE SEATS 1/4"-2"
RTFE SEATS 1/2"-2"

RATING: EE 500 500 PSI-100°F 35 BAR 38°C
100 PSI-450°F 7 BAR 232°C

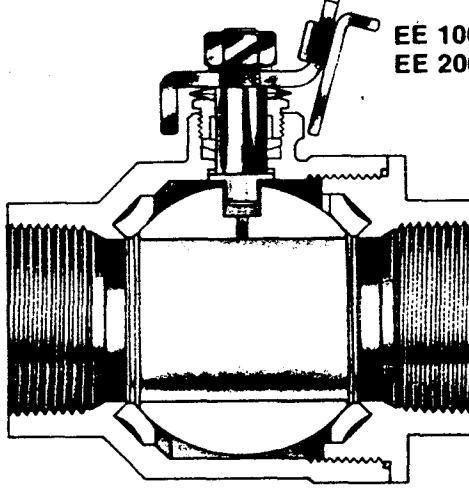
EE 1000 1500 PSI-100°F 103 BAR 38°C
100 PSI-450°F 7 BAR 232°C
STEAM 150 PSI-366°F 10 BAR 186°C

EE 2000 2000 PSI-100°F
100 PSI-450°F

EE 500 BRONZE



**EE 1000 SS 316
EE 2000 WCB**



- FIRE SAFE
- HEAVY STAINLESS STEEL HANDLE WITH SAFETY CLIP

DESIGN FEATURES

- Full bore for SS 316 (CF8M) EE 1000
- Near full bore at no extra cost for EE 500.
- Rugged two-piece design.
- Cast from pure, certified ingot. SS in CF8M investment casting (WCB).
- Unique "in-tension" seats with induced sealing memory.
- Stainless steel handle with safety clip on EE 1000 and EE 2000.
- The memory seal seats compensate automatically for wear and fluctuations in pressure and temperature.
- Tight shut-off.
- Long cycle life.
- Extremely low torque.
- Reinforced TFE seats on EE 500.
- Fully enclosed body seal plus metal-to-metal seal for body and body end.
- Blowout-proof stem.
- Double Viton "O" Rings provide automatic leakproof stem seal on EE 500.
- Fully adjustable packing on EE 1000 and EE 2000.
- Two Belleville washers live load stem-seal washer.
- Chrome plated brass ball on bronze valve.
- 316 SS Trim on EE 1000 and EE 2000 Valves.
- Operation automatically wipes ball clean.

APPLICATIONS

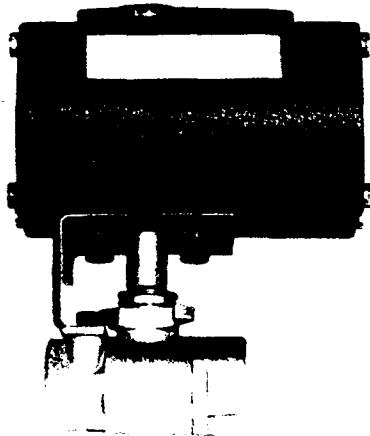
EE 500

Rugged, reliable, low-cost ball valve for plumbing, heating, air-conditioning and endless industrial, commercial and original equipment applications for water, air, oil, gas and saturated steam up to 150 PSI.

EE 1000, EE 2000

Rugged, full bore, all stainless steel (CF8M) ball valve for corrosive service. Fire safe to API607, BS 6755. In WCB EE 2000, Standard Bore.

Valves can be equipped with air or electric actuators for remote automatic valve service.



AIR ACTUATED VALVES
EE 1000
EE 2000



PRESSURE REGULATOR

Model 7066

FEATURES

- 440 stainless steel construction for more demanding applications.
- Ideal for multiple pump... multiple gun installations.
- All Teflon and viton elastomers for temperature and fluid compatibility.
- Top adjusting knob and locking nut allows for easy and exact pressure adjustment.
- No external moving parts.

SPECIFICATIONS

	U.S. Measure	Metric Measure
Maximum Flow	1-12 GPM	(4-45 L/M)
Maximum Pressure	3000-5000 PSI	(210-345 BAR)
Temperature	180° F	(82° C)
Inlet Port Size	1/2" NPT	(1/2" NPT)
Discharge Port Size	3/4" NPT	(3/4" NPT)
Weight	3.8 lbs.	(1.7 Kg)
Dimensions	6.7" x 2.5"	(169 x 63.5 mm)

WARRANTY

WARRANTY: CAT PUMPS CORPORATION (hereafter called the Corporation) warrants that the goods sold hereunder will be free from defects in materials and workmanship for 90 days from the date of original shipment to the buyer. It is expressly agreed that the Corporation's liability hereunder shall in no event exceed the purchase price paid for any defective goods, and the Corporation's sole obligation, and the buyer's exclusive remedy, shall be limited, at the Corporation's election, to the Corporation's repairing, replacing, or refunding the purchase price paid for the defective goods. In no event shall the Corporation be liable for any damages, including but not limited to loss of use and loss of profits, caused by any defects in the goods sold hereunder, whether such damages occur, or are discovered, before or after repair or replacement. Moreover, all warranty claims are subject to inspection at CAT PUMPS facilities in Minneapolis, Minnesota. If goods returned for inspection

have been disassembled or otherwise tampered with, all warranty commitments by the Corporation shall be null and void.

No agent, employee or representative of CAT PUMPS has any authority to bind the Corporation to any affirmation, representation, or warranty concerning the goods sold hereunder, and unless an affirmation, representation, or warranty made by an agent, employee, or representative is specifically included in writing within these Conditions of Purchase, it shall not be enforceable by the buyer. In addition, IT IS EXPRESSLY AGREED THAT THE WARRANTY CONTAINED HEREIN SHALL BE THE EXCLUSIVE AND ONLY WARRANTY TO PASS WITH THE GOODS SOLD HEREUNDER AND SAID WARRANTY SHALL BE IN LIEU OF ALL WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS.

WORLD LEADER IN TRIPLEX HIGH PRESSURE PUMPS

INSTALLATION: A pulsation dampener should be mounted as close to the point of pulsation as possible, preferably directly onto the discharge manifold.

Before installing a pulsation dampener, check the precharge.
Optimum accumulator performance is obtained when the precharge is calibrated at 50% of the system operating pressure. This precharge should be checked every 90 days. Periodic checks of your accessories will prolong the life of the accessory and your system.

NOTE: Approximately 50 PSI of pressure or less is lost during the checking of your precharge.

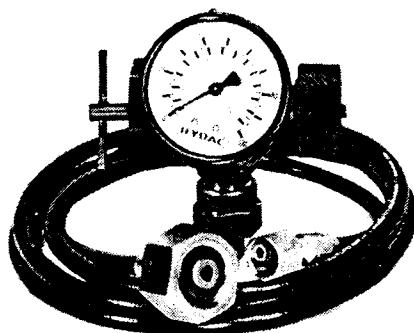
Before installing a pulsation dampener, be certain the sealed valve at the top of the accumulator is securely tightened to assure no loss of pressure during operation.

NOTE: These pulsation dampeners are *nitrogen precharged to 450 PSI* at the time of shipment. Do not use oxygen under any circumstances. This might lead to explosion.

CAUTION:

A gas regulator must be mounted between the nitrogen tank and the hose connection from the Filling and Gauging Assembly to enable you to regulate to 50% of the desired system pressure and to prevent excessive pressure being transmitted directly to the accumulator.

THIS OVERPRESSURIZATION WILL VOID THE WARRANTY.



30940 Filling and Gauging Assembly.

FILLING AND GAUGING INSTRUCTIONS

The following are the steps in both checking the precharge of the accumulator and recharging if there should be a loss of pressure or a need for adjustment.

1. Before checking your precharge, **SHUT OFF YOUR SYSTEM**.
2. Slightly loosen the sealed valve at the top of the accumulator using a 6 mm long handled allen wrench and thread on the Filling and Gauging Assembly hand tight.
3. Be certain the **SIDE BLEED VALVE** on the gauging assembly is **CLOSED**.
4. Slowly open the **LARGE "T" VALVE** at the top of the gauging assembly until completely open. The gauge on the assembly will read the precharge in the accumulator.
5. Completely back off (**CLOSE**) the valve on the gas regulator, open the nitrogen tank valve and read the nitrogen tank pressure on the first gauge.
6. If the reading on the gauge assembly is 50% of the system pressure, close the top "T" valve and proceed to step 9.
7. If the precharge is too high, keep the top "T" valve open and slowly open the small "T" valve on the side of the gauging assembly to bleed off pressure.
8. If the pressure is less than 50% of the system pressure, slowly open the gas regulator valve until the desired precharge is reached on the second gauge.
9. When the gauge reads the required precharge, close the large "T" valve on the top of the gauging assembly to lock the precharge in the accumulator.
10. Back off (**CLOSE**) the gas regulator valve. NOTE: With the optional ball valve. **DO NOT BACK OFF THE GAS REGULATOR VALVE**. Close the ball valve only and the pressure will be held for another accumulator.
11. Proceed with opening the small side "T" valve on the gauging assembly to relieve (bleed-off) pressure in the assembly and on the second gauge on the gas regulator.
12. Close the side "T" valve on the gauging assembly and remove the assembly from the accumulator.
13. Tighten the accumulator sealed valve and resume operation.

6013-A-1284 2

Products described hereon are covered by one or more of the following U.S. patents 3558244, 3652188, 3809508, 3920356, and 3930756



Loretöhöhe 5
CH-6300 Zug/Switzerland

Tel. INT'L + Switzerland + 42 21 31 40
Fax INT'L + Switzerland + 42 21 81 33
Telex 865160 cpag ch

Distributed By:

ch



STAINLESS STEEL PULSATION DAMPENER

Model 6013

Features

- Viton Bladder for durability and special compatibility
- Nitrogen precharged to eliminate moisture and bladder deterioration
- Convenient bottom port for easy mounting directly onto discharge manifold
- Sealed valve for positive pressure lock
- 316 Stainless Steel Housing for special compatibility

SPECIFICATIONS

	U.S.	Metric		U.S.	Metric
Maximum Flow	40 GPM	(151 L/M)	Diameter	4.440"	(113 mm)
Max. Work Pres.	3000 PSI	(210 BAR)	Length	7.790"	(198 mm)
Safety Factor	4/1	(4/1)	Port Size	1" NPTM	(1" NPTM)
Precharge	450 PSI	(31 BAR)	Weight	7.28 Lbs.	(3.3 Kg)
Max. Oper. Temp.	180°F	(82°C)	Volume	42.7 cu in	(700 cc)

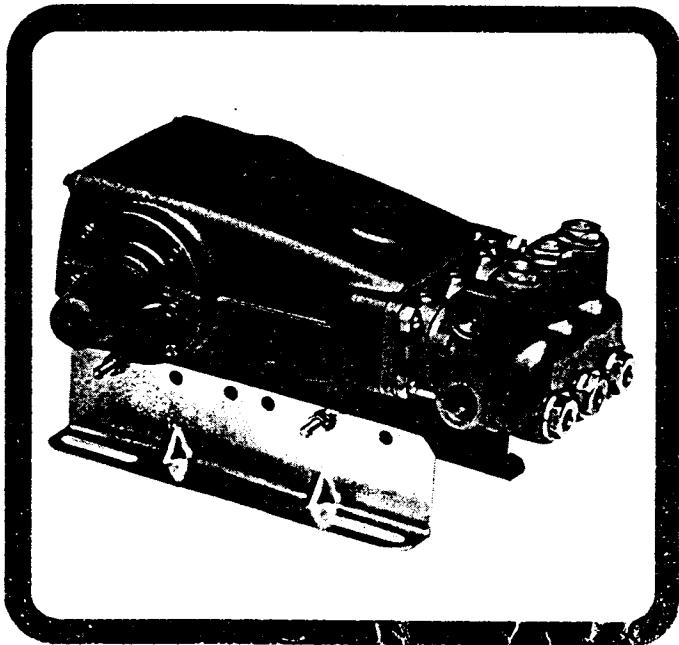
WARRANTY

WARRANTY: CAT PUMPS CORPORATION (hereafter called the Corporation) warrants that the goods sold hereunder will be free from defects in materials and workmanship for 90 days from the date of original shipment to the buyer. It is expressly agreed that the Corporation's liability hereunder shall in no event exceed the purchase price paid for any defective goods, and the Corporation's sole obligation, and the buyer's exclusive remedy, shall be limited, at the Corporation's election, to the Corporation's repairing, replacing, or refunding the purchase price for the defective goods. In no event shall the Corporation be liable for any damages, including but not limited to loss of use and loss of profits, caused by any defects in the goods sold hereunder, whether such damages occur, or are discovered, before or after repair or replacement. Moreover, all warranty claims are subject to inspection at CAT PUMPS facilities in Minneapolis, Minnesota. If goods returned for inspection

have been disassembled or otherwise tampered with, all warranty commitments by the Corporation shall be null and void.

No agent, employee or representative of CAT PUMPS has any authority to bind the Corporation to any affirmation, representation, or warranty concerning the goods sold hereunder, and unless an affirmation, representation, or warranty made by an agent, employee, or representative is specifically included in writing within these Conditions of Purchase, it shall not be enforceable by the buyer. In addition, IT IS EXPRESSLY AGREED THAT THE WARRANTY CONTAINED HEREIN SHALL BE THE EXCLUSIVE AND ONLY WARRANTY TO PASS WITH THE GOODS SOLD HEREUNDER AND SAID WARRANTY SHALL BE IN LIEU OF ALL WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS.

WORLD LEADER IN TRIPLEX HIGH PRESSURE PUMPS



FEATURES

SUPERIOR DESIGN

- Triplex plunger design gives smoother fluid flow.
- Wetted seal port keeps high pressure seals completely lubricated and cooled.
- Inlet and discharge valve and seat assemblies interchange for easier maintenance.
- Lubricated low pressure seal provides double protection against external leakage.
- Oil bath crankcase assures proper lubrication.
- Plunger design results in extra quiet operation.
- The close tolerance concentricity of the ceramic plunger maximizes seal life.

QUALITY MATERIALS

- Special Nitronic-50 valves and seats for extended valve life.
- Nickel Aluminum Bronze manifold and plugs, 316 Stainless Steel seal cases and adapters for corrosion resistance.
- Polished surface of solid ceramic plungers results in extended seal life.
- Extra hard finish of ceramic plunger is durable and abrasion resistant.
- Die cast aluminum crankcase provides lightweight strength and precision tolerance control.
- Forged, chrome-moly nitrided, crankshaft gives unmatched strength and surface hardness.
- Oversized crankshaft bearings mean longer bearing life.

EASY MAINTENANCE

- Wet end is easily serviced without entering crankcase, requiring less time and effort.
- Valve assemblies are accessible without disturbing piping, for quick service.
- Preset packings mean no packing gland adjustment is necessary, reducing maintenance costs.

Corrosion-Resistant Plunger Pump Model 1057

SPECIFICATIONS

	U.S. Measure	Metric Measure
Volume	10 GPM.	(38 L/M)
Discharge Pressure	2200 PSI	(155 BAR)
RPM	1000 RPM	(1000 RPM)
Max. Inlet Pressure	5 to 60 PSI	(-0.35 to 4 BAR)
Maximum Fluid Temperature	160°	(71°C)
Alternate Specifications		
Volume	★ 12 GPM	(45 L/M)
Discharge Pressure	★ 1800 PSI	(125 BAR)
RPM	★ 1200 RPM	(1200 RPM)
Max. Inlet Pres.- ★ Dual Inlet Feed	0 to 60 PSI	(0 to 4 BAR)
Maximum Fluid Temperature	★ 100°F	(38°C)
Bore	0.945"	(24 mm)
Stroke	1.180"	(30 mm)
Crankcase Capacity	42 oz.	(1.26 L)
Maximum Fluid Temperature	100°F	(38°C)
Inlet Ports(2)	3/4" NPT	(3/4" NPT)
Discharge Ports(2)	1/2" NPT	(1/2" NPT)
Pulley Mounting	Either side	(Either side)
Shaft Diameter	1.180"	(30 mm)
Weight	44 lbs.	(19.9 kg)
Dimensions	15.83" x 12.99" x 6.46" (402 x 330 x 164 mm)	

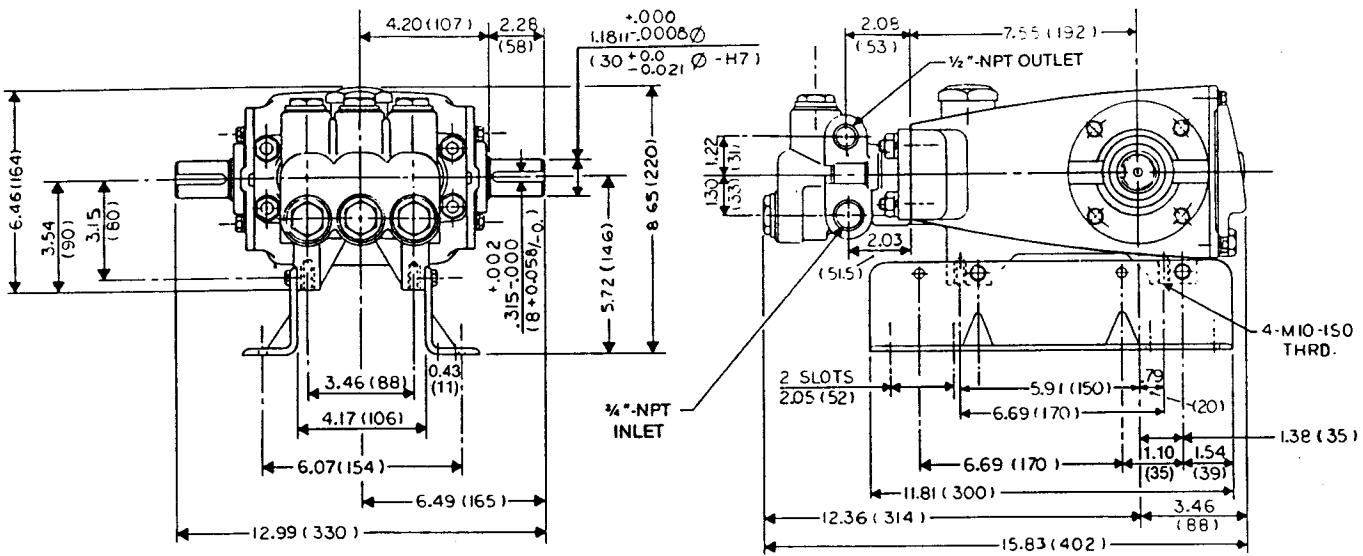
All ★ specifications are required to operate above 10 GPM.

HORSEPOWER REQUIREMENTS

Flow		PRESSURE			MOTOR PULLEY SIZE	
		PSI 1800	PSI 2000	PSI 2200	Using 1725 RPM Motor & Std. Pump Pulley O.D.	
GPM	L/M	BAR 125	BAR 140	BAR 155	RPM	Pulley O.D.
12.0	45	14.9	N/A	N/A	1200	6.8
10.0	38	12.4	13.7	15.0	1000	5.7
9.0	34	11.2	12.4	13.6	900	5.1
DETERMINING THE PUMP R.P.M.		Rated G.P.M.	=	"Desired" G.P.M.		
		Rated R.P.M.	=	"Desired" R.P.M.		
DETERMINING THE REQUIRED H.P.		GPM x PSI	=	Electric Brake		
		1460	=	H.P. Required		
DETERMINING MOTOR PULLEY SIZE		Motor Pulley O.D.	=	Pump Pulley O.D.		
		Pump R.P.M.	=	Motor R.P.M.		

Note: Consult engine manufacturer when using gas or diesel engine

WORLD LEADER IN TRIPLEX HIGH PRESSURE PUMPS



Completely interchangeable inlet and discharge valves for easy service.

Polished, solid ceramic plunger for resistance to corrosion and abrasion, which means a longer service life.

Main bearings are oversized for longer pump life.

Corrosion-resistant Nitronic 50
inlet and discharge valves and
plunger rod.

100% wetted seal design lubricated and cooled by pumped fluid on both sides for extended seal life.

Stainless steel plunger rod for strength.

Nickel
Aluminum
Bronze
Plunger Re-
tainer and
Valve Plugs

Pre-set seals require no adjustment.

Matched oversized connecting rods are of Zamak, a material noted for strength and bearing quality.

Nickel
Aluminum
Bronze
Plunger Re-
tainer and
Valve Plugs

Corrosion-resistant rig... in pressure seal garter spring.

Diecast aluminum crankcase means high strength, light weight and excellent tolerance control.

Stainless steel slinger keeps pumped fluid out of crankcase.

Corrosion-resistant crankshaft is nitrided chrome-moly forged. Cat Pumps is the only pump manufacturer in the world utilizing this quality.

1057-S 388-31 5M

Products described hereon are covered by one or more of the following U.S. patents 3558244, 3652188, 3809508, 3920356, and 3930756



CAT PUMPS AG

Loretahöhe 5
CH-6300 Zug/Switzerland

Tel. INT'L + Switzerland +42 21 31 40
Fax INT'L + Switzerland +42 21 81 33
Telex 865 160 cpag ch

Distributed By:

186713



EV

Válvulas de solenoide

Gama de presión diferencial de agua
 La presión diferencial es uno de los parámetros más importantes a la hora de elegir la combinación correcta de elementos de válvula y de bobina. La válvula no puede abrirse si la presión diferencial es demasiado elevada y si es inferior a un valor mínimo en el caso de válvulas servo-accionadas.

La tabla representa los valores límites que corresponden a las diferentes combinaciones de válvula y bobina de versiones standard.

Todos los valores se refieren a condiciones de valores desfavorables, por ejemplo

- tensión inferior a la tensión nominal
- temperatura ambiente máx.
- temperatura máx. del medio
- bobina energizada durante el 100% del tiempo

Si existen condiciones de presión inferiores a estos valores, sírvanse consultar Danfoss.

Combinaciones de válvula/bobina

Válvula	Bobina						
	9 W ~	10 W ~	12 W ~	20 W ~ con rectificador	15 W ...	18 W ...	20 W ...
Tipo	bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
EVI 1,5	0 → 30	0 → 30	0 → 30	0 → 30	0 → 20	0 → 20	0 → 30
EVI 2	0 → 20	0 → 30	0 → 30	0 → 30	0 → 10	0 → 14	0 → 20
EVI 3	0 → 10	0 → 20	0 → 30	0 → 20	0 → 4	0 → 6	0 → 10
EVI 6	0 → 1	0 → 1,2	0 → 1,5	0 → 1,2	—	0 → 0,4	0 → 1,2
EVI 10	—	0 → 0,7	0 → 1,1	0 → 0,7	—	0 → 0,2	0 → 0,4
EVI 15	—	0 → 0,09	0 → 0,2	0 → 0,09	—	—	0 → 0,09
EVI 20	—	0 → 0,055	0 → 0,15	0 → 0,055	—	—	0 → 0,55
EVI 25	—	0 → 0,035	0 → 0,07	0 → 0,035	—	—	0 → 0,35
EVS 6	0,1 → 20	0,1 → 20	0,1 → 20	0,1 → 20	—	0,1 → 10	0,1 → 20
EVS 10	—	—	—	—	—	—	—
EVS 12	0,3 → 10	0,3 → 10	0,3 → 10	0,3 → 10	—	—	0,3 → 10
EVS 18	—	—	—	—	—	—	—
EVS 15	—	—	—	—	—	—	—
EVS 20	—	—	—	—	—	—	—
EVS 25	—	—	—	—	—	—	—
EVS 32	0,3 → 10	0,3 → 10	0,3 → 10	0,3 → 10	0,3 → 10	0,3 → 10	0,3 → 10
EVS 40	—	—	—	—	—	—	—
EVS 50	—	—	—	—	—	—	—
EVSIT 12	—	0 → 6	0 → 6	0 → 6	—	—	0 → 6
EVSIT 18	—	—	—	—	—	—	—
EVSIT 22	—	—	—	—	—	—	—
EVSIT 65	—	—	—	—	—	—	—
EVSIT 80	—	0,25 → 10	0,25 → 10	0,25 → 10	—	—	0,25 → 10
EVSIT 100	—	—	—	—	—	—	—

Sizing example

Valve type	Min. water quantity*) [1] (m³/h)	Pressure drop across valve	
		[2] 1 bar	[3] 3 bar
EVI 1.5	0	0.05	0.09
EVI 2	0	0.15	0.25
EVI 3	0	0.3	0.5
EVSI 6	0.25	0.7	1.2
EVSI 10	0.5	1.9	2.6
EVSI 15	1.5	4.0	7.0
EVSI 20	3.0	8.0	13.0
EVSI 25	4.5	12.0	19.0
EVSI 32	7.0	17.0	30.0
EVSI 40	12.0	25.0	40.0
EVSI 50	20.0	40.0	70.0
EVSIT 12	0	2.5	4.2
EVSIT 18	0	5.0	9.0

*) Min. water quantity per hour applies only to servo-operated valves – types EVSI which require a certain minimum differential pressure.

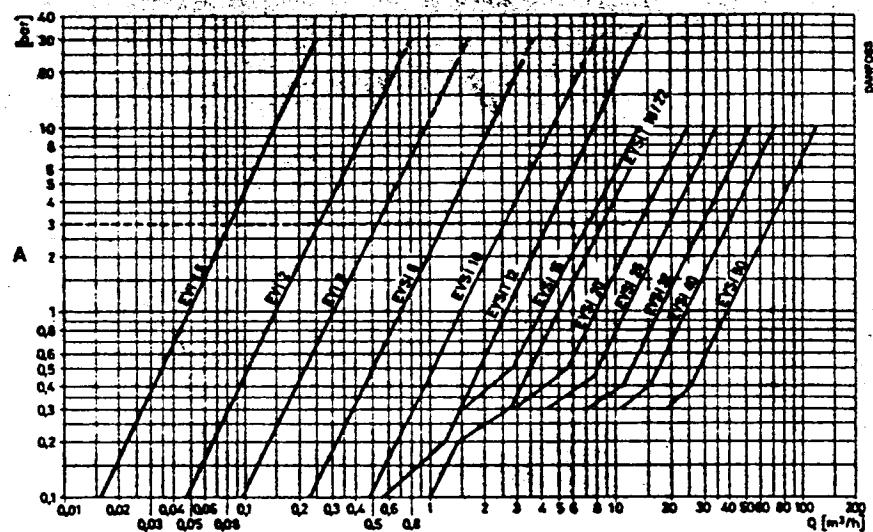
The stated minimum quantities correspond precisely to the minimum differential pressures for the valves concerned.

0 m³/h is only obtainable with direct-operated EVI valves or assisted-lift servo-operated EVSIT valves.

The minimum quantity of water to be used is 6 m³ per hour. The waterworks pressure is 3 bar, with unrestricted outlet flow from the valve. Which size of valve is correct?

In column [3] (pressure drop 3 bar) find the required water quantity. An EVSI 15 giving 7 m³/h is the correct choice.

With pressure drops other than 1 or 3 bar, use the diagram. The required quantity of water, 6 m³/h, can be found on the horizontal axis. Now draw a line vertically upwards to intersect the valve capacity curves. It can be seen that an EVSI 15 is the smallest valve giving 6 m³/h at a pressure of max. 3 bar, i.e. the required quantity of water is already obtained at a pressure drop of 2 bar (vertical axis).



A: Differential pressure Δp [bar]

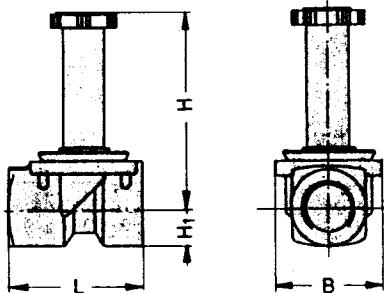
Sizing diagram for solenoid valves

Danfoss

Dimensiones y pesos

EV

Válvulas



Tipo	L mm	B mm	H ₁ mm	H ¹⁾ mm	Peso sin bobina kg
EVI 1,5-2	35	34	12	70	0,15
EVI 3	38	34	13	71	0,20
EVI 6	44,5	43,5	13	74	0,22
EVI 10	50,5	48	13	77	0,29
EVI 15	72	53	15	80	0,45
EVI 20	87	61	31 ²⁾	81	0,63
EVI 25	106	66	32 ²⁾	85	0,90
EVSI 6	44,5	43,5	13	74	0,22
EVSI 10	50,5	48	13	77	0,29
EVSI 12	58	50	13	77	0,35
EVSI 15	80	52	15	94	0,80
EVSI 18	90	56	18	83	0,65
EVSI 20	90	58	18	98	1,0
EVSI 25	109	70	22	108	1,4
EVSI 32	120	82	27	115	2,0
EVSI 40	130	95	32	124	3,2
EVSI 50	162	113	37	130	4,3
EVSI 65	320	185 ³⁾	85	180	24,0
EVSI 80	370	200 ³⁾	93	210	34,0
EVSI 100	430	220 ³⁾	103	235	44,0
EVSIT 12	58	50	13	77	0,35
EVSIT 18	90	56	18	83	0,65
EVSIT 22	90	64	23	92	0,95
EVJHS 15	81	58	23	95	1,2 ⁴⁾
EVJHS 20	81	58	24	98	1,3 ⁴⁾

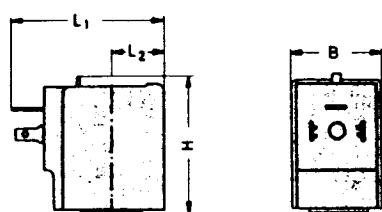
¹⁾ Para válvulas abiertas con bobina desenergizada (NO) + 5 mm
Dimensión idéntica con bobina montada

²⁾ Con eje de apertura manual en la base del cuerpo de válvula

³⁾ Diámetro de brida

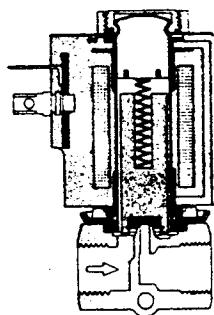
⁴⁾ El tipo EVJHS se suministra sin bobina

Bobinas

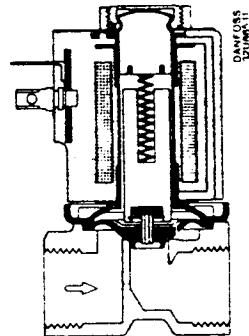


Tipo de bobina	L ₁ mm	L ₂ mm	B mm	H mm	Peso aproximado kg
9 W ~ 15 W --- IP 00	55	18	32	49	0,18
10 W ~ 18 W --- IP 00	62	22	46	49	0,3
12 W ~ 20 W --- IP 67	112	30	66	49	0,5
Con tapa de protección IP 20	+15	-	-	-	-
Con clavija AMP IP 65	+17	-	-	-	-
Caja de terminales IP 67	+30	-	-	-	-

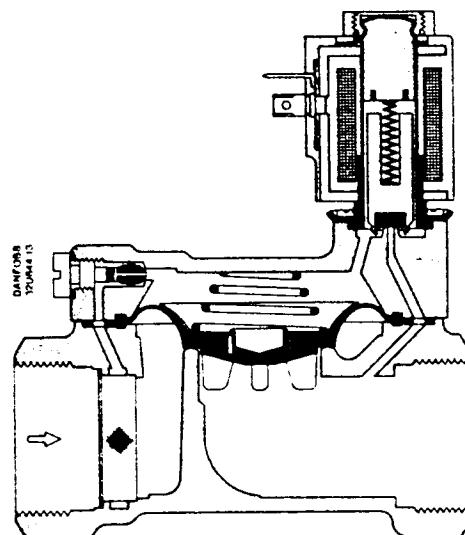
Cross-sectional drawings

DANFOSS
TYPE EVI

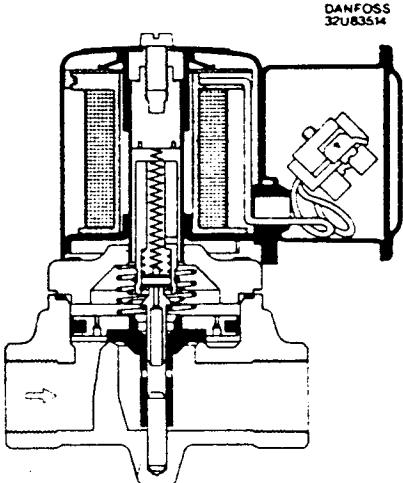
Type EVI 1.5, 2, 3
Direct operated solenoid valves

DANFOSS
TYPE EVSI

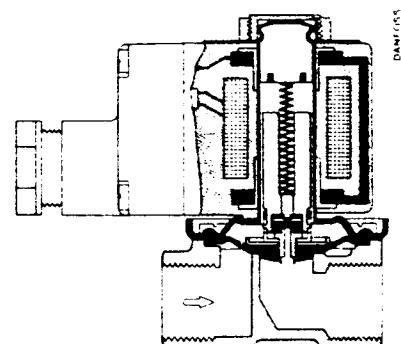
Type EVSI 6, 10, 12, 18
Servo operated solenoid valves

DANFOSS
TYPE EVSI

Type EVSI 15-50
Servo operated solenoid valves

DANFOSS
TYPE EVJHS

Type EVJHS 15-20
Servo operated solenoid valves
for steam

DANFOSS
TYPE EVSIT

Type EVSIT 12, 18, 22
Assisted lift servo operated
solenoid valves

Approvals

The valves have gained the approval of many national authorities. If further information is required, please contact Danfoss.

Installation

The valves must be installed with flow in the direction indicated by the arrow. To reduce the risk of dirt deposits, it is recommended that the valves be installed with coil upwards and that a filter be installed ahead of the valve. See page 6.

Media

The design specification of the valves emphasizes their suitability for use with water. The EVI 1.5 and 3 are also suitable for oil and air. For applications using other media, please contact Danfoss.

EVSI 15-50 for steam max. 120°C
EVJHS for steam max. 185°C

Ordering*Please state*

1. Valve type
2. Code number of valve
3. Code number of coil

Example

EVI 15 and coil 220 V, 50 Hz
032U7115 and 018Z6701

Technical specifications*Solenoid valves for water – without coil*

Connec-tion BSP int.	K_v value at $\Delta p = 1$ bar m ³ /h	Permissible differential pressure (Δp) bar min. max.	Temp. of medium at 40°C ambient temp. °C min. max.	Test pressure max. bar	Type	Code no. without coil	Length of valve mm
----------------------------	--	--	--	---------------------------------	------	-----------------------------	-----------------------------

Direct operated valves EVI

1/8	0.05	0	30	-10	+ 90	50	EVI 1.5	032U1200	35
1/4	0.05	0	30	-10	+ 90	50	EVI 1.5	032U1205	35
1/4	0.3	0	20*)	-10	+ 90	50	EVI 3	032U1220	38
3/8	0.3	0	20*)	-10	+ 90	50	EVI 3	032U1225	38

*) with d.c. voltage, 10 bar

Servo-operated solenoid valves EVSI

1/4	0.7	0.1	20	-10	+ 90	50	EVSI 6	032U1236	44
3/8	0.7	0.1	20	-10	+ 90	50	EVSI 6	032U1241	44
3/8	1.5	0.1	20	-10	+ 90	50	EVSI 10	032U1246	49
1/2	1.5	0.1	20	-10	+ 90	50	EVSI 10	032U1251	49
1/2	4	0.3	10	-30	+120	20	EVSI 15	032U7115	80
3/4	8	0.3	10	-30	+120	20	EVSI 20	032U7120	90
1	11	0.3	10	-30	+120	20	EVSI 25	032U7125	109
1 1/4	18	0.3	10	-30	+120	20	EVSI 32	032U7132	120
1 1/2	24	0.3	10	-30	+120	20	EVSI 40	032U7140	130
2	40	0.3	10	-30	+120	20	EVSI 50	032U7150	162

Assisted-lift servo-operated solenoid valves EVSIT

1/2	2.5	0	6	-10	+ 90	20	EVSIT 12	032U1271	58
3/4	5	0	6	-10	+ 90	20	EVSIT 18	032U1276	90
1	5	0	6	-10	+ 90	20	EVSIT 22	032U1280	90

Solenoid valves for steam, incl. coil

1/2	4.8	0.1	10		185	25	EVJHS 15	032U3033	81
3/4	6.0	0.1	10		185	25	EVJHS 20	032U3053	81

Coils

Type	Code no.
24 V, 50 Hz, 10 W	018Z8707
220 V, 50 Hz, 10 W	018Z8701
380 V, 50 Hz, 10 W	018Z6703
12 V, d.c., 20 W	018Z6856
24 V, d.c., 20 W	018Z6857
220 V, 50 Hz, 20 W**)	018Z7301

**) Special coil with built-in rectifier and 1 m cable – silent (no hum)

Características del fluido en las distintas
tuberías

Sch 40	d (")	Caudal (lts/h)	Velocidad del agua en la tubería (m/s)					Número de Reýnoldas				
			1600	1650	1700	1750	1800	1600	1650	1700	1750	1800
Sch 40	0.269	DN 1/8"	12.12	12.50	12.88	13.26	13.64	89515	92312	95110	97907	100704
Sch 40	0.364	DN 1/4"	6.62	6.83	7.03	7.24	7.45	66153	68220	70287	72354	74422
Sch 40	0.493	DN 3/8"	3.61	3.72	3.83	3.95	4.06	48843	50369	51896	53422	54948
Sch 40	0.622	DN 1/2"	2.27	2.34	2.41	2.48	2.55	38713	39923	41133	42342	43552
Sch 40	0.824	DN 3/4"	1.29	1.33	1.37	1.41	1.45	29223	30136	31049	31962	32876
Sch 40	1.049	DN 1"	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	22955	23672	24389	25107	25824

Sch 40	d (")	Caudal (lts/h)	Velocidad del agua en la tubería (m/s)					Número de Reýnoldas				
			1440	1485	1530	1575	1620	1440	1485	1530	1575	1620
Sch 40	0.269	DN 1/8"	10.91	11.25	11.59	11.93	12.27	80345	82856	85366	87877	90388
Sch 40	0.364	DN 1/4"	5.96	6.14	6.33	6.52	6.70	59376	61231	63087	64942	66798
Sch 40	0.493	DN 3/8"	3.25	3.35	3.45	3.55	3.65	43839	45209	46579	47949	49319
Sch 40	0.622	DN 1/2"	2.04	2.10	2.17	2.23	2.30	34747	35833	36919	38005	39091
Sch 40	0.824	DN 3/4"	1.16	1.20	1.24	1.27	1.31	26229	27049	27868	28688	29508
Sch 40	1.049	DN 1"	0.72	0.74	0.76	0.78	0.81	20603	21247	21891	22535	23179

Sch 40	d (")	Caudal (lts/h)	Velocidad del agua en la tubería (m/s)					Número de Reýnoldas				
			160	165	170	175	180	160	165	170	175	180
Sch 40	0.269	DN 1/8"	1.21	1.25	1.29	1.33	1.36	9243	9532	9820	10109	10398
Sch 40	0.364	DN 1/4"	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	6831	7044	7257	7471	7684
Sch 40	0.493	DN 3/8"	0.36	0.37	0.38	0.39	0.41	5043	5201	5358	5516	5674
Sch 40	0.622	DN 1/2"	0.23	0.23	0.24	0.25	0.26	3997	4122	4247	4372	4497
Sch 40	0.824	DN 3/4"	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	3017	3112	3206	3300	3395
Sch 40	1.049	DN 1"	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	2370	2444	2518	2592	2666

ANEXO 4.
Equipos de control electrónicos.

Sensor for Pressure SPI 121 Absolute Pressure SPI 122

APPLICATION

Sensors are a future-oriented, economical solution for measurement tasks. In conjunction with the 19" electronic transmitter DMS 178 they permit communication in the same manner as transmitters based on conventional techniques. Sensors are ideal for use with multiplexers and field bus systems.

- Measurement of pressure and absolute pressure
- Also for aggressive and corrosive liquids and gases
- Also for use in hazardous areas

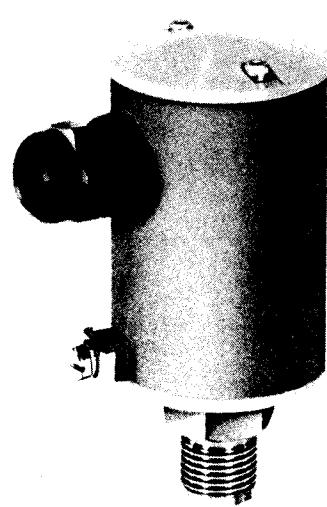
FEATURES

- Measuring principle: Metallic strain gauge element in thinfilm technic
- Pressure sensor:
 - Vacuum-proof
 - Silicone or Fluorolube filling
 - Version for oxygen use
 - No seals on process side
- Small unit size and mass
- Simple, economical mounting directly on pressure bleeder
- No electronics in the field
- High reliability
- Low energy consumption
- Standard interface
- No settings necessary in the field
- Broad ambient temperature range
- Temperature influence compensated
- Economy combined with high measuring accuracy
- Very good long-term stability

Further types:

- Sensor for differential pressure SDI 123,
data sheet 5123000
 - Sensor for differential pressure for flange mounting
SLDI 124 (liquid level), data sheet 5124000
- For transmitter DMS 178 see data sheet 5178100

For enquiries and ordering data please use text sheet (see final page).



TECHNICAL DATA (as per IEC 770)

Input

Pressure:	
Spans	0.4 bar
	1.6 bar
	6.4 bar
	25 bar
	100 bar
	400 bar
	1600 bar

Absolute pressure:

Spans	0.4 bar
	1.6 bar
	6.4 bar
	25 bar

Sensor interface

Output signal 0 to 20 mV

Power supply:

- Constant current 2 mA
Constant voltage 10 V
Sensitivity 10 mV/mA 2 mV/V

Ambient conditions

Ambient temperature -30 to +95 °C¹⁾²⁾

Relative humidity ≤ 100 %

Condensation Permissible

Transport and storage

temperature min. -40 °C

Protection class IP 65³⁾ as per IEC 529

The device can be operated at Class D₁/D₂ locations
as per IEC 654 Part 1.

Operating conditions

Overload limit See ordering table

Safety limit See ordering table

Process temperature at

the sensor -30 to +110 °C²⁾

Static behaviour

Conformity, terminal-based ≤ 0.15 %

Accuracy⁴⁾ ≤ ± 0.15 %

(conformity⁵⁾, including

hysteresis and repeatability)

Hysteresis ≤ 0.1 %

Repeatability ≤ 0.05 %

Effect of influencing variables

Line resistance:

- Constant current No influence
- Constant voltage Line resistance should be allowed for

EMC The sensor is protected against interference

Ambient temperatures:

0 to +70 °C ≤ 0.025 %/10 K on zero ≤ 0.025 %/10 K on span
-------------	--

-30 to 0 °C and +70 to +110 °C ≤ 0.05 %/10 K on zero ≤ 0.05 %/10 K on span
-----------------------------------	--

Position ≤ 0.5 mbar/10° deviation from nominal position

Mechanical vibrations

up to 500 Hz and up to 2 g ≤ 0.2 %

Drift over 6 months ≤ 0.2 %

Materials

Parts in contact with process medium:

- Diaphragm Mat. No. 1.4571/1.4404

- Product connection Mat. No. 1.4571

Filling See ordering table

Housing Mat. No. 1.4304,
cover polyamide

Mounting

Mounting type Directly on pressure bleeder⁶⁾

Product connection Nipple DIN 16288-B-G1½ A/

... Nipple DIN 16288-D-G1½ A/

... Nipple with conical male thread 1½-14 NPT

as per ANSI B 1.20.1-1983
(see ordering table)

Electrical connection

Standard Plastic screwed gland with steel conduit thread

A Pg 13.5 x 6-11

DIN 46 320-FS

for cables dia. 6 to 12 mm.
Screw terminals for wires up to 2.5 mm².

On request Screwed gland made of stainless steel Mat. No. 1.4305 instead of plastic

Weight

SPI 121 / SPI 122 approx. 0.6 kg

¹⁾ Additional equipment: max. 110 °C

²⁾ Sensors for absolute pressure SPI 122: max. 80 °C

Sensors for pressure with spans 0.4 bar to 100 bar: Protection class IP 55

Accuracy as per ANSI/ISA-S 51.1-1979

³⁾ Zero based

SAFETY

Shock protection	Class I as per IEC 348, Class III for operation with safety extra-low voltage as per IEC 348
Built-in fuses	None
Back-up fuses	Protection against electric shock must be provided on the system side (Class I).

Voltage U	Current I	Power P	Temperature class		
			T6	T5	T4
30 V	15 mA	50 mW	75 °C	90 °C	125 °C
	20 mA	100 mW	65 °C	80 °C	115 °C
	30 mA	200 mW	45 °C	60 °C	95 °C
	38 mA	300 mW	-	40 °C	75 °C
	45 mA	400 mW	-	-	55 °C

Internal inductance 1 mH.
Internal capacitance negligible.

Special requirements

Because the sensor circuit is grounded through transient voltage suppressors, it is essential to ensure that there is common potential equalization inside and outside the potentially explosive area along the conductor run.

Explosion protection Zone 2²⁾

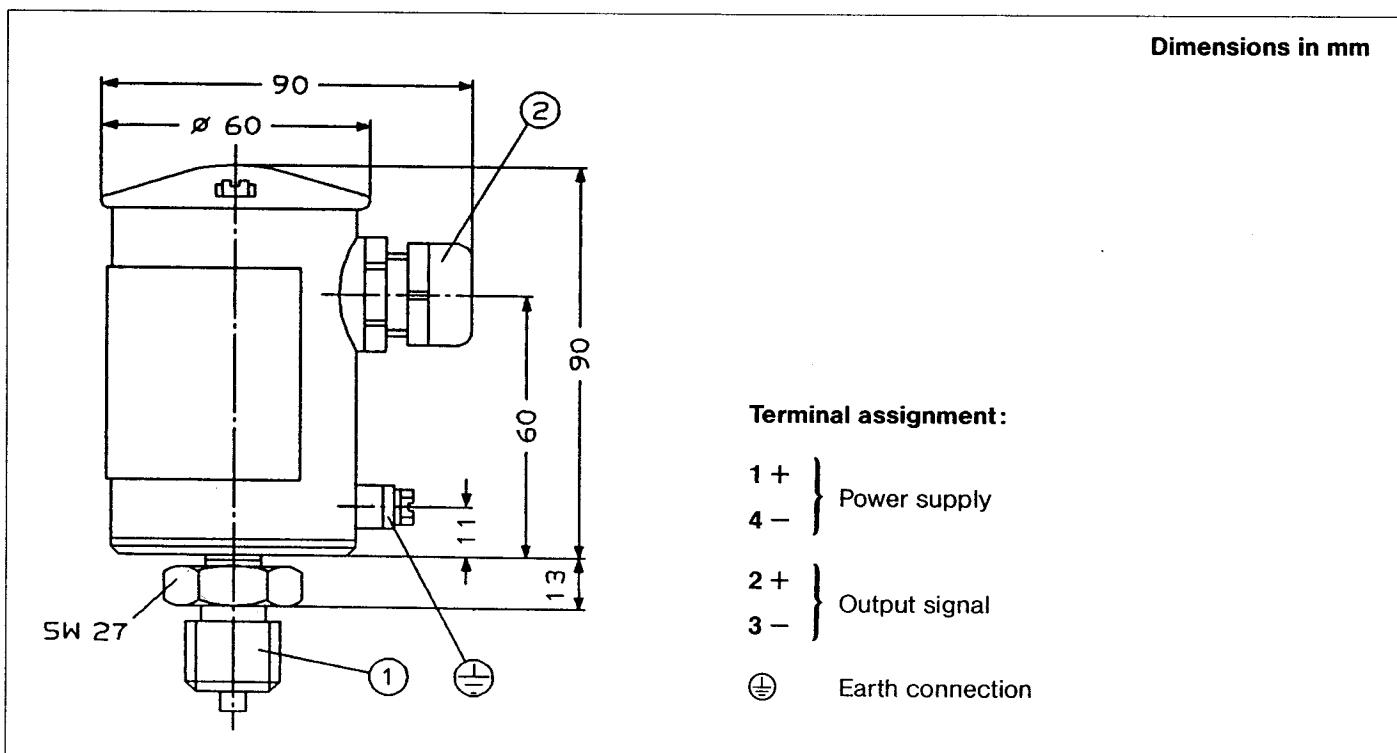
It is recommended that the explosion protected instrument version be used.

EXPLOSION PROTECTION¹⁾²⁾

Type BIA 587
 Type of protection EEx ia IIC T6
 Certificate of conformity PTB Nr. Ex-88.B.2109 X
 For use in hazardous areas in circuits certified as being intrinsically safe.
 The maximum values of U, I and P are shown in the table below as well as the temperature class and the ambient temperature.

¹⁾ Only on request

²⁾ The national installation regulations must be observed

DIMENSIONS

(1) Connection nipple (see ordering table).

For connection of sensor to pressure bleeder the accessory listed in DIN 16250 (outline) can be used depending on pressures.

(2) Bush: Screwed gland DIN 46 320-A Pg 13.5 x 6-11-FS for cables dia. 6 to 12 mm.

Terminals: Screw terminals for wires up to 2.5 mm² (including wire-end sleeves).

(3) Earth connection

APPLICATION EXAMPLES

<p>Connection to 19" electronic transmitter DMS 178</p>	<p>The diagram illustrates the connection between a sensor in the field and a DMS 178 transmitter in the control room. In the field, four sensors (labeled 1+, 2+, 3+, and 4-) are connected in a bridge circuit. The output of the bridge is a 0...20 mV signal. The transmitter DMS 178 receives this signal via terminal z2+ and provides a 2 mA current signal through terminal 1+. The transmitter also receives a 24 V supply voltage through terminal 24 V. The transmitter's output is a 0/4...20 mA signal, which is fed into a process control system.</p>
<p>Connection to process control system via field multiplexer</p>	<p>The diagram shows a connection from multiple sensors to a process control system via a field multiplexer. The sensors are connected to a field multiplexer (field station), which then connects to a field bus. The field bus connects to a process control system. The field multiplexer also has a direct connection to the process control system.</p>
<p>Connection to process control system via control room multiplexer</p>	<p>The diagram shows a connection from multiple sensors to a process control system via a control room multiplexer. The sensors are connected to a control room multiplexer, which then connects to a process control system. The control room multiplexer also has a direct connection to the process control system.</p>

Scanning rate for multiplexer application:

The sensor contains a purely resistive bridge circuit. With the low dissipation thermal effects due to self-heating are negligible. The scanning rate is predominantly determined not by the sensor, but rather by downstream transfer and processing system.

For use with transmitter DMS 178 see data sheet 5178100.

Bobinas

EV

9 W ~ / 15 W ---

	Tensión/ frecuencia	Tem- pe- ra- tu- ra am- bi- en- te máxi- ma °C	Protec- ción	Tipo de bobina	No. de có- digo
	24 V/50 Hz	40	IP 00	9 W ~	042N7508
	48 V/50 Hz				042N7510
	110 V/50 Hz				042N7512
	220 V/50 Hz				042N7501
	240 V/50 Hz				042N7502
	380 V/50 Hz				042N7504
	24 V/60 Hz			15 W ---	042N7520
	115 V 60 Hz				042N7522
	220 V/60 Hz				042N7523
	12 V				042N7550
	24 V				042N7551

10 W ~ / 18 W ---

	Tensión/ frecuencia	Tem- pe- ra- tu- ra am- bi- en- te máxi- ma °C	Protec- ción	Tipo de bobina	No. de có- digo
	24 V/50 Hz	80	IP 67	10 W ~	018Z6707
	110 V/50 Hz				018Z6711
	220 V/50 Hz				018Z6701
	240 V/50 Hz				018Z6702
	380 V/50 Hz				018Z6703
	110 V/50/60 Hz				018Z6730
	220 V/50/60 Hz			18 W ---	018Z6732
	12 V				018Z6756
	24 V				018Z6757
	48 V				018Z6759
	110 V				018Z6760
	220 V				018Z6751

10 W ~ / 18 W ---

	24 V/50 Hz	80	IP 00	10 W ~	018Z6057
	110 V 50 Hz	18 W ---	018Z6061		
	220 V/50 Hz		018Z6051		
	240 V 50 Hz		018Z6052		
	380 V/50 Hz		018Z6053		
	110 V 50/60 Hz		018Z6080		
	220 V/50/60 Hz		018Z6082		
	12 V		018Z6976		
	24 V		018Z6977		
	48 V		018Z6979		
	110 V		018Z6980		
	220 V		018Z6971		

12 W ~ / 20 W ---

	24 V/50 Hz	80	IP 67	12 W ~	018Z6807
	110 V/50 Hz	20 W ---	018Z6811		
	220 V/50 Hz		018Z6801		
	240 V/50 Hz		018Z6802		
	12 V		018Z6856		
	24 V		018Z6857		
	48 V		018Z6859		
	110 V		018Z6860		
	220 V		018Z6851		

10 W ~ 1 m de cable de 3 conductores

	24 V/50 Hz	80	IP 67	10 W ~	018Z6257
	110 V 50 Hz	10 W ~	018Z6251		
	220 V/50 Hz		018Z6251		
	240 V 50 Hz		018Z6252		
	380 V/50 Hz		018Z6253		
	220 V 50/60 Hz		018Z6282		
	12 V		018Z6257		
	24 V	20 W ---	018Z6251		
	48 V		018Z6252		
	110 V		018Z6253		
	220 V		018Z6282		

	24 V/50 Hz	80	IP 67	12 W ~	018Z6807
	110 V/50 Hz	20 W ---	018Z6811		
	220 V/50 Hz		018Z6801		
	240 V/50 Hz		018Z6802		
	12 V		018Z6856		
	24 V		018Z6857		
	48 V		018Z6859		
	110 V	20 W ---	018Z6860		
	220 V		018Z6851		

Variación admisible de tensión

50 Hz: +10 a -15%

50/60 Hz y tensión de c.c.: ±10%

Bobinas de repuesto para EVJHS

	24 V/50 Hz		032K7775
	110 V 50 Hz		032K7773
	220 V/50 Hz		032K7771
	240 V 50 Hz		032K7772
	380 V/50 Hz		032K7777
	48 V 50 Hz		032K7778
	220 V/60 Hz		032K7776

Si necesitan otras tensiones, sírvanse consultar Danfoss.

TRANSMITTERS

Transmitter Specifications

STANDARD TRANSMITTER

A transmitter consists of an electronics package and a sensor element designed to function in an externally powered, 2-wire closed loop system. A single 4-20 mA current signal is provided as information output for the sensed input parameter. The transmitter is designed to interface directly with existing Signet fittings.

ELECTRICAL PERFORMANCE

POWER

External 8-30 VDC (24 VDC Nom.)

CURRENT LOOP LOAD IMPEDANCE

0 to 1100 OHMS

OUTPUT

4-20 mA Isolated (Limited to 35 mA Max)

ACCURACY OF ELECTRONICS (Including Sensor)

1% of full scale nominal

MATERIALS

SENSOR HOUSING

Glass filled polypropylene or
PVDF (Flow only)

O-RINGS

Viton

ELECTRONICS ENCLOSURE

Glass filled polypropylene

ELECTRICAL INTERFACE

1/2" NPT conduit connection

ENVIRONMENTAL (External Enclosure)

AMBIENT TEMPERATURE

-30°C to 70°C (-22°F to 122°F)

RELATIVE HUMIDITY

0 to 100% (Non Condensating)

TEMPERATURE TRANSMITTER

OPERATING RANGE

Minimum span any 20°C of -10°C to 110°C
Maximum span -10°C to 110°C

Accuracy: Better than $\pm 1^\circ\text{C}$ over temperature range
Range: -10°C to 140°C
Repeatability: 0.1°C
Response Time: 5 seconds max through 63% of change
Pressure Rating: 200 psig max @ -10°C
100 psig max @ 50°C
25 psig max @ 110°C
Temp. Coefficient: $1 \mu\text{A}/1^\circ\text{C}$ nominal

PRESSURE TRANSMITTER

OPERATING RANGE

0-75 psig (PL)
0-150 psig (PM)

PRESSURE SENSOR

Type: Strain gauge
Diaphragm Mat.: Alumina ceramic
Accuracy: $\pm 0.5\%$ of span
Repeatability: $\pm .05\%$ of span
Hysteresis: $.05\%$ of span
Burst Pressure: 150 psi max (PL)
300 psi max (PM)
Temperature Compensation: -10 to 130°C
Operating Temp.: -10 to 130°C
Response Time: 15 msec. max @ 1 step change

pH TRANSMITTER

OPERATING RANGE

0 to 14 pH

pH SENSOR

Input Range: 0 to 14 pH
Pressure Range: Up to 150 psig at 25 °C; derated to 25 psig at 100 °C
Response Time: 0-5 seconds for 99% of step change at constant temperature
Sensor/Electrode: General purpose or high pH
Temp. Range: 0-100 °C
Junction Type: Annular double junction of porous Teflon® materials
Configuration: Glass bulb featuring Ag/AgCl combination electrodes incorporated into a disposable sensor assembly
Temp. Sensor: Thermistor (3K Ohm, 1% @ 25°C)

ORP TRANSMITTER

OUTPUT RANGE

Maximum span -999 mV to +999 mV

ORP SENSOR

Input Range: -999 mV to +999 mV ORP
Pressure Range: Up to 150 psig at 25 °C; derated to 25 psig at 100 °C
Sensor/Electrode: Platinum band with combination Ag/AgCl element with double reference junction
Junction Material: Porous Teflon®
Temp. Range: 0 °C to 100 °C

CONDUCTIVITY TRANSMITTER

OPERATING RANGE

0 to 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-1)
0 to 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-2)
0 to 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-3)
0 to 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-4)

CONDUCTIVITY SENSOR

Temp. Range: 95°C @ 50 psig
Pressure Rating: 200 psig max. @ 25°C
Cell Constant: $\pm 3\%$
 $\pm 3\%$
Temperature Compensation: Automatic: 5-95°C w/std. 10K
Thermistor: 10K Ohm, 1% @ 25°C

* Teflon is a registered trademark of E.I. DuPont

MK 9522 DUAL CHANNEL BATCH CONTROLLER

ORDER NUMBER: 3-9522.100

- Two channel capability
- Two stage shut down
- Auto recycle capability with programmable time delay
- Automatic calibration
- Automatic overrun compensation
- Missing pulse detection
- Security access code
- Computer communication

Signet's MK 9522 Dual Channel Batch Controller is ideal for batching and blending a variety of liquids in exact precision, increasing the throughput of today's factory. The MK 9522 offers functions generally found on large, complex systems, yet it is easy to use and operate.

Using the color coded, touch sensitive switches, plant personnel can install, calibrate, and operate this instrument in minutes. The dual channel capability of the MK 9522 allows the unit to accept inputs from two varying pipe lines while monitoring them separately. The unit also keeps track of the overall batch and the user programmed mixture ratio. Additionally, the four relay output of the MK 9522 accommodates a two

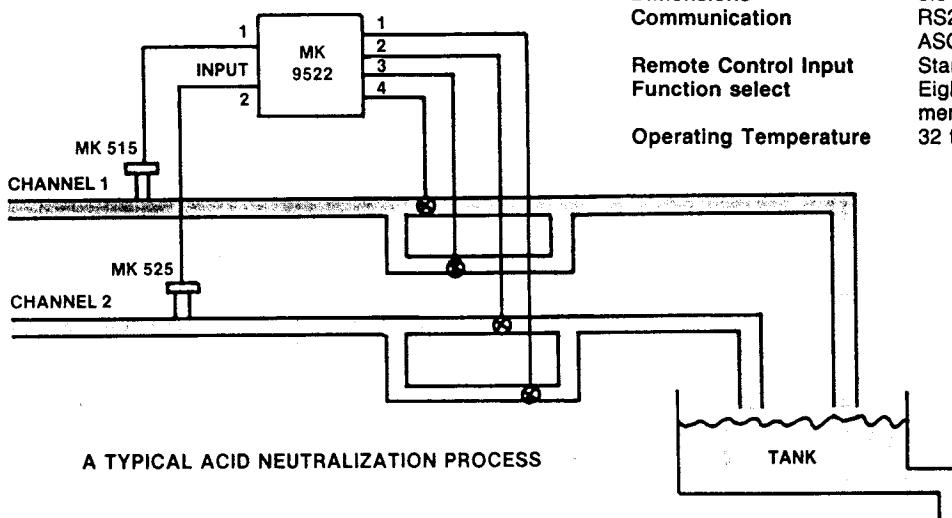


stage shut down design for each channel, thus eliminating water hammer and over run problems.

Signet's MK 9522 Dual Batch Controller is compatible with most industrial flow sensors and has a wide prescale range (.0001 to 9999.9) that is ideal for both very large and very small volumetric applications. The MK 9522's plug-in RS232C communications port interfaces easily with other computational equipment, such as data acquisition and inventory control systems.

SPECIFICATIONS

Power	110 VAC, 220 VAC ($\pm 10\%$), 50-60 Hz, 24 VDC optional
Transducer Input	Pulse or Sine Wave (.4VPP min.) 10,000 Hz max.
Relay Output	4-SPDT, form C relays, 250 VAC or 30 VDC max., 5 amp resistive max. current
Pulse Output	Two outputs, TTL compatible, tracking transducer input
External Total Pulse	Open collector NPN transistor, 30 VDC max. voltage, 100 mA max. current, 100 msec. pulse
Voltage Output Display	12 VDC, 100mA max. 7 segment LED 6 digit .56" high, flow rate or batch size
Dimensions	8 digit .25" high, accumulation
Communication	5.5" X 5.5" X 7.5" NEMA 4X
Remote Control Input	RS232C or RS485 (optional)
Function select	ASC11 Code
Operating Temperature	Start, stop, resume Eight front panel, tactile membrane switches 32 to 130°F / 0 to 55°C



TRANSMITTERS

Transmitter Specifications

STANDARD TRANSMITTER

A transmitter consists of an electronics package and a sensor element designed to function in an externally powered, 2 wire closed loop system. A single 4-20 mA current signal is provided as information output for the sensed input parameter. The transmitter is designed to interface directly with existing Signet fittings.

ELECTRICAL PERFORMANCE

POWER
External 8-30 VDC (24 VDC Nom.)

CURRENT LOOP LOAD IMPEDANCE
0 to 1100 OHMS

OUTPUT
4-20 mA Isolated (Limited to 35 mA Max)

ACCURACY OF ELECTRONICS (Including Sensor)
1% of full scale nominal

MATERIALS

SENSOR HOUSING
Glass filled polypropylene or
PVDF (Flow only)

O-RINGS
Viton

ELECTRONICS ENCLOSURE
Glass filled polypropylene

ELECTRICAL INTERFACE
1/2" NPT conduit connection

ENVIRONMENTAL (External Enclosure)

AMBIENT TEMPERATURE
-30°C to 70°C (-22°F to 122°F)

RELATIVE HUMIDITY
0 to 100% (Non Condensating)

TEMPERATURE TRANSMITTER

OPERATING RANGE

Minimum span any 20°C of -10°C to 110°C
Maximum span -10°C to 110°C

Accuracy: Better than $\pm 1^\circ\text{C}$ over temperature range
Range: -10°C to 140°C
Repeatability: 0.1°C
Response Time: 5 seconds max through 63% of change
Pressure Rating: 200 psig max @ -10°C
100 psig max @ 50°C
25 psig max @ 110°C
Temp. Coefficient: 1 μA/°C nominal

PRESSURE TRANSMITTER

OPERATING RANGE

0-75 psig (PL)
0-150 psig (PM)

PRESSURE SENSOR

Type: Strain gauge
Diaphragm Mat.: Alumina ceramic
Accuracy: $\pm 0.5\%$ of span
Repeatability: $\pm 0.5\%$ of span
Hysteresis: .05% of span
Burst Pressure: 150 psi max (PL)
300 psi max (PM)
Temperature Compensation: -10 to 130°C
automatic
Operating Temp.: -10 to 130°C
Response Time: 15 msec. max @ 1 step change

pH TRANSMITTER

OPERATING RANGE

0 to 14 pH

pH SENSOR

Input Range: 0 to 14 pH
Pressure Range: Up to 150 psig at 25 °C; derated to 25 psig at 100 °C
Response Time: 0-5 seconds for 99% of step change at constant temperature
Sensor/Electrode: General purpose or high pH
Temp. Range: 0-100 °C
Junction Type: Annular double junction of porous Teflon® materials
Configuration: Glass bulb featuring Ag/AgCl combination electrodes incorporated into a disposable sensor assembly
Temp. Sensor: Thermistor (3K Ohm, 1% @ 25°C)

ORP TRANSMITTER

OUTPUT RANGE

Maximum span - 999 mV to + 999 mV

ORP SENSOR

Input Range: - 999 mV to + 999 mV ORP
Pressure Range: Up to 150 psig at 25 °C; derated to 25 psig at 100 °C
Sensor/Electrode: Platinum band with combination Ag/AgCl element with double reference junction
Junction Material: Porous Teflon®
Temp. Range: 0 °C to 100 °C

CONDUCTIVITY TRANSMITTER

OPERATING RANGE

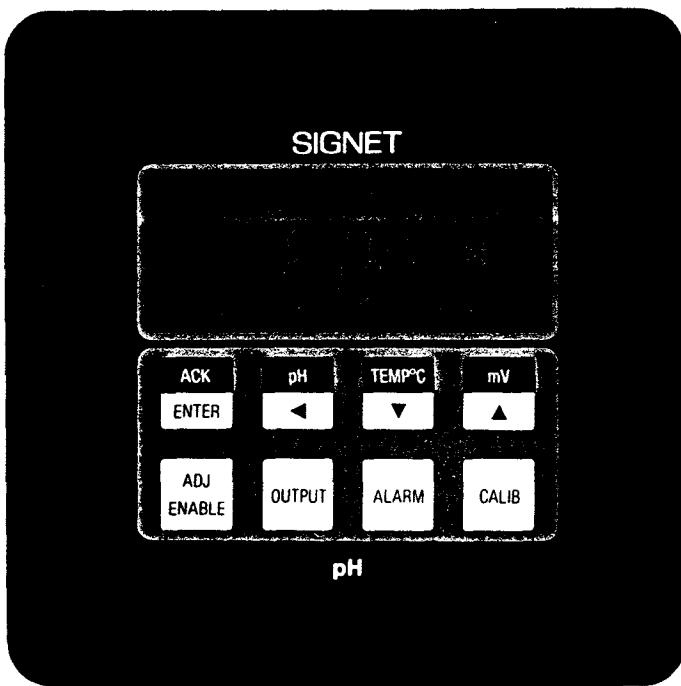
0 to 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-1)
0 to 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-2)
0 to 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-3)
0 to 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (-4)

CONDUCTIVITY SENSOR

Temp. Range: 95°C @ 50 psig
Pressure Rating: 200 psig max. @ 25°C
Cell Constant: $\pm 3\%$
Temperature Compensation: Automatic: 5-95°C w/std. 10K
Thermistor: 10K Ohm, 1% @ 25°C

® Teflon is a registered trademark of E.I. DuPont

pH CONTROLLER



MK 9750 pH CONTROLLER

SIGNET's MK 9750 pH Controller provides solutions to pH measurement and control problems in a variety of applications, including waste and water treatment, plating, chemical and food processing and other control processes. SIGNET, the first to incorporate microprocessor technology in pH controllers, has also advanced the ease of operation and reliability. Through complete input/output isolation and microprocessor circuitry, the MK 9750 eliminates electronic drift and provides you with stable, reliable readings.

- Microprocessor controlled
- Large, 3-1/2 digit LCD display
- One-touch calibration
- Selectable readouts of pH, mV and temperature
- Security code access provides secure programmed settings
- Sensor diagnostics
- Variety of output options (relay, pulse, or current)
- Automatic temperature compensation
- Dual alarms with adjustable hysteresis

The tactile feedback keypad is easy to use and allows access to readouts of pH, temperature and millivolts. Plus, sensor diagnostics ensure system performance by alerting operators of possible sensor malfunction.

Security for your programmed calibration and control setpoints is guaranteed through the security code access feature. The software safety lock can be internally activated (or deactivated) to require secret code entry prior to programming access.

Reference operating conditions	25°C; 10-30% RH; 120 VAC
Display	3-1/2 digit LCD, .50" characters
Display range	0 to 14 pH ±450 mV 0 to 100°C
Accuracy, FS	±0.02 pH ±3 mV ±.5°C
Repeatability	±0.01 pH ±1 mV ±0.1°C
Temp. Compensation	automatic from 0 to 100°C
Alarm	programmable; 0 to 14 pH
Relay hysteresis	adjustable to 2.5 pH
Alarm relays	dual SPDT; 5A @ 250 VAC; 5A @ 30 VDC

Power requirements	120/240 VAC ±10% 50/60 hz
Output Standard	4-20 mA, non-isolated (proportional) (450 Ω max. load)
Optional	optional: 4-20 mA, isolated (700 Ω max. load)
Input isolation	600V RMS
Enclosure Dimensions	5.5" x 5.5" ; depth 7.4"
Materials	ABS
Rating	NEMA 4X (watertight, corrosion resistant)
P/N	3-9750.100-21
Description	pH Controller with two alarm relays and non-isolated current output with isolated current output board Options
3-9750.100-22	Pump pulser board, ordered separately
3-9750.422	

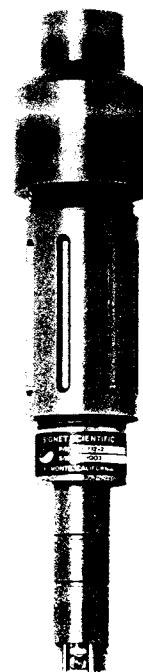
pH CONTROLLER



MK 710A pH CONTROLLER

- Microprocessor based
- Dual alarms
- Proportional control (current or pulse)
- Easy calibration and sensor diagnostics

The SIGNET Industrial MK 710A pH Controller is an accurate and economical instrument designed to monitor and control a variety of pH applications. Typical applications include: food processing, pulp and paper manufacturing, scrubbers, metal treating and finishing and industrial and municipal waste treatment.



MK 712 pH SENSOR

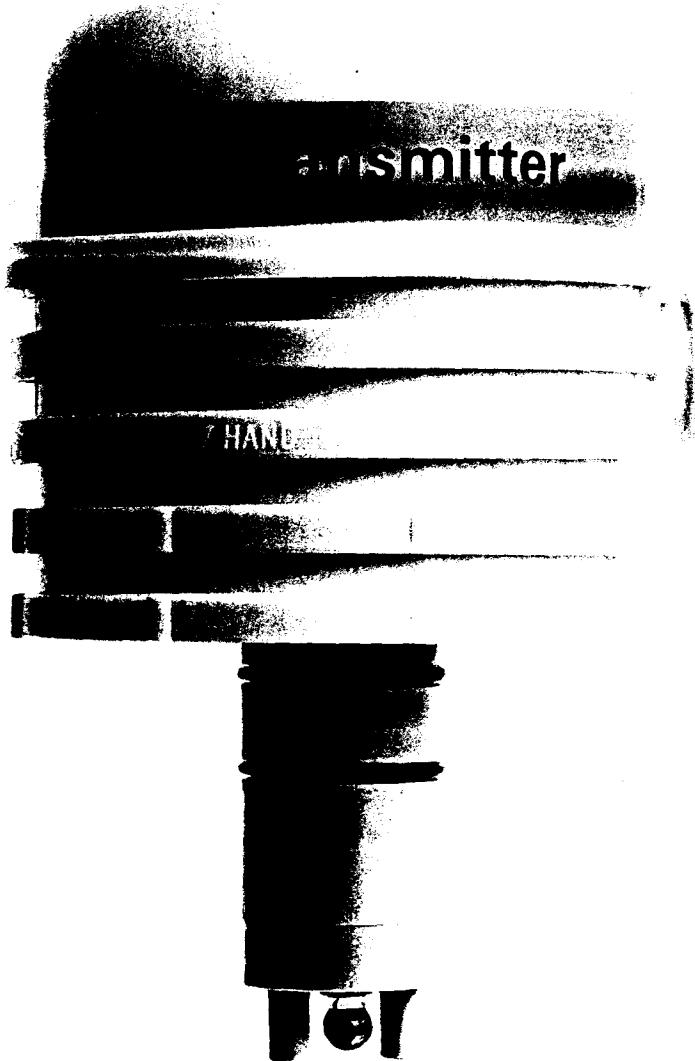
SIGNET Industrial's MK 712 pH Sensor has been successfully installed in a variety of applications. The 316 stainless steel guards protect glass electrodes from the process stream. A unique solution ground prevents electrical noise interference. Optional Titanium or Hastelloy C guards are also available.

Range:	0 to 14 pH 0 to 100°C Temp.
Accuracy (fs):	pH ± 0.1 pH mV ± 010 mV Temp. ± 001 °C
Temp. Comp.:	Automatic 0 to 100°C
Ambient Temp.:	0 to 50°C
Alarms:	Dual SPDT; 3 amps @ 250 VAC Hysteresis: 0.2 pH
Current Output:	710A-3: 4-20 mA (450 Ω max.) non-isolated 710A-4: 4-20mA; isolated, two-wire (requires additional power supply, 12-30 VDC)
Freq. Output:	50% duty cycle, 5 V peak to peak square wave form. Max. frequency factory set for 1.88 Hz/112 pulses per minute when used with Signet pulse relay module, 710.80
Power:	120/240 VAC, $\pm 10\%$, 50/60 Hz

P/N	Description
P71230-2G	General Purpose pH sensor (CPVC) for submersion with built-in preamp
P71230-3G	General Purpose pH sensor (CPVC) in-line with built-in preamp
P71230-4G	General Purpose pH sensor (CPVC) for submersion with remote preamp
P71230-2H	High pH sensor (CPVC) for submersion with built-in preamp
P71230-3H	High pH sensor (CPVC) in-line with built-in preamp
P71230-4H	High pH sensor (CPVC) for submersion with remote preamp
P71230-2T	High Temperature sensor (CPVC) for submersion with built-in preamp
P71230-3T	High temperature sensor (CPVC) in-line with built-in preamp
P71230-4T	High temperature sensor (CPVC) for submersion with remote preamp

P/N	Description
P71040-3	4-20 mA non-isolated
P71040-4	4-20 mA isolated
P71070-1	Pulse relay module (required for interface)

(for MK 712)	
P71233-2	Electrode for general purpose pH sensor (double junction)
P71233-3	Electrode for high pH sensor (double junction)
P71233-4	Electrode for high temperature sensor (double junction)



MK 8700 pH/ORP TRANSMITTER

SIGNET's pH/ORP Sensor Transmitter is suitable for field mounting in submersible or in-line applications and is priced below most other transmitters measuring over the full range of 0-14.

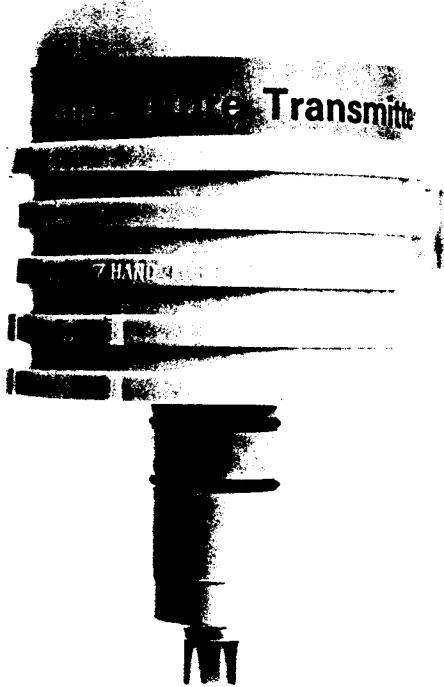
The key performance feature of the MK 8700 is the isolated output which is independent of the pH input, so the 4-20 mA signal may be field calibrated to represent any two or greater pH span. Full input/output isolation effectively eliminates problems encountered in process applications where, either by an accidental ground loop or by design, a voltage potential exists on the solution being measured.

The replaceable combination sensor provides easy installation and maintenance. A double junction reference electrode, with porous Teflon® liquid junction and specially formulated gel electrolytes, provides high accuracy and longer sensor life in applications where "poisoning ions", such as sulphides, silver chlorine, cyanide, sugar, or ferric chloride, are found in the process stream.

The unit's NEMA 4X polypropylene housing allows for installation in corrosive applications containing acids, concentrated salt solutions or chlorinated hydrocarbons. A standard, plug-in, digital display (LCD) is supplied for local readout and calibration convenience in the field.

Power	10-30 VDC (24V nominal)	Temperature range	0 to 100°C
Current loop load resistance	700 ohms @ 24 VDC	Junction type	Annular double junction of porous Teflon® materials
Output	Isolated 4-20 mA	Temperature compensation	Automatic from 0 to 100°C
Accuracy	(includes sensor) ±1% F.S. nominal	Materials of construction	Polypropylene with Viton O-rings
Ambient temperature	0 to 50°C		
Ambient temperature effect	±.01%/°C	P/N	Description
Relative humidity	0 to 100% (non-condensing)	3-8700.100-GP 3-8700.100-HP 3-8701.100-P 3-2700-391	pH Transmitter, general purpose, Polypropylene pH Transmitter, high pH, Polypropylene ORP Transmitter with platinum electrode Submersion Adapter Kit requires special coax cable between sensor and junction box, length depends on submersion depth Cable, 1-12 ft. (specify length)
Pressure rating	100 psig @ 25°C maximum derated to 25 psig @ 100°C	3-2700-261-XX	
Response time	0.5 second for 99% of pH step change @ constant temperature.		
Glass pH electrode	general purpose or high pH		

CONDUCTIVITY TRANSMITTER



MK 8800 CONDUCTIVITY TRANSMITTER

- True two-wire design
- Designed for in-line or submersible installations
- NEMA 4X enclosures
- Optional plug-in display (LCD) is available for local indication
- Input/output isolation

The MK 8800, Two-Wire Conductivity Transmitter is well suited for remote installations and hazardous environments. It is constructed of rugged polypropylene materials to provide exceptional reliability and chemical resistance in a wide range of industrial processes.

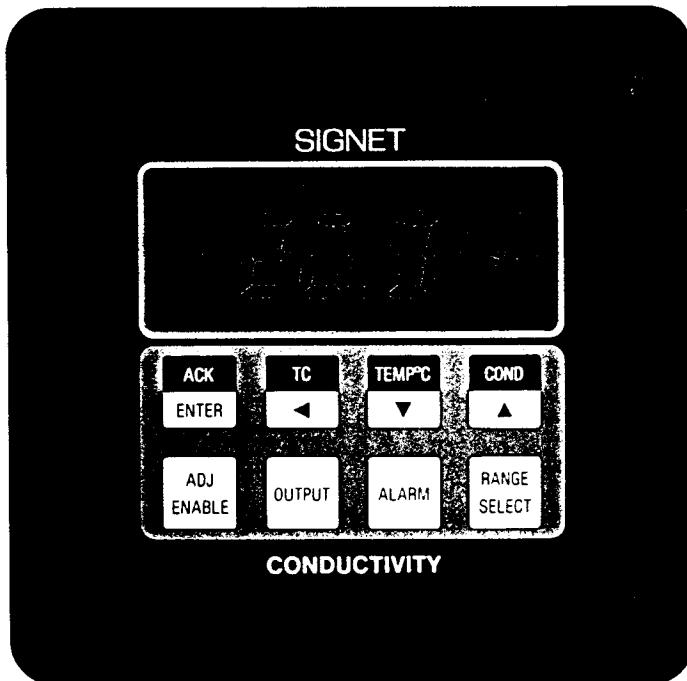
Square wave, peak detection circuitry reduces polarization effects and eliminates the need for troublesome, platinized electrodes. The transmitter's

unique "triple-loop-electrode" design resists air entrapment and requires no minimum flow.

The MK 8800 incorporates a thermistor for precise accuracy over the full temperature range. The sensor and transmitter are standardized by a single-point calibration procedure for optimum measurement accuracy of 1% FS at 25°C. Titanium electrodes are standard with a choice of .05 or 2.0 cell constants.

Power	10-30 VDC (24V nominal)	Cell Constants	.05 ($\pm 2\%$) 2.0 ($\pm 2\%$)
Current loop load resistance	700 ohm w/24 VDC power supply	Construction Materials	Polypropylene, Viton, & Titanium
Output	Isolated 4-20 mA	Ranges	0-20 μ S (-1) 0-200 μ S (-2) 0-2,000 μ S (-3) 0-10,000 μ S (-4)
Electronic accuracy	$\pm 1\%$ fs nominal		
Ambient temperature	0 to 50°C	P/N	Description
Ambient temp. effects	$\pm .01\%$ /°C	3-8800.100-1P	Conductivity Transmitter 0-20 μ mho, .05 cell constant
Relative humidity	0 to 100% (non-condensing)	3-8800.100-2P	Conductivity Transmitter 0-200 μ mho, .05 cell constant
		3-8801.100-3P	Conductivity Transmitter 0-2000 μ mho, 2.0 cell constant
Pressure rating	200 psig @ 25°	3-8800.100-4P	Conductivity Transmitter 0-10,000 μ mho, 2.0 cell constant
Temperature rating	95°C @ 50 psig	3-2700-391	Submersion Adapter Kit requires special coax cable between sensor and junction box. Length depends on submersion depth
Temperature compensation	automatic, 5-95°C, w/std. 10K theristor; TC slope fixed @ 2% per °C	3-8800-261-XX	Cable (specify length 1-12 ft.)

CONDUCTIVITY CONTROLLER

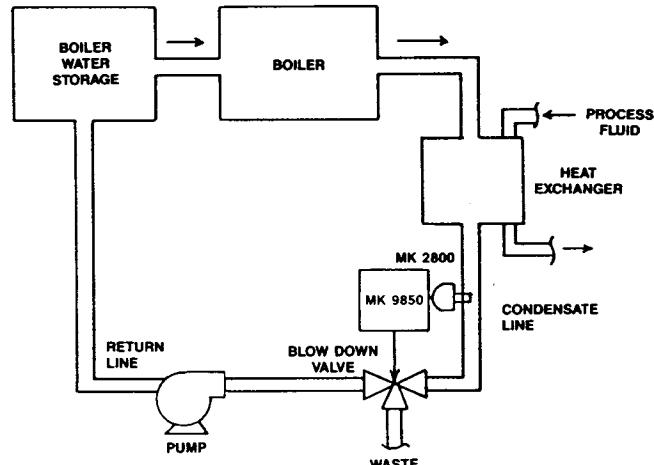


- LCD display of conductivity and temperature
- Two programmable alarm relays/hysteresis
- Programmable temperature coefficient
- Autoranging display
- Programmable 4-20 mA output
- Full input/output isolation

MK 9850 CONDUCTIVITY CONTROLLER

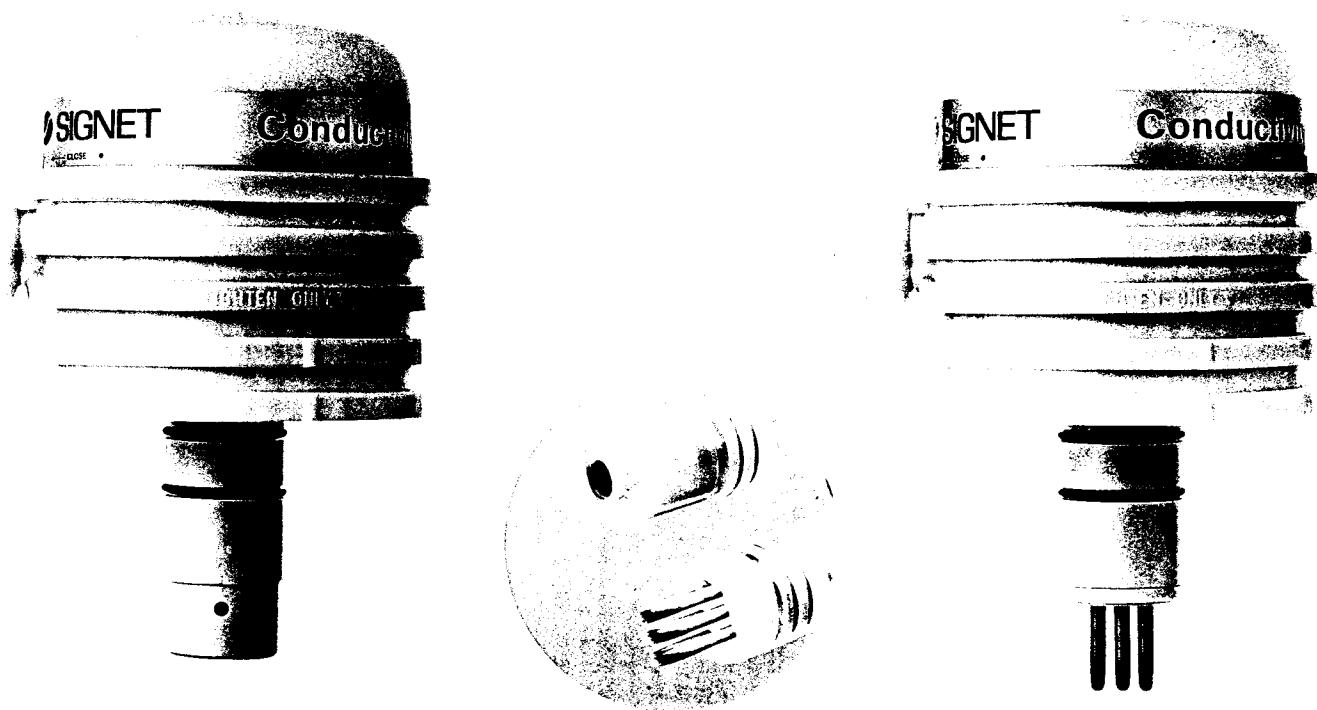
SIGNET's advanced microprocessor technology provides reliable, extremely accurate conductivity controllers. Full input/output isolation eliminates problems with ground loops which cause inaccurate measurements and electrode corrosion.

The MK 9850 offers complete capabilities through an LCD display for applications in water treatment, boiler control, and printing. Unmatched features for control include programmable high/low alarm relays with adjustable hysteresis and proportional output signals of 4-20 mA. In addition, through SIGNET's unique software the temperature coefficient is adjustable from 0-10% per degree C. This feature provides higher accuracy in fluids other than water.



Display	3½ digit LCD, .50" characters	Alarm hysteresis	4 units
Cell constant	Display range	Alarm relays	dual SPDT; 5A @ 250 VAC; 5A @ 30 VDC
K=0.05	high 0 to 199.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ low 0 to 19.99 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Power requirements	120/240 VAC $\pm 10\%$ 50/60 hz
K=2.0	high 0 to 19.99 MS/cm low 0 to 1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Enclosure Dimensions	5.5" x 5.5" depth 7.4"
K=10.0	high 0 to 199.9 MS/cm low 0 to 19.99 MS/cm	Materials	ABS
Accuracy	$\pm 1\%$	Rating	NEMA 4X (watertight corrosion resistant)
Repeatability	$\pm 0.2\%$	P/N	
Temp. compensation	automatic from 0 to 105°C programmable from 0 to 10%°C (default is 2%°C)	3-9850-1	Description Conductivity Controller with 2 alarm relays and non-isolated current output board
Alarm	dual; 0 to 1999	3-9850-2	with isolated current output board

CONDUCTIVITY / RESISTIVITY SENSORS



MK 2800 CONDUCTIVITY SENSOR

SIGNET's MK 2800 reduces oxidation, coating and sample stagnation problems in reverse osmosis, steam condensate return, plating rinse tanks and cooling tower processes. Engineered with a unique airbleed design, the multi-purpose sensing cell prevents air entrapment and allows liquid to flow freely. The 2.0 cell constant provides greater accuracy in conductivity measurements ranging from $10\mu\text{S}/\text{cm}$ to $200,000\mu\text{S}/\text{cm}$. In-line and submersible versions of the MK 2800 are available; a special adapter is required for submersion applications.

MK 2801 CONDUCTIVITY/ RESISTIVITY SENSOR

Designed for applications in the utility, pharmaceutical, and semiconductor industries, the MK 2801's exposed triple loop electrode resists air entrapment and requires no minimum flow rate. The 0.05 cell constant ensures precise measurements in low conductance solutions (0 to $250\mu\text{S}/\text{cm}$ scale range) and normal resistivity spans up to $18.3\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$. In-line and submersible versions of the MK 2801 are available with a special adapter required for submersion applications.

Sensor	
Body	Polypropylene
O-rings	Viton
Electrode	Titanium
Junction box	NEMA 4X (watertight,
Housing	corrosion resistant)
Ambient temp.	-30 to 50°C
Material	Polypropylene
Electrical connections	use 4 conductor shielded cable (Belden 8724). J-box has 3/4" FNPT conduit connection

P/N	Description
3-2800.100-1	In-line Conductivity Sensor with 2.0 cell constant and AD590 T.C. for use with MK 811, MK 812
3-2800.100-4	In-line Conductivity Sensor with 2.0 cell constant and PT-100 T.C. for use with MK 9850

3-2800.100-3	In-line Conductivity Sensor with 2.0 cell constant and 10K T.C. for use with MK 9859
3-2801.100-1	In-line Conductivity/Resistivity Sensor with 0.05 cell constant and AD590 T.C. for use with MK 811, MK 812, MK 821 and MK 822
3-2801.100-4	In-line Conductivity/Resistivity Sensor with 0.05 cell constant and PT-100 T.C. for use with MK 9850, MK 9860
3-2801.100-3	In-line Conductivity/Resistivity Sensor with 0.05 cell constant and 10K T.C. for use with MK 9859

P/N	Description
3-2700.391	Submersion Adapter Kit <i>Note:</i> requires special coax cable between sensor and junction box. Length depends on submersion depth. Coax cable, 1-12 ft. (specify length)

Performance Data—Modulating Service

Modulating Configuration: Modulating service torque ratings represent maximum output torque at both breakaway (starting) and running (dynamic) conditions.

Actuator is supplied with 100% duty cycle—continuous operation, class F insulation, TENV design motor rated for 1200 starts per hour at 104°F.

Model numbers with an "M" suffix, as shown below, are supplied complete for continuous modulating applications and, additionally, include a single 1000 ohm-1/2% linearity-4 watt potentiometer and GAM electronic positioner to accept a 4-20 MADC input.

Torque Output Lbs-In	Operating Speed Sec/90°	LB-Series Model Number	Locked Rotor AMP Draw 1 Ph/60 Hz/115 VAC
360	25	OA8M	0.6
	50	OA8M	0.6
675	25	OA15M	1.8
1.125	25	AS25M	1.8
	50	AS25M	1.8
2.250	25	AS50M	1.8
4.500	25	BS100M	11.0
	50	BS100M	11.0
9.500	85	ARS250M	11.0
27.000-CW 16.750-45° 21.500-CCW	85	BRS600M	8.5

Notes:

1. Operating speed is nominal at rated torques. Actual operating speed may vary depending on required actuator output torque.
2. All torque and speed ratings are based upon a plus or minus 10% motor voltage variation.

Sizing Information

The following information is designed to aid in sizing Bettis actuators to specific valve requirements.

An accurate maximum torque requirement must be obtained. Most valve manufacturers publish normal valve stem torque requirements and torque correction factors for unusual applications or extreme operating conditions. Normal stem torque for a properly applied and maintained valve is generally defined as the maximum torque required to rotate the valve element (ball, disc, plug, etc.) from its fully closed position

when the element is against the full valve-rated differential pressure. Because the features of each valve make and model are unique, torque correction factors must be provided by the manufacturer. Adjustments are usually made relative to differential pressure, extreme temperatures, unusual loadings and operating speed requirements. For accurate torque requirements, all information pertinent to the valve application, including size, model, figure number and nominal pressure rating, must be furnished to the valve

manufacturer.

When an accurate maximum torque requirement is obtained, further consideration must be given to the valve type, design and application to determine whether the requirement is valid only at the beginning and/or end of each stroke or at an intermediate position.

GH-Bettis actuators can then be appropriately selected from torque output charts in accordance with their guaranteed output torque.

Dimensions

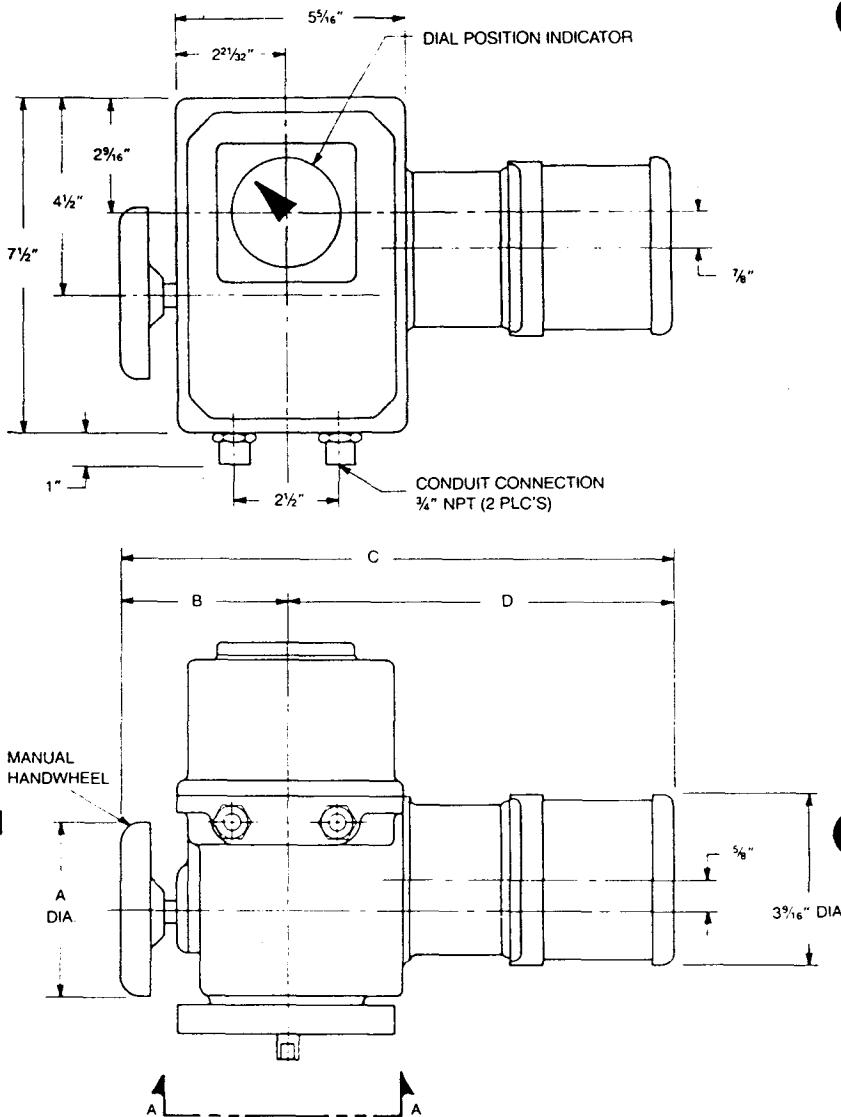
Models

OA 6

OA 8

OA 15

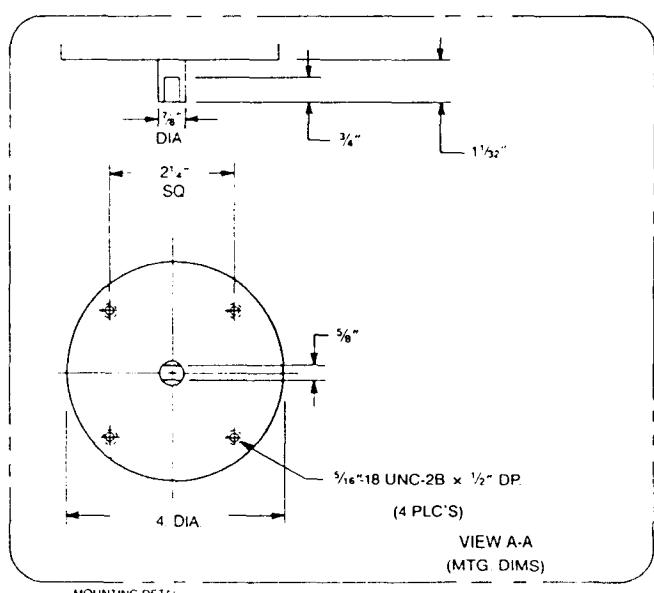
**ACTUATOR SHOWN IN OPEN POSITION
(FULL CCW, VIEWED FROM TOP)**



NOTES:
ALL DIMENSIONS IN INCHES

Model	Speed Sec/90°	A	B	C 1 Ph	D 1 Ph	C 3 Ph	D 3 Ph	Hndwhl. Turns	Weight Lbs. 1 Ph	3 Ph
OA6	5	2 3/8	3 1/32	11 1/8	7 5/16	10	6 5/8	21	18	(+) CF
	10	2 3/8	3 1/32	12 1/16	8	11 1/8	6 5/8	10	20	(+) CF
OA8	5	2 3/8	3 1/32	11 1/8	7 5/16	10	6 5/8	21	18	(+) CF
	10	2 3/8	3 1/32	12 1/16	8	11 1/8	6 5/8	10	20	(+) CF
OA15	25	3 15/16	4 5/32	12 1/16	8	11 1/8	6 5/8	21	17	(+) CF
	50	3 15/16	4 5/32	12 1/16	8	11 1/8	6 5/8	21	17	(+) CF
OA15	15	3 15/16	4 5/32	12 1/16	8	11 1/8	6 5/8	9	20	(+) CF
	25	3 15/16	4 5/32	12 1/16	8	11 1/8	6 5/8	9	20	(+) CF

*Consult Factory



MOUNTING DETAIL

VIEW A-A
(MTG. DIMS)

ANEXO 5.

Normas consultadas.



Standard Test Method for Turbidity of Water¹

This standard is issued under the fixed designation D 1889; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue that has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of turbidity in water and wastewater.

1.2 This test method is applicable to the measurement of turbidities in the range from 0.05 to 40 nephelometric turbidity units (NTU).

1.3 Higher turbidities may be measured using this test method by serial dilution to applicable range.

1.4 This test method was tested on municipal drinking water and final effluent discharges. It is the user's responsibility to ensure the validity of this test method for waters of untested matrices.

1.5 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For a specific caution statement, see Note 3.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²

D 1192 Specification for Equipment for Sampling Water and Steam²

D 1193 Specification for Reagent Water²

D 2777 Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Methods of Committee D-19 on Water²

D 3370 Practices for Sampling Water²

2.2 EPA Standard:

EPA 600/4-79-202 Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The terms turbidity, and nephelometric turbidity are defined in Definitions D 1129. For definitions of other terms used in this test method, refer to Definitions D 1129.

3.2 Description of Term Specific to This Standard:

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and are the direct responsibility of Subcommittee D19.07 on Sediments.

Current edition approved June 24, 1988. Published September 1988. Originally published as D 1889 - 61. Last previous edition D 1889 - 88.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ Available from Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring and Support Laboratory, Cincinnati, OH 45268.

3.2.1 *turbidity*—an expression of the optical properties of a sample that causes light rays to be scattered and absorbed rather than transmitted in straight lines through the sample. (Turbidity of water is caused by the presence of suspended and dissolved matter such as clay, silt, finely divided organic matter, plankton, other microscopic organisms, organic acids, and dyes.)

4. Significance and Use

4.1 Turbidity in water is caused by the presence of suspended and dissolved particles of gas, liquid or solids of organic or inorganic matter. Turbidity is undesirable in drinking water, plant effluent waters, water for food and beverage processing, and for a large number of other water-dependent manufacturing processes. Removal of suspended matter is accomplished by coagulation, settling, and filtration. Measurement of turbidity provides a rapid means of process control for when, how, and to what extent the water must be treated to meet specifications. Methodology for the correlation of a sample NTU to the number or volume of suspended particles is now under evaluation. Specific gravity estimates would then give rapid NTU correlation to the weight concentration of suspended matter.

4.2 This test method is suitable to low and medium turbidity such as that found in drinking water and process water.

5. Summary of Test Method

5.1 Nephelometric Turbidity:

5.1.1 *Photoelectric Nephelometer*—The photoelectric nephelometer operation is based on instrumental comparison of the intensity of light scattered by the contained static water sample under defined conditions to the intensity of light scattered by a reference standard in the sample container. The higher the intensity of scattered light, the higher the turbidity of sample.

5.1.2 *Calibrated Slit Turbidimeter*—The calibrated slit turbidimeter operation is based on a visual comparison of the intensity of light scattered by the contained static water sample under defined conditions to the intensity of light scattered by a reference sample in the same container, the higher the intensity of scattered light the higher the turbidity of sample.

5.1.3 Nephelometric Turbidity Standards:

* A Summary of Changes section appears at the end of this test method.

5.1.3.1 AEPA-I styrene/divinylbenzene polymer standard (see Section 2). These standards are used as received from the distributor.⁴

5.1.3.2 Formazin polymer preparation and dilution methods are given in 10.2.2 to 10.2.4.

6. Purity of Reagents

6.1 Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁵ Other grades may be used providing it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

6.2 Unless otherwise indicated references to water shall be understood to mean reagent water conforming to reagent water Type III Specification D 1193.

6.2.1 Standard dilution waters of Type III shall be prepared by filtration through a 0.2 to 0.22 µm membrane or other suitable filter within 1 h of use to reduce background turbidity to less than 0.05 NTU.

7. Sampling and Sample Preservation

7.1 *Collection of Sample*—Collect the sample in accordance with the applicable standard, Specification D 1192 and Practices D 3370 or EPA 600/4-79-202 for EPA compliance.

7.2 *Storage of Sample*—Determine the turbidity on the day the sample is taken. If this is not feasible, store the sample in the dark for up to 24 h and refrigerate at 4°C if possible, but do not freeze. Prolonged storage is not recommended because of irreversible changes.

7.3 *Preparation of Sample*—Bring the sample to room temperature and shake sample vigorously for at least 1 min. Let the sample stand 2 to 3 min to allow air bubbles to disappear, then gently invert the sample several times or swirl mix before examination.

8. Interferences

8.1 Floating or suspended large particles and entrained air bubbles will give false or unstable readings. Certain turbulent motions also create unstable reading conditions of nephelometers.

8.2 Dissolved material that imparts a color to the water may cause serious errors in nephelometric reading unless the instrument has special compensating features.

8.3 Scratches, finger marks, or dirt on the walls of the sample cell may give erroneous readings. Cells should be kept scrupulously clean both inside and outside and discarded when they become etched or scratched. The cells must not be handled where the light strikes them when indexed in the instrument well.

⁴ Patents 4,283,143 and 4,291,980, available from, Advanced Polymer Systems, Inc., 3696 Haven Ave., Redwood City, CA 94063, have been found satisfactory for this purpose.

⁵ "Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications," Am. Chemical Soc., Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see "Reagent Chemicals and Standards," by Joseph Rosin, D. Van Nostrand Co., Inc., New York, NY, and the "United States Pharmacopeia."

NOTE 1—The same indexed cell should be used first for standardization followed by unknown determination.

NOTE 2—Indexing of the sample cell or tube to the instrument well is accomplished by placing a mark on the top of the glass cell and a similar mark on the upper surface of the well so that the cell can be placed in the well in an exact position each time.

9. Apparatus

9.1 Two types of instruments are available for the nephelometric method, the photoelectric nephelometer and the calibrated slit turbidimeter (Figs. 1 and 2). Both give a greater precision and sensitivity than the Jackson candle turbidity, within their applicable range from 0.05 to 40.0 NTU, to ranges as low as 0.05 to 1.00 NTU.

9.2 The sensitivity of the instruments should permit detection of differences of 0.02 NTU or less in waters having turbidities of less than 1.00 NTU. The instrument should measure the ranges from 0.05 to 1.00 NTU and 0.05 to 40.0 NTU with the additional ranges from 0.05 to 0.10 and 0.05 to 10.0 NTU if possible. Linear calibration charts should be made for each range used. Either of the two accepted standards, AEPA-I or Formazin, (10.2.1 or 10.2.2) can be used for this calibration. See 11.1 for calibration instruments.

9.3 Photoelectric Nephelometer:

9.3.1 This instrument uses a light source for illuminating the sample and one or more photoelectric detectors with a readout device to indicate the intensity of light scattered at right angles (90°) to the path of the incident light. The photoelectric nephelometer should be so designed that little stray light reaches the detector(s) in the absence of turbidity and should be free from significant drift after a short warm-up period.

9.3.2 Differences in physical design of photoelectric nephelometers will cause differences in measured values for turbidity, as will aging of a turbidimeter, even though the same suspension is used for calibrations. To minimize initial differences, the following design criteria should be observed (see Fig. 1).

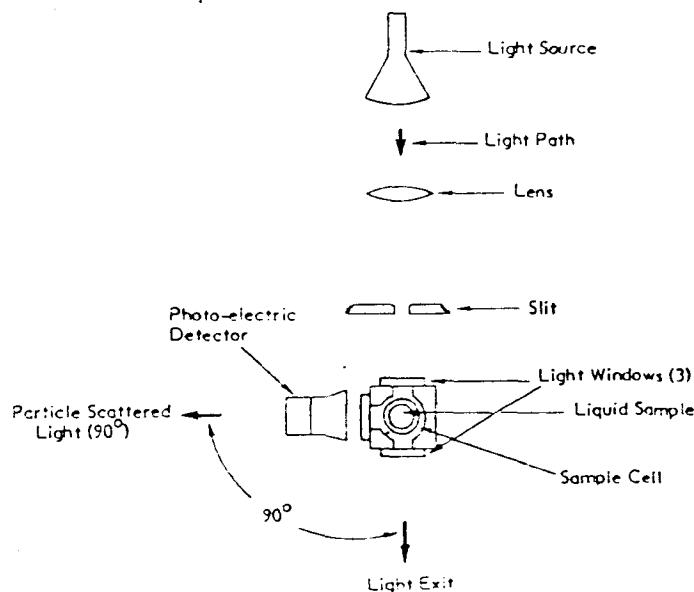


FIG. 1 Photoelectric Nephelometer

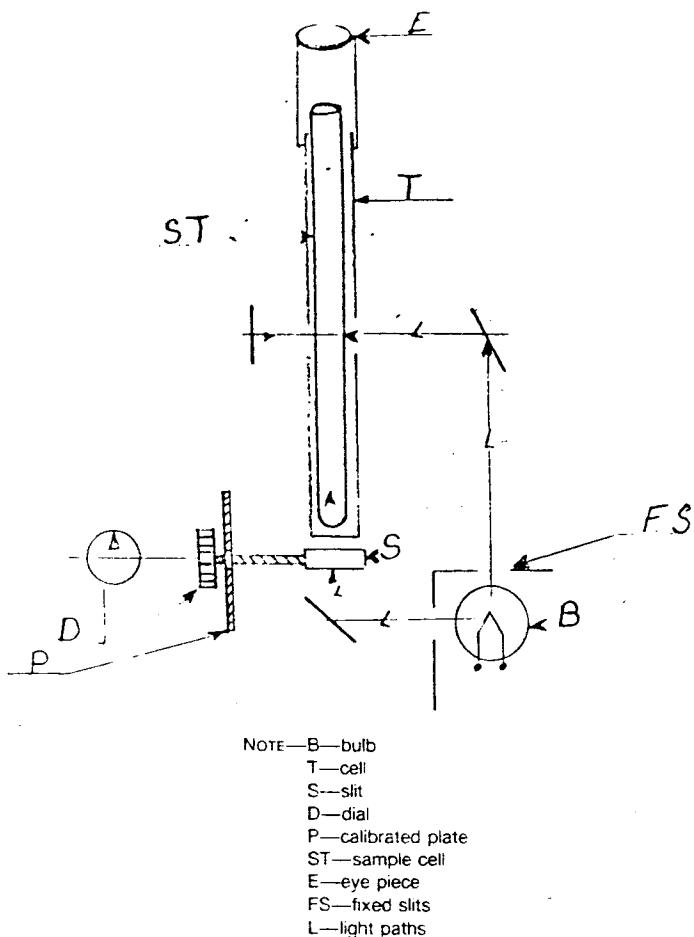


FIG. 2 Calibrated Slit Turbidimeter

9.3.2.1 *Light Source*—Tungsten lamp operated at a color temperature between 2200 and 3000 K.

9.3.2.2 Distance traversed by incident light and scattered light within the sample, total not to exceed 10 cm.

9.3.2.3 *Angle of Light Acceptance to the Detector*—Centered at 90° to the incident light path and not to exceed $\pm 30^\circ$ from the 90° scatter path center line.

9.3.3 The sample tube used in calibration and sample measurement must be the following:

9.3.3.1 Clear, colorless glass, be kept scrupulously clean, both inside and out, and discarded when it becomes etched or scratched.

9.3.3.2 Index marked so that repeated exact placements into the instrument cuvette well for measurement can be made.

9.3.3.3 Handled where the light path does not pass during measurement. Provision should be made in design to give the tube a proper place in which to handle the tube during calibration or sample measurement procedure. Instrument and sample tube design criteria are given in EPA 600/4-79-202.

9.4 Calibrated Slit Turbidimeter:

9.4.1 This instrument uses principles based on the Tyndall effect. A beam of light passing up through the sample is compared to the light scattered upward by suspended particles in the turbid solution which has been

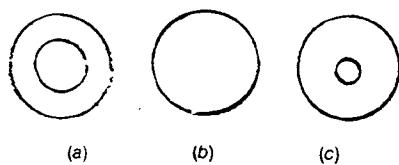


FIG. 3 Eye Piece Fields (Calibrated Slit)

illuminated from the side at 90°.

9.4.2 As shown in Fig. 2, light from the bulb, B, is reflected to illuminate the turbid solution in the cell, T, from the side. Light scattered upward by the suspended particles in the solution is seen through an eye piece as the outer portion of a circular split field (as in Fig. 3). Light also passes through a dial operated adjustable slit, S, and is reflected upward through the sample. In the eye piece this light is seen as the center circular field. Depending on the amount of light permitted through the adjustable slit, the center field will appear higher or darker than the outer portion, as shown in Fig. 3(a) and 3(c). The operator turns the dial controlling the slit until the entire field is of uniform brightness as shown in Fig. 3(b). Dial calibration charts should be based on at least five concentration levels, (across the 0.05 to 40 NTU range) of prepared AEPA-I or in-house fresh preparations and dilutions of Formazin. 40 NTU has been selected by EPA as the maximum concentration or turbidity that is the upper limit of linearity for measuring instruments even though there are some instruments that are linear above 40 NTU.

NOTE 3: Caution—Care should be exercised if Formazin standardization is used as Formazin has a rapid settling rate, so sample should be remixed at least every 15 min.

9.4.2.1 From this prepared chart slit dial reading can be translated into NTU values. Prior to unknown water sample determination, a single standard point determination should be made to check cell cleanliness and other instrument optics, such as lamp operation.

9.4.2.2 Because the eye is used to detect the null-point, the observer can compensate and disregard the presence of sample color and extraneous debris.

10. Reagents

10.1 Dilution and final rinsing water. see 6.2.

10.2 Turbidity Standards:

10.2.1 AEPA-I turbidity standards are prepared sealed stable suspensions of styrene divinylbenzene which are opened and used as received from manufacturer. Note that all standard Formazin diluted concentrations of AEPA-I are available from the manufacturer.

NOTE 4—Sealed or solid samples will not standardize nephelometers for the turbidity measurement of water or waste. These two methods (sealed or solid examples) neglect the zeroing out of sample tube (cuvette) prior to making water measurement in the tube.

10.2.2 *Formazin Turbidity Suspension, Stock (400 NTU)*—A stock turbidity suspension for Formazin polymer is prepared by reacting hydrazine sulfate with hexamethylenetetramine under carefully controlled conditions. (See EPA 600/4-79-202.)

10.2.2.1 *Solution I*—Dissolve 1.00 g of hydrazine sulfate [$(\text{NH}_2)_2\text{H}_2\text{SO}_4$] in dilution water and dilute to mark in a 100-mL volumetric flask.

10.2.2.2 *Solution II*—Dissolve 10.0 g of hexamethylenetetramine (practical grade, ACS grade not available) in dilution water and dilute to mark in a 100-mL volumetric flask.

10.2.2.3 Into a third 100-mL volumetric flask, pipet 5.00 mL of Solution I and with a clean pipet add 5.00 mL of Solution II. Mix the two solutions and allow to stand for 24 h at $25 \pm 3^\circ\text{C}$. After reaction, dilute to mark with water and mix. The freshly mixed turbidity of this solution is 400 NTU. This 400 NTU stock has to be prepared monthly.

10.2.3 *Formazin Turbidity Suspension, Standard (40 NTU)*—Pipet 10.0 mL of mixed 400 NTU stock into a 100-mL volumetric flask and dilute with water to mark. The turbidity of this suspension is defined as 40 NTU. This 40 NTU suspension has to be prepared weekly.

10.2.4 *Dilute Formazin Turbidity Suspension Standard*—Prepare dilute turbidity suspension below 4.0 NTU daily. Those above 4.0 NTU have a useful life of one week. Prepare each dilution by pipetting the volume of 40 NTU into a 100-mL volumetric flask and diluting to mark with water; so that 50.0 mL of 40 NTU diluted to 100 mL is 20.0 NTU and 10.0 mL of 40 NTU diluted to 100 mL is 4.00 NTU.

10.2.4.1 To prepare dilute suspensions having turbidities of less than 1.0 NTU use an appropriate volume of 4.0 NTU suspension in a 100-mL volumetric flask and dilute to mark. Prepare dilutions below 4.0 NTU daily.

11. Calibration

11.1 Follow the manufacturer's operating instructions.

Calibrate the instrument range of interest with standards (see AEPA-I and Formazin standards). If the instrument control dial, meter, or output digital reading is already in NTUs, this procedure and curve will check the accuracy of the instrument output. Use at least three standard concentrations (NTU) to calibrate each instrument range. Photoelectric nephelometers have a calibration adjustment. Set this adjustment to equal the high value of standard for the range of interest. Read the standards used for the calibration of the range in the same tube as was the high level adjustment. Note and graph the instrument value for each standard (instrument reading versus standard value). See Fig. 4 as an example. For daily use of the instrument, one standard in the use range will be all that is required to set the calibration adjustment at the graph reading for that value. The aging drift characteristics of each instrument will determine the recalibration requirement.

11.1.1 Clean the cell after filling with turbidity standard or test water samples as follows:

11.1.1.1 Rinse the clean dry cell twice with the suspension with which it is to be filled.

11.1.1.2 Fill the cell to a level to where the top air-liquid interface will not interfere with the subsequent reading. Check manufacturer recommendations as to cell filling.

11.1.1.3 After the cell is filled, tissue is then used to remove all traces of dirt or fingerprints. Tissue alone does not clean very dirty cells and one of the common nonabrasive glass cleaners may be necessary.

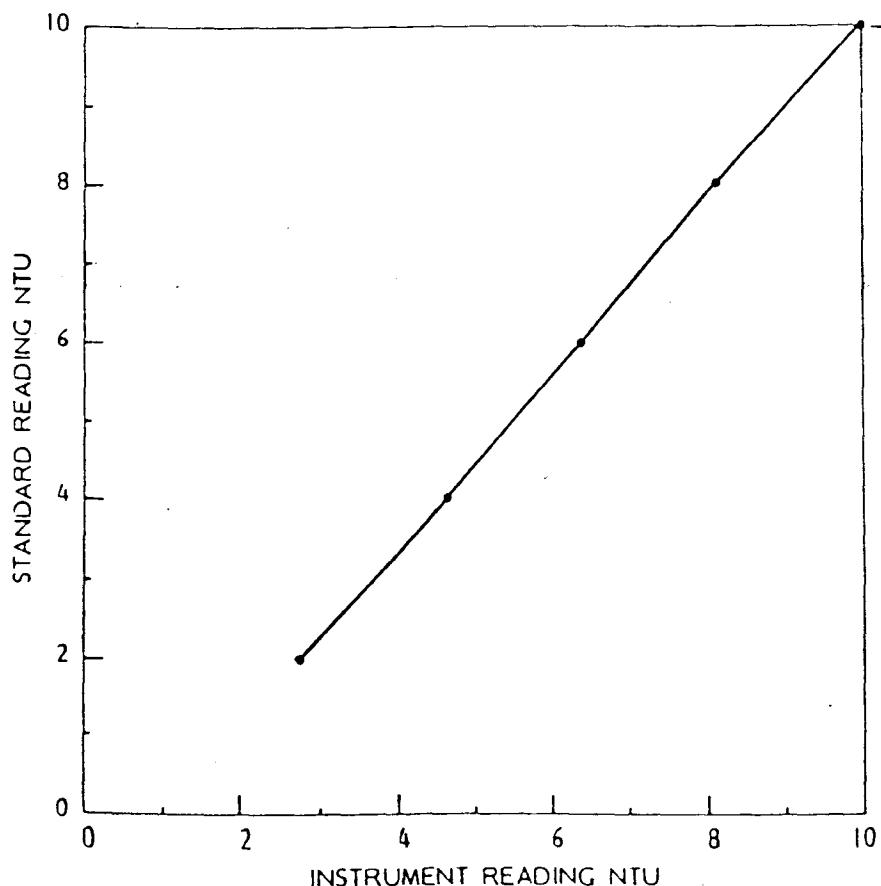


FIG. 4 Linear Calibration LC-10

Table

NTU Standard Value	NTU Instrument Reading
10.0	10.0*
8.0	8.1
6.0	6.3
4.0	4.7
2.0	2.8

*Instrument adjusted to read this value

11.1.1.4 The cleaned cell is handled by its very top and placed in an indexed manner in the instrument.

11.2 Calibration Steps:

11.2.1 Warm up the instrument according to manufacturer's instructions.

11.2.2 Rinse a clean, dry, scratch-free index marked cell with the highest concentration of the standard for the instrument range setting or range of interest, and then fill. Always clean the exterior of the cell after filling in any of the following procedures.

11.2.3 Place the cell in the instrument in an oriented manner ready for reading of turbidity.

11.2.4 For photoelectric nephelometrics, set the calibration adjustment for the labeled value of AEPA-I turbidity standard or the diluted value of Formazin standard. For slit type nephelometers plot the adjusted dial reading at null or uniform field brightness versus NTU value of turbidity standard.

11.2.5 Remove the sample cell and discard the first turbidity standard. Rinse and fill a second value of turbidity standard and place the cell in the instrument in an oriented manner. Without moving the photo-electric calibration adjustment, make a reading. Plot this instrument NTU reading against the NTU value of the turbidity standard. For the slit type nephelometer again plot the adjusted dial reading at null versus NTU value of the turbidity standard.

11.2.6 Repeat for at least one more turbidity standard NTU value which should cover the turbidity range of interest. The greater the number of turbidity standard values used, the greater the reliability of the calibration.

11.2.7 Make the plot of instrument reading or dial setting versus turbidity standard NTU value to where any instrument reading or dial setting within the range calibrated is corrected to values relative to the turbidity standard values. The plot of instrument reading or dial setting versus turbidity standard value is a range calibration curve. Calibration curves for each usable range should be made. See Fig. 4 for an example of a linear calibration curve.

12. Procedure

12.1 Standardize the instrument with one value (NTU) of turbidity standard in the measurement range of interest.

12.1.1 Warm up the instrument according to the manufacturer's instructions.

12.1.2 Rinse a clean, dry, scratch-free index marked (a felt pen dot) cell with a turbidity standard (AEPA-I or Formazin) with a value (NTU) in the range of interest. Fill the cell with this turbidity standard. Clean the cell's exterior.

12.1.3 Place the filled clean cell in an indexed manner in the instrument and read the value. It will be an NTU reading for photoelectric types and a dial reading for slit types nephelometers.

12.1.4 From the calibration curve for this instrument's range, determine the required reading for the turbidity standard in cell.

12.1.4.1 Move calibration adjustment to give the photoelectric nephelometer the required NTU reading.

12.1.4.2 The slit dial reading determined from the calibration curve for the turbidity standard in the cell should be within 5 % of the dial reading. If not, reclean the cell and recalibrate.

12.2 Measurement of Water Turbidity:

12.2.1 *Turbidity Less Than 40 NTU*—Shake the sample to thoroughly disperse the solids. Allow air bubbles to disappear, then proceed.

12.2.2 *Turbidity Exceeding 40 NTU*—Dilute the sample with one or more equal volumes of reagent water until turbidity is below 40 NTU after mixing and degassing. Then treat this less than 40 NTU turbidity in accordance with 12.2.1. The turbidity of the original sample can then be computed based on dilution data and original sample volume (variations of particle size can affect dilution).

12.2.3 After calibration check or adjustment, empty the cell (do not change cells for measurement) of turbidity standard and rinse the empty cell with the water sample to be tested.

12.2.3.1 The measured NTU value of the water sample is determined using the instrument value and the appropriate calibration curve.

13. Report

13.1 Report results as follows:

NTU	Report to Nearest (NTU)
0.05-1.00	0.05
1.00-10.0	0.1
10.0-40	1.0
40-100	5.0
100-400	10
400-1000	50
>1000	100

14. Precision and Bias⁶

14.1 Round-robin data for this test method were obtained by the use of AEPA-I standards. EMSL (Environmental Monitoring and Support Laboratory, EPA, Cincinnati, Ohio) examined this data for its statistical significance. For other matrices, these data may not apply.

14.2 Formazine was not used in the round-robin test because of its short term stability. Formazine can be used as a fresh short-term calibration mixture but the results might not be applicable to this collaborative test study.

14.3 Polymer suspensions of styrene divinyl-benzene are stable and can be accurately quantitated by gravimetric procedures. Linear calibration of each instrument was performed prior to collaborative study, involving ten laboratories and three nephelometric turbidity unit (NTU) levels.

14.4 Table 1 shows the required statistical treatment of the turbidity round-robin test for nine laboratories and three concentrations of NTUs and one laboratory's results were statistically rejected.

14.5 Table 2 shows that the bias of all NTU levels is insignificant for the round-robin test.

⁶ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D19-1129.

TABLE 1 Final Statistics^A

True concentration, C	0.92	4.50	18.66
Mean response, \bar{X}	0.972	4.410	18.57
Bias, $\bar{X} - C$	0.052	-0.090	-0.09
Total standard deviation, S_T	0.091	0.361	0.292
Single-operator standard deviation, S_o	0.044	0.174	0.181

^A Represent three concentrations of NTU.

TABLE 2 Bias Results

True concentration, C	0.92	4.50	18.66
Mean response, \bar{X}	0.972	4.410	18.57
Bias = $\bar{X} - C$	0.052	-0.090	-0.09
Total standard deviation, S_T	0.091	0.361	0.292
Number of lab/operators contributing usable data, n	8	8	8
Student's t-value, $t = \text{bias} / S_T / \sqrt{n}$	1.62	0.71	0.87
Critical t-value from Table X3.8 of Practice D 2777	2.365	2.365	2.365
Is bias significant, is $t > \text{critical } t$?	no	no	no

SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to these test methods that have been incorporated since the last issue. For the convenience of the user, Committee D-19 has highlighted those changes that may impact the use of these

test methods. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

(1) Former Test Method B (Visual Jackson Candle Turbidity) was deleted.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Practices for Detecting Leaks in Reverse-Osmosis Devices¹

This standard is issued under the fixed designation D 3923; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

¹ Note—Sections 3 and 4 were renumbered editorially in December 1984.

1. Scope

1.1 These practices cover detecting leaks in which there is a direct communication between the feed or concentrate, or both and the permeate. Several types of leaks are possible with the various configurations of reverse-osmosis devices.

1.2 Types of Leaks:

1.2.1 With hollow-fiber devices, feed or concentrate leakage, or both, into the permeate stream by leaks through the tube sheet and past the tube sheet O-ring are possible. "Leaks" caused by broken fibers are not covered by these practices.

1.2.2 With spiral-wound devices, leaks may occur through damage of the membrane surface itself by punctures or scratches, by glue-line failure, and by O-ring leaks on product tube interconnectors.

1.2.3 With tubular devices, leaks due to membrane damage, tube end seal leaks, and leaks from broken tubes or product headers are possible.

1.3 Three leak test practices are given as follows:

	Sections
Practice A—Tube Sheet and O-Ring Leak Test for Hollow Fiber Devices	6 to 9
Practice B—Vacuum Test for Spiral Wound Devices	10 to 12
Practice C—Dye Test for Spiral Wound and Tubular Devices	13 to 18

1.4 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²

D 1193 Specification for Reagent Water²

D 4194 Test Methods for Operating Characteristics of Reverse Osmosis Devices³

E 60 Practice for Photometric and Spectrophotometric Methods for Chemical Analysis of Metals⁴

¹ These practices are under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and are the direct responsibility of Subcommittee D 19.08 on Membranes and Ion Exchange.

Current edition approved July 3, 1980. Published August 1980.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.05.

E 275 Practice for Describing and Measuring Performance of Ultraviolet, Visible, and Near Infrared Spectrophotometers⁵

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in these practices, refer to Definitions D 1129.

3.2 For descriptions of terms relating to reverse osmosis, refer to Test Methods D 4194.

4. Significance and Use

4.1 These practices may be used to determine whether a reverse-osmosis device is free of leaks if the mechanical integrity of the device is to be confirmed. They may also be used to detect leaks in reverse-osmosis devices whose operating performance indicates a possible leak. These practices may be used for either new or used devices.

5. Purity of Reagents

5.1 Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁶ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determinations.

5.2 Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean Type III reagent water conforming to Specification D 1193.

PRACTICE A—TUBE SHEET AND O-RING LEAK TEST FOR HOLLOW FIBER DEVICES

6. Scope

6.1 This practice is applicable to detecting feed or concentrate leakage, or both, through the tube sheet and past the tube sheet O-ring into the permeate in hollow-fiber devices.

7. Summary of Practice

7.1 The hollow-fiber device being tested is operated at low pressure with the permeate tube sheet exposed (the fiber

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

⁶ "Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications," Am. Chemical Soc., Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see "Reagent Chemicals and Standards," by Joseph Rosin, D. Van Nostrand Co., Inc., New York, NY, and the "United States Pharmacopoeia."

bundle is held in place by a "spider" device designed for the specific model under test). Any significant leak in the tube sheet or O-ring seal is detected visually by inspection.

8. Apparatus

8.1 "Spider" Device, designed for the specific model of hollow-fiber device being tested, is available from the supplier. The "spider" is designed to take the place of the permeate end plate and permeate collection grid/block while securing the fiber bundle from movement. This allows visual observation during low-pressure operation with the fiber bundle retained in its original position.

9. Procedure

9.1 Connect a centrifugal pump with 1.4 MPa (200 psig) capability and a throttling valve to the feed port of the hollow-fiber device. Install a pressure gage and valve on the concentrate port of the reverse-osmosis device.

9.2 Remove the permeate end plate and auxiliary equipment in accordance with the supplier's instructions to expose the face of the permeate tube sheet.

9.3 Install a "spider" device (available from supplier) designed for the specific model under test and secure the "spider" with the snap or segmented ring that held the permeate end plate in place.

9.4 Place the hollow-fiber device in the horizontal position and orient the open concentrate line to the highest point (12 o'clock). Allow water to flow through the device at line pressure (approximately 350 kPa; 50 psig) to remove any trapped air in the device. Slowly close concentrate line valve to pressurize the unit to 350 kPa (50 psig). While standing clear of the tube sheet, start the pump and increase pressure slowly until a maximum pressure of 1.05 MPa (150 psig) is obtained. Proceed with the tube sheet inspection.

NOTE 1—The leak test should take approximately 15 min to determine the integrity of the tube sheet and tube sheet O-ring.

9.5 Examine for leaks by observing the product water as it exits the tube sheet face. If leaks do not exist, the product water appears to ooze out from the tube sheet face. However, if a significant leak is present in the tube sheet or O-ring seal, a forceful spray or stream will be observed. During inspection, rotate the device 180° to examine the lower portion of the tube sheet for leaks. This is necessary since leaks in the lower portion of the tube sheet are not easily discernible because of the accumulation of product water.

9.6 Shutdown Procedure:

9.6.1 Shut off the centrifugal pump and allow the pressure to reach zero before disconnecting the reverse-osmosis device.

9.6.2 Replace permeate end plate and all auxiliary equipment in accordance with the supplier's instructions.

9.6.3 Take care to ensure that the membranes are kept wet at all times and are properly sanitized or winterized, or both, (based on supplier's recommendations) for long-term storage (more than 5 days).

PRACTICE B—VACUUM TEST FOR SPIRAL WOUND DEVICES

10. Scope

10.1 This practice is applicable to detecting leaks in

spiral-wound reverse-osmosis devices, new or used, such leaks are significant enough to prevent the device holding a vacuum. These leaks may be due to a damaged membrane, glue-line failure, or leaks in O-ring seals. This test is useful as a screening procedure and is not intended as a means of absolute verification of such leaks.

11. Summary of Practice

11.1 The device is evaluated with one end of the permeate collection tube sealed. A vacuum gage on the other end of the tube is observed. A rapid decay in vacuum indicates a leak.

12. Procedure

12.1 Seal one end of the permeate collection tube with a suitable leak-tight cap. Connect the other end of the permeate tube to a vacuum gage and a valved vacuum source.

12.2 Evacuate the element to 84.4 to 101.3 kPa vacuum (25 to 30 in. Hg vacuum). Close the isolation valve and observe the reading on the vacuum gage. Note the rate at which the vacuum decays. A rapid decay (greater than 2 kPa/1 min [6 in./1 min]) will indicate the presence of a leak.

12.3 Shutdown Procedure:

12.3.1 Slowly release the vacuum on the reverse-osmosis device and allow the device to reach atmospheric pressure before disconnecting.

12.3.2 Take care to ensure that the membranes are kept wet at all times and are properly sanitized or winterized, or both, (based on supplier's recommendations) for long-term storage (more than 5 days).

PRACTICE C—DYE TEST FOR SPIRAL WOUND AND TUBULAR DEVICES

13. Scope

13.1 This practice is applicable to detecting leaks in spiral wound or tubular reverse-osmosis devices, new or used, which are due to lack of or loss of mechanical integrity.

14. Summary of Practice

14.1 The practice consists of passing a solution of a dye known to be rejected by the membrane, through the device under standard conditions as specified in Test Method D 4194. The concentration of the dye in the permeate relative to that in the feed is measured either spectrophotometrically or by visual comparison of the color intensity. A dye passage of greater than 0.5 % indicates a leak.

15. Apparatus

15.1 The test apparatus required is schematically described in Test Methods D 4194.

15.2 Nessler Tubes or Photometer—A set of 50-mL matched Nessler tubes or a photometer suitable for measurements at a wavelength of 590 nm.

NOTE 2—Filter photometers and photometric practices used in this method shall conform to Practice E 60. Spectrophotometers shall conform to Practice E 275.

16. Reagents

16.1 Dye Feed Solution (Methyl Violet 2B)—Prepare a 100-mg/L dye feed solution by adding 0.1 g of methyl violet

2B per litre of solution to water containing 1.5 g of NaCl per litre.

NOTE 3—Other dyes may be used for this test if they have been shown to give equivalent results, for example, form stable solutions, are relatively insensitive to pH changes in the pH 4 to 8 range; give measurable absorbance values in a similar concentration range, etc. If another dye is used, a suitable wavelength must be determined for measurement.

17. Procedure

17.1 Install the test equipment in accordance with 6.1 through 6.3 of Test Methods D 4194.

17.2 Start up and operate the test system in accordance with Section 8 of Test Methods D 4194.

17.3 Data Acquisition:

17.3.1 Allow the system to equilibrate for 30 min while maintaining constant flow, pressure, and temperature conditions. At the end of this period, take a 100-mL sample of the feed and permeate. Record the flows, pressures, and conductivities of the feed, concentrate, and permeate streams as well as the permeate temperature.

17.3.2 Using dilutions where necessary, measure the absorbance of the feed and permeate samples against a water blank with a filter photometer or spectrophotometer at 590 nm. Alternatively, compare the permeate color intensity

with suitable dilutions of the feed using Nessler tubes.

17.4 Shutdown Procedure—Thoroughly flush the device with water to remove all traces of the dye. Use the highest recommended concentrate flow rate at 350 kPa (50 psig) feed pressure. After flushing, allow the pressure to reach zero before disconnecting the reverse-osmosis device or carrying out maintenance on the piping system. Take care to ensure that the membranes are kept wet at all times and are properly sanitized or winterized, or both, (based on supplier's recommendations) for long-term storage (more than 5 days).

18. Calculation

18.1 Compute flows, conversions, salt passage, and rejection in accordance with Section 18 of Test Methods D 4194.

Dye passage, % (determined photometrically)

$$= A_p/A_F \times D_F \times 100$$

where:

A_p = absorbance of permeate of 590 nm,

A_F = absorbance of diluted feed at 590 nm, and

D_F = dilution factor for feed.

18.3 The dye passage can be determined directly by visual comparison of the permeate with appropriate dilutions of the feed in Nessler tubes and expressed as a percent of the feed.

18.4 A leak is diagnosed if the percent dye passage is greater than 0.5 %.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Practice for Calculation and Adjustment of Sulfate Scaling Salts (CaSO_4 , SrSO_4 , and BaSO_4) for Reverse Osmosis¹

This standard is issued under the fixed designation D 4692; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the calculation and adjustment of calcium, strontium, and barium sulfates for the concentrate stream of a reverse-osmosis system. The calculations are used to determine the need for scale control in the operation and design of reverse-osmosis installations. This practice is applicable for all types of reverse osmosis devices (tubular, spiral wound, and hollow fiber).

1.2 This practice is applicable to both brackish waters and seawaters.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 511 Test Methods for Calcium and Magnesium in Water²

D 516 Test Methods for Sulfate Ion in Water²

D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²

D 3352 Test Method for Strontium Ion in Brackish Water, Seawater, and Brines³

D 4194 Test Methods for Operating Characteristics of Reverse Osmosis Devices³

D 4195 Guide for Water Analysis for Reverse Osmosis Application³

D 4382 Test Method for Barium in Water, Atomic Absorption Spectrophotometry, Graphite Furnace²

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this practice, refer to Definitions D 1129.

3.2 Descriptions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 For descriptions of terms relating to reverse osmosis, refer to Test Methods D 4194.

4. Summary of Practice

4.1 This practice consists of calculating the potential for scaling by CaSO_4 , SrSO_4 , and BaSO_4 in a reverse osmosis concentrate stream from the concentration of Ca^{++} , Sr^{++} , Ba^{++} , and SO_4^- in the feed solution and the recovery of the reverse osmosis system.

4.2 This practice also presents techniques to eliminate scaling by decreasing the recovery, by decreasing the Ca^{++} ,

Sr^{++} , and Ba^{++} concentrations in the feed water, and by addition of scale inhibitors.

5. Significance and Use

5.1 In the design and operation of reverse osmosis installations, it is important to predict the CaSO_4 , SrSO_4 , and BaSO_4 scaling properties of the concentrate stream. Because of the increase in total dissolved solids and the increase in concentration of the scaling salts, the scaling properties of the concentrate stream will be quite different from those of the feed solution. This practice permits the calculation of the scaling potential for the concentrate stream from the feed water analyses and the reverse osmosis operating parameters.

5.2 Scaling by CaSO_4 , SrSO_4 , and BaSO_4 will adversely affect the reverse osmosis performance. This practice gives various procedures for the prevention of scaling.

6. Procedure

6.1 Determine the concentrations of Ca^{++} , Sr^{++} , Ba^{++} , and SO_4^- in the feed stream in accordance with Test Methods D 511, D 3352, D 4382, and D 516, respectively.

NOTE 1—If H_2SO_4 is used for control of CaCO_3 scale, measure the SO_4^- after acid addition.

6.2 Determine the concentration of all major ions using the appropriate methods given in Guide D 4195. At a minimum, the concentrations of Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , and Cl^- must be determined.

7. Calculation

7.1 Calculate the calcium concentration in the concentrate stream from the calcium concentration in the feed solution, from the recovery of the reverse-osmosis system, and from the calcium ion passage as follows:

$$\text{Ca}_c = \text{Ca}_f \times \frac{1 - Y(\text{SP}_{\text{Ca}})}{1 - Y}$$

where:

Ca_c = calcium ion concentration in concentrate, mg/L,

Ca_f = calcium ion concentration in feed, mg/L,

Y = recovery of the reverse osmosis system, expressed as a decimal, and

SP_{Ca} = calcium ion passage, expressed as a decimal.

NOTE 2— SP_{Ca} can be obtained from the supplier of the reverse osmosis system. For most reverse osmosis devices, SP_{Ca} can be considered to be zero, in which case the equation simplifies to:

$$\text{Ca}_c = \text{Ca}_f \times \frac{1}{1 - Y}$$

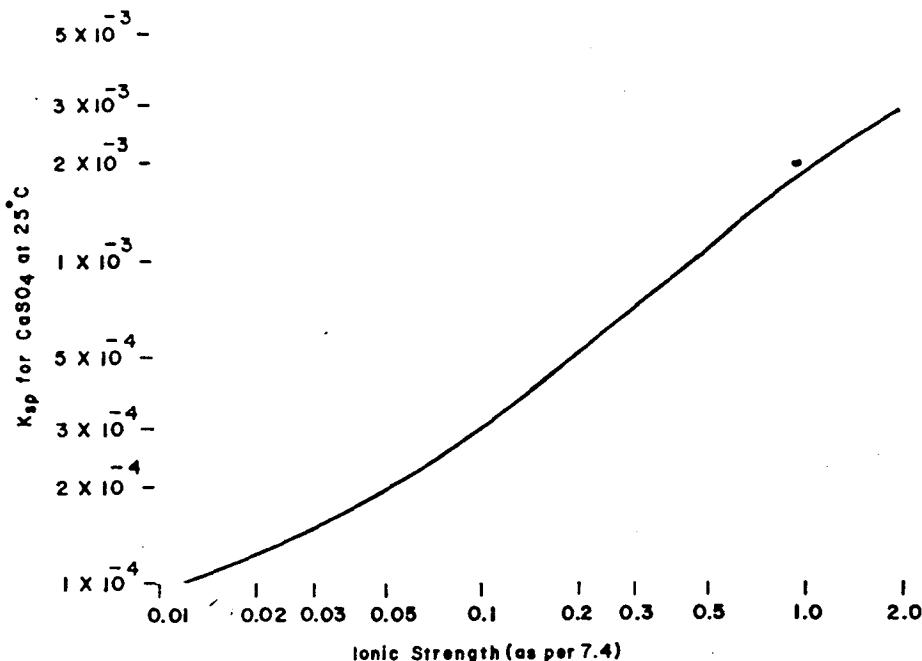
This assumption will introduce only a small error.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D 19.08 on Membranes and Ion Exchange Materials.

² Current edition approved May 29, 1987. Published July 1987.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.02.

FIG. 1 K_{sp} for CaSO_4 versus Ionic Strength

7.2 Calculate the SO_4^{2-} concentration in the concentrate stream from the SO_4^{2-} concentration in the feed solution, from the recovery of the reverse osmosis system, and from the sulfate ion passage by using the appropriate substitutions in the equation given in 7.1. The simplified equation can be used:

7.3 Calculate the concentration of the major ions in the concentrate stream using the appropriate substitutions in the equation given in 7.1. The simplified equation can be used.

7.4 Calculate the ionic strength of the concentrate stream as follows:

$$I_c = \frac{1}{2} \sum \bar{m}_i Z_i^2$$

where:

I_c = ionic strength of concentrate stream,

\bar{m}_i = molal concentration of ion, i (moles/1000 g of water) in the concentrate stream, and

Z = ionic charge of ion, i .

NOTE 3—The molal concentration is calculated as follows:

$$m_i = \frac{C_i}{1000 MW_i \left[\frac{10^6 - TDS}{10^6} \right]} = \frac{1000 C_i}{MW_i (10^6 - TDS)}$$

where:

C_i = concentration of ion, i , in concentrate stream, mg/L,

MW_i = molecular weight of ion, i , and

TDS = total dissolved solids in concentrate stream, mg/L.

7.5 Calculate the ion product (IP_c) for CaSO_4 in the concentrate stream as follows:

$$IP_c = (\text{Ca}^{++})_c (\text{SO}_4)_c$$

where:

$(\text{Ca}^{++})_c$ = M Ca^{++} in concentrate, mol/L, and

$(\text{SO}_4)_c$ = M SO_4^{2-} in concentrate, mol/L.

7.6 Compare IP_c for CaSO_4 with the solubility product (K_{sp}) of CaSO_4 at the ionic strength of the concentrate stream (Fig. 1).⁴ If $IP_c > K_{sp}$, CaSO_4 scaling will occur and adjustment is required.

NOTE 4—Some suppliers use a safety factor. Check with the supplier of the reverse osmosis device to determine if some fraction of the K_{sp} for example 0.8 K_{sp} , should be used to compare with IP_c .

7.7 Determine the scaling potential for SrSO_4 using the appropriate substitution in steps 7.1 to 7.4. Compare IP_c for SrSO_4 with the K_{sp} of SrSO_4 at the ionic strength of the concentrate stream (Fig. 2).⁵

7.8 Determine the scaling potential for BaSO_4 using the appropriate substitutions in steps 7.1 to 7.4. Compare IP_c for BaSO_4 with the K_{sp} of BaSO_4 at the ionic strength of the concentrate stream (Fig. 3).⁵

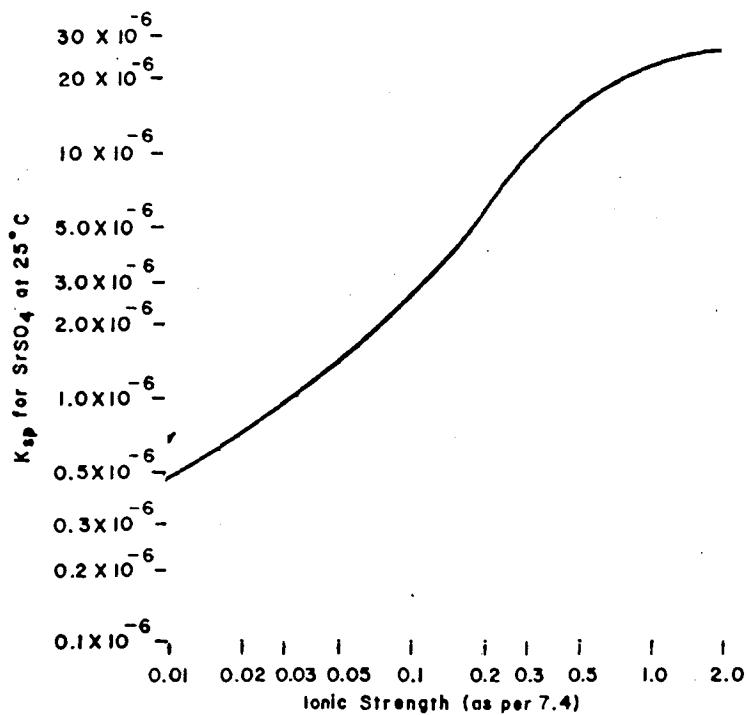
8. Adjustments for Scale Control

8.1 If the IP_c for CaSO_4 , SrSO_4 , and BaSO_4 is less than the K_{sp} or the recommended fraction of K_{sp} , a higher recovery can be used with respect to scaling by the various salts. Reiteration of the calculations at higher recovery can be used to determine the maximum conversion with respect to scaling by the various salts.

8.2 If the IP_c for CaSO_4 , SrSO_4 , or BaSO_4 is greater than the K_{sp} of the recommended fraction of K_{sp} , a lower recovery must be used to prevent scaling. Reiteration of the calculations at lower recovery can be used to determine the

⁴ Marshall, W. L. and Slusher, R., "Solubility to 200°C of Sulfate and its Hydrates in Sea Water and Saline Water Concentrates and Temperature, Concentration Limits," *Journal of Chemical and Engineering Data*, Vol 13, No. 1, 1968, p. 83.

⁵ Davis, J. W. and Collins, A. G., "Solubility of Barium and Strontium Sulfates in Strong Electrolyte Solutions," *Environmental Science and Technology*, Vol 5, No. 10, 1971, p. 1039.

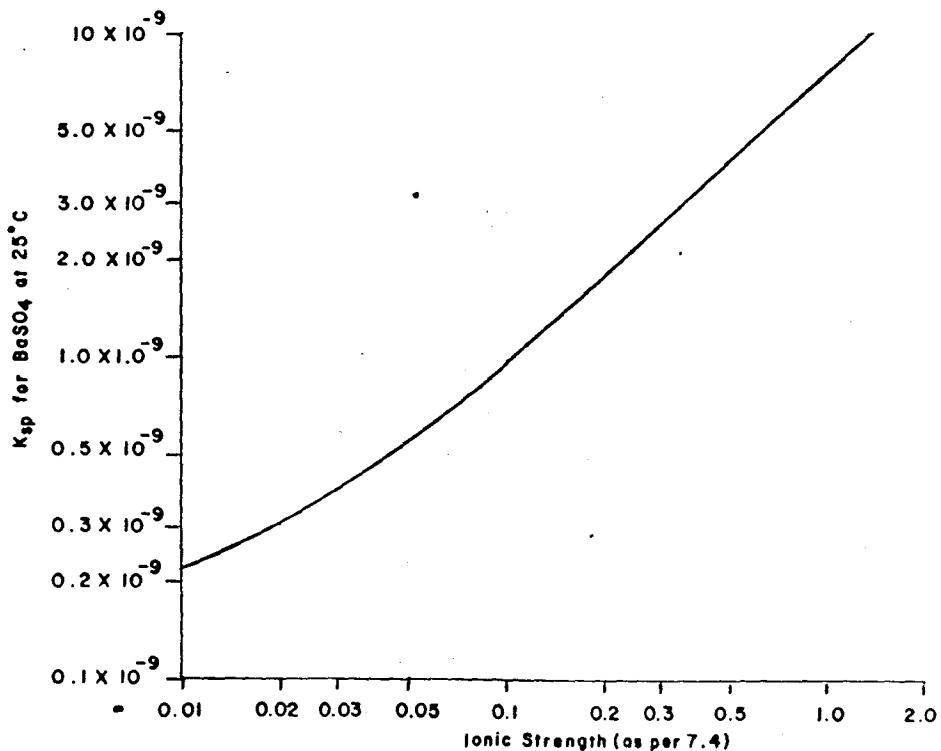
FIG. 2 K_{sp} for SrSO_4 versus Ionic Strength

allowable recovery with respect to scaling by the various salts.

8.3 If the maximum allowable recovery is lower than desired, sodium cycle ion exchange (softening) can be used to

remove all or part of the Ca^{++} , Sr^{++} , and Ba^{++} . This permit higher recovery of the reverse osmosis system with respect to scaling by the various salts.

8.4 Lime softening with lime or lime plus soda ash

FIG. 3 K_{sp} for BaSO_4 versus Ionic Strength

decrease the Ca^{++} concentration and thus permit higher conversion with respect to scaling by CaSO_4 .

8.5 Addition of a scale inhibitor to the feed stream permits operation of the reverse osmosis system above the K_{sp} value. Check with supplier of the reverse osmosis system to determine compatibility of inhibitors, concentration of the inhibitor needed and amount by which the K_{sp} can be exceeded when a scale inhibitor is used.

9. Reverse Osmosis in Operation

9.1 Once a reverse osmosis system is operating, the scaling

potential of CaSO_4 , SrSO_4 , and BaSO_4 can be directly calculated from the analyses of the concentrate stream and compared with the projected scaling potential calculated above.

10. Use of Computers for the Determination of Scaling Potential

10.1 The preceding calculations are adaptable to simple computer analysis.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Practice for Calculation and Adjustment of the Stiff and Davis Stability Index for Reverse Osmosis¹

This standard is issued under the fixed designation D 4582; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the calculation and adjustment of the Stiff and Davis Stability Index (S & DS) for the concentrate stream of a reverse osmosis device. This index is used to determine the need for calcium carbonate scale control in the operation and design of reverse osmosis installations. This practice is applicable for concentrate streams containing more than 10 000 mg/L of total dissolved solids. For concentrate streams containing less than 10 000 mg/L of total dissolved solids, refer to Practice D 3739.

1.2 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 511 Test Methods for Calcium and Magnesium in Water²
- D 1067 Test Methods for Acidity or Alkalinity of Water²
- D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²
- D 1293 Test Methods for pH of Water²
- D 1888 Test Methods for Particulate and Dissolved Matter, Solids, or Residue in Water²
- ✓ D 3739 Practice for Calculation and Adjustment of the Langelier Saturation Index for Reverse Osmosis³
- D 4194 Test Methods for Operating Characteristics of Reverse Osmosis Devices³
- D 4195 Guide for Water Analysis for Reverse Osmosis Application³

3. Terminology

3.1 For definition of terms used in the practice, refer to Definitions D 1129.

3.2 Descriptions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 For description of terms relating to reverse osmosis, refer to Test Methods D 4194.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.08 on Membranes and Ion Exchange Materials.

² Current edition approved Oct. 24, 1986. Published December 1986.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.02.

3.2.2 *Stiff and Davis Stability Index (S & DS)*⁴—index calculated from total dissolved solids, calcium concentration, total alkalinity, pH, and solution temperature that shows the tendency of a water solution to precipitate and dissolve calcium carbonate.

4. Summary of Practice

4.1 This practice consists of calculating the S & DS index for a reverse osmosis concentrate stream from the total dissolved solids, calcium ion content, total alkalinity, pH, and temperature of the feed solution and the recovery of the reverse osmosis system.

4.2 This practice also presents techniques to lower the S & DS by: decreasing the recovery; decreasing the calcium and alkalinity concentrations; or by changing the ratio of total alkalinity to free carbon dioxide in the feedwater.

5. Significance and Use

5.1 In the design and operation of reverse osmosis installations, it is important to predict the calcium carbonate scaling properties of the concentrate stream. Because of the increase in total dissolved solids in the concentrate stream and the differences in salt passages for calcium ion, bicarbonate ion and free CO₂, the calcium carbonate scaling properties of the concentrate stream will generally be quite different from those of the feed solution. This practice permits the calculation of the S & DS for the concentrate stream from the feed water analyses and the reverse osmosis operating parameters.

5.2 A positive S & DS indicates the tendency to form calcium carbonate scale, which can be damaging to reverse osmosis performance. This practice gives procedures for the adjustment of the S & DS.

6. Procedure

6.1 Determine the calcium concentration in the feed solution in accordance with Test Methods D 511 and express as CaCO₃.

6.2 Determine the total dissolved solids of the feed solution using Test Methods D 1888.

6.3 Determine the total alkalinity of the feed solution using Test Methods D 1067 and express as CaCO₃.

6.4 Measure the pH of the feed solution using Test Methods D 1293.

6.5 Measure the temperature of the feed solution.

⁴ Stiff, H. A., and Davis, L. E., "A Method for Predicting the Tendency of Field Waters to Deposit Calcium Carbonate," *Petroleum Transactions*, Vol 19, 1952.

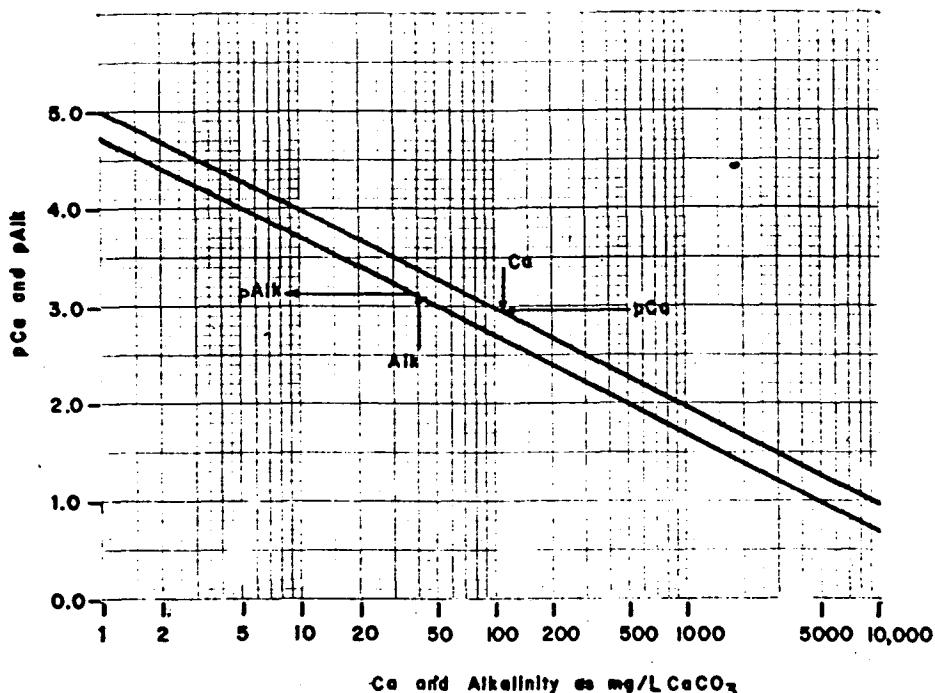


FIG. 1 Conversion of Calcium and Alkalinity to pCa and pAlk

6.6 Measure the concentration of all major ions using the methods cited in Guide D 4195. At a minimum measure the concentration of Mg^{++} , Na^+ , K^+ , SO_4^- and Cl^- .

7. Calculation

7.1 Calculate the calcium concentration in the concentrate stream from the calcium concentration in the feed solution, the recovery of the reverse osmosis system, and the calcium ion passage as follows:

$$Ca_c = Ca_f \times \frac{1 - y(SP_{Ca})}{1 - y}$$

where:

Ca_c = calcium concentration in concentrate as $CaCO_3$, mg/L,

Ca_f = calcium concentration in feed as $CaCO_3$, mg/L,

y = recovery of the reverse osmosis system, expressed as a decimal, and

SP_{Ca} = calcium ion passage, expressed as a decimal.

NOTE 1— SP_{Ca} can be obtained from the supplier of the specific reverse osmosis system. For most reverse osmosis devices, SP_{Ca} can be considered to be zero, in which case the equation simplifies to:

$$Ca_c = Ca_f \times \left(\frac{1}{1 - y} \right)$$

This assumption will introduce only a small error.

7.2 Calculate the alkalinity in the concentrate stream from the alkalinity in the feed solution, the recovery of the reverse osmosis system and the passage of alkalinity by:

$$Alk_c = Alk_f \times \frac{1 - y(SP_{Alk})}{1 - y}$$

where:

Alk_c = alkalinity in concentrate as $CaCO_3$, mg/L,

Alk_f = alkalinity in feed as $CaCO_3$, mg/L,

y = recovery of the reverse osmosis system, expressed as a decimal, and

SP_{Alk} = alkalinity passage, expressed as a decimal.

NOTE 2— SP_{Alk} may be dependent on the pH of the feed solution and its value should be obtained from the supplier of the specific reverse osmosis system.

7.3 Calculate the ionic strength of the feed stream by:

$$I_f = 1/2 \sum m_i z_i^2$$

where:

I_f = ionic strength of the feed stream,

m_i = molal concentration of ion, i (moles/1000 g of water) in the feed solution, and

z_i = ionic charge of ion, i .

To calculate I_f use at least all major ions, that is, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- , and Cl^- .

7.4 Calculate the ion strength of the concentrate stream from the ionic strength of the feed solution, the recovery and the total dissolved solids of the feed solution by:

$$I_c = I_f \left[\frac{10^6 TDS_f}{10^6 - (TDS_f) \left(\frac{1}{1 - y} \right)} \right] \left[\frac{1}{1 - y} \right]$$

where:

I_c = ionic strength of the concentrate stream, and

TDS_f = total dissolved solids of the feed solution, mg/L.

7.5 From Figure 1, obtain pCa as a function of Ca_c and $pAlk$ as a function of Alk_c . From Figure 2 obtain the constant "K" as a function of concentrate ionic strength and feed temperature.

7.5.1 Calculate the pH at which the concentrate stream is saturated with $CaCO_3$ (pH_s) as follows:

$$pH_s = pCa + pAlk + "K"$$

7.6 Calculate the free carbon dioxide content (C) in the concentrate stream by assuming that the CO_2 concentration

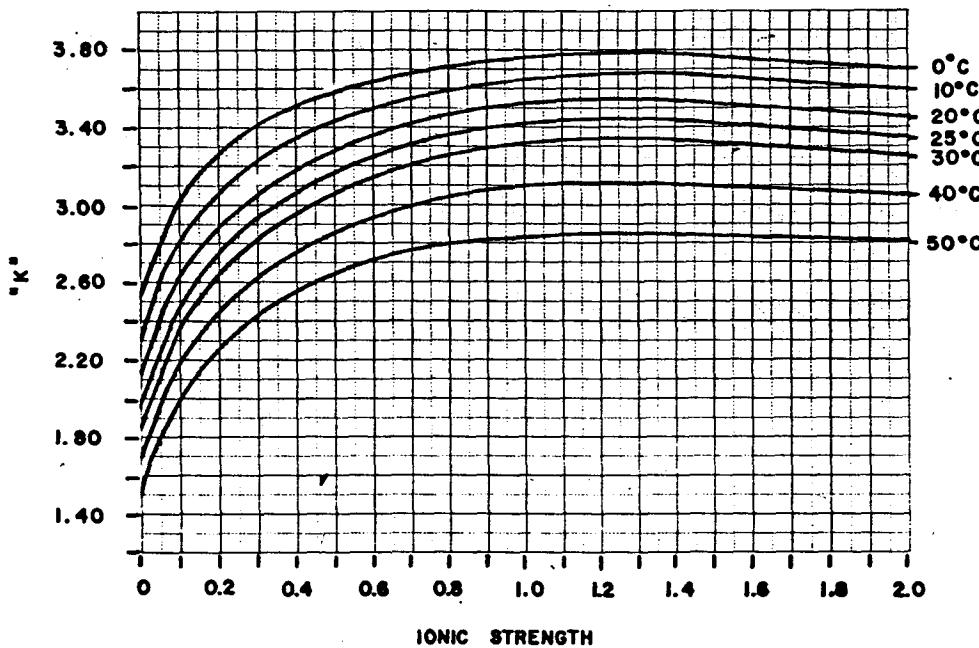


FIG. 2 "K" versus Ionic Strength and Temperature

in the concentrate is equal to the CO_2 concentration in the feed: $C_c = C_f$. The concentration of free carbon dioxide in the feed solution is obtained from Fig. 3 as a function of the alkalinity and the pH of the feed solution.

7.7 Calculate the pH of the concentrate stream (pH_c) using the ratio of alkalinity (from 7.2) to free CO_2 in the concentrate (from 7.6), Fig. 3.

NOTE 3—For seawater systems, the calculated pH of the concentrate stream can be 0.1 to 0.2 higher than measured pH values if the feed pH is above 7.0. In these cases, empirical correlations between the feed pH and the concentrate pH as a function of conversion can be used to more accurately calculate the concentrate pH. Check with the supplier of the reverse osmosis (RO) device to determine if empirical correlations should be used.

7.8 Calculate the Stiff and Davis stability index of the concentrate (S & DSI_c) as follows:

$$S \& DSIC = pH_c - pH_s$$

7.8.1 *Adjustments of S & DSIC*—If the S & DSI_c is unacceptable based on the supplier's recommendation, adjustments can be made by one of the following means. A new S & DSI_c can then be calculated.

7.8.1.1 The recovery (y) can be lowered and the S & DSI_c can be calculated as above by substituting a new value for the recovery.

7.8.1.2 Decreasing the calcium and alkalinity concentra-

tions in the feed solution by means of lime or lime-soda as softening will increase the $p\text{Ca}$ and $p\text{Alk}$ and will therefore decrease the pH_s .

7.8.2 Addition of acid (HCl , CO_2 , H_2SO_4 , etc) to the feed solution either with or without lime or lime-soda as softening changes the Alk_f , C_f , pH and may change the SP_{Alk} . The slight change in I_f can usually be neglected. Acid addition will decrease the S & DSI_c ; however, since many variables change with acidification, trial and error computations are required to determine the amount of acid needed to determine the amount of acid needed to obtain the desired S & DSI_c .

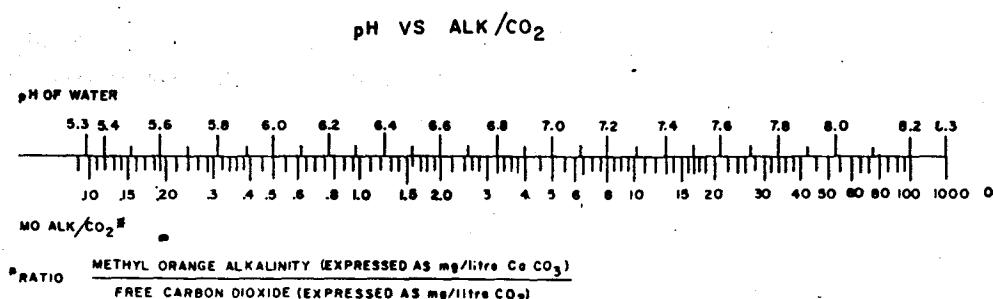
7.8.2.1 For an assumed pH (pH_{acid}), obtained from addition of acid to the feed solution, obtain the ratio of $\text{Alk}_{\text{Acid}}/C_{\text{Acid}}$ from Fig. 3. From this ratio, Alk_f and C_f calculate the milligrams per litre of acid used (x). For example, for H_2SO_4 addition (100 %), calculate as follows:

$$(\text{Alk}_{\text{Acid}}/C_{\text{Acid}}) = (\text{Alk}_f - 1.02x/C_f + 0.90x)$$

7.8.2.2 Calculate the total alkalinity of the acidified feedwater (Alk_{Acid}) and the CO_2 content in the acidified feedwater (C_{Acid}) as follows:

$$\text{Alk}_{\text{Acid}} = \text{Alk}_f - 1.02x$$

$$C_{\text{Acid}} = C_f + 0.90x$$

FIG. 3 pH versus Methyl Orange Alkalinity/Free CO_2

7.8.2.3 Using Alk_{Acid} , C_{Acid} and the supplier's value for y or the new pH, calculate the S & DSI_c in accordance with Section 7.

7.8.2.4 If HCl (100 %) is used for acidification, the equation in 7.8.2.1 is as follows:

$$(\text{Alk}_{\text{Acid}}/C_{\text{Acid}}) = (\text{Alk}_f - 1.37y/C_f + 1.21y)$$

where:

$$= \text{HCl, mg/L (100 \%)}.$$

8. Reverse Osmosis in Operation

8.1 Once a reverse osmosis system is operating, the S & DSI_c can be directly calculated from the analysis of Alk_c , C_a , pH_c , and I_c of the concentrate stream and compared with the projected S & DSI_c calculated in Section 7.

9. Use of Computers for the Determination of S & DSI_c

9.1 The preceding calculations are adaptable to simple computer analysis.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Guide for Water Analysis for Reverse Osmosis Application¹

This standard is issued under the fixed designation D 4195; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This guide covers the analyses that should be performed on any given water sample if reverse osmosis application is being considered.

1.2 This guide is applicable to waters including brackish waters and seawaters but is not necessarily applicable to waste waters.

1.3 This is a guide only and should not be construed as a delineation of all ions/known to exist in waters.

1.4 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 511 Test Methods for Calcium and Magnesium in Water²
- D 512 Test Methods for Chloride Ion in Water (Method B)²
- D 513 Test Methods for Carbon Dioxide and Bicarbonate and Carbonate Ions in Water²
- D 515 Test Methods for Phosphorus in Water (Method B)²
- D 516 Test Methods for Sulfate Ion in Water²
- D 857 Test Methods for Aluminum in Water (Method B or C)²
- D 858 Test Methods for Manganese in Water²
- D 859 Test Methods for Silica in Water²
- D 888 Test Methods for Dissolved Oxygen in Water (Method D)
- D 1068 Test Methods for Iron in Water (Method C, D, or E)²
- D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²
- D 1179 Test Methods for Fluoride Ion in Water²
- D 1253 Test Methods for Residual Chlorine in Water²
- D 1293 Test Methods for pH of Water²
- D 1428 Test Methods for Sodium and Potassium in Water and Water-Formed Deposits by Flame Photometry (Method A)²
- D 1888 Test Methods for Particulate and Dissolved Matter in Water²
- D 1889 Test Methods for Turbidity of Water²

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water, and is the direct responsibility of Subcommittee D 19.08 on Membranes and Ion Exchange Materials.

Current edition approved March 25, 1988. Published June 1988. Originally published D 4195 - 82. Last previous edition D 4195 - 87.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

D 2579 Test Methods for Total and Organic Carbon in Water³

D 3352 Test Method for Strontium Ion in Brackish Water, Seawater, and Brines³

D 3370 Practices for Sampling Water²

D 3561 Test Method for Lithium, Potassium, and Sodium Ions in Brackish Water, Seawater, and Brines by Atomic Absorption Spectrophotometry³

D 3867 Test Methods for Nitrite-Nitrate in Water²

D 4189 Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water²

D 4194 Test Methods for Operating Characteristics of Reverse Osmosis Devices³

D 4382 Test Method for Barium in Water, Atomic Absorption Spectrophotometry, Graphite Furnace²

2.2 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Sixteenth Edition, 1985, American Public Health Association, 1015 Fifteenth St., N.W., Washington, DC 20005, pp. 470-478, Part 427, Sulfite.

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of terms used in this guide, refer to Definitions D 1129.

3.2 Description of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 For description of terms relating to reverse osmosis, refer to Test Method D 4194.

4. Summary of Guide

4.1 This guide consists of analyzing water samples for ions, gases, suspended material, and organics, as well as measuring the pH and temperature of the water.

5. Significance and Use

5.1 The performance of reverse osmosis membranes is strongly influenced by the composition of the feed solution. Overall salt rejection is dependent upon the ratio of monovalent to polyvalent ions as well as the sum total of ions present. The permeate flow rate of reverse osmosis devices is also dependent upon the sum total of the ions present and the operating temperature, pressure, and recovery rate. Analyses and measurements performed in this guide will provide vital data for salt rejection and permeate flow projections of reverse osmosis systems for specific feedwaters.

5.2 The recovery at which a reverse osmosis system can be safely operated is dependent upon the composition of the feed solution. The analyses and measurements performed in this guide will provide data for the calculation of the maximum recovery of a reverse osmosis system for a given feed

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.02.

solution.

5.3 The analyses and measurements performed in this guide will be of great assistance in determining the pretreatment requirements for a reverse osmosis system on a given feedwater.

6. Procedure

6.1 Collect a sample of the water to be tested in accordance with Practices D 3370.

6.2 Determine the concentration of:

Calcium (Ca)	Manganese (Mn) total and dissolved	Carbonate (CO_3^{2-})
Magnesium (Mg)	Iron (Fe) (total, dissolved, and ferrous)	Nitrate (NO_3^-)
Sodium (Na)	Potassium (K)	Fluoride (F^-)
Strontium (Sr)	Bicarbonate (HCO_3^-)	Phosphate (PO_4^{3-}) (total)
Barium (Ba)	Sulfate (SO_4^{2-})	Silica (SiO_2) (total and dissolved)
Aluminum (Al) (total and dissolved)	Chloride (Cl^-)	Total dissolved solids (TDS)

in accordance with the documents referenced in Section 2 of this guide. The results may be expressed as (a) mg/L as the ion; (b) mg/L as calcium carbonate; or (c) meq/L as the ion.

NOTE 1—If the analysis is complete, the total cations and total anions (expressed as mg/L calcium carbonate or meq/L as the ion) should

balance within 5 %. That is:

$$([\text{total cations}] - [\text{total anions}])/[\text{total cations}] \times 100 < \pm 5\%$$

NOTE 2—ASTM methods for aluminum, iron, manganese, and nitrate may not be applicable for seawater.

6.3 Determine the organic carbon content of the water using Method D 2579.

6.4 Determine the concentration of:

Hydrogen sulfide (H_2S) (see 2.2)	Oxygen (O_2)
Free chlorine (Cl_2)	Carbon dioxide (CO_2)

in accordance with the documents referenced in Section 2 of this guide. Express the results as mg/L.

6.5 Measure the pH, temperature, turbidity, and silt density index in accordance with the ASTM standards referenced in Section 2 of this guide.

6.5.1 Turbidity should be obtained by the nephelometric method.

6.5.2 Temperature, pH, and silt density index should be measured on-site at the time the sample is collected.

7. Precision and Bias

7.1 The precision and bias of this guide are a function of each individual analysis and are given where applicable in the documents that are referenced.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Standard Test Method for Alkalinity in Brackish Water, Seawater, and Brines¹

This standard is issued under the fixed designation D 3875; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

¹ Note—Editorial changes were made to 7.1 and the Note in October 1985.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of alkalinity in brackish water, seawater, and brines.

1.2 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²

D 1193 Specification for Reagent Water²

D 3370 Practices for Sampling Water²

E 200 Practice for Preparation, Standardization, and Storage of Standard Solutions for Chemical Analysis²

3. Definitions

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Definitions D 1129.

4. Summary of Test Method

4.1 An electrotitrator or pH meter is used to determine the amount of acid necessary to reach pH 8.1 and 4.5, respectively. The pH values approximate the points where the hydroxide and bicarbonate ions are neutralized.

5. Significance and Use

5.1 Alkalinity as carbonate and bicarbonate of saline water is very important in chemical waterflooding or tertiary recovery processes for recovering petroleum. Alkaline waters offer better wetting to the formation rock and improve oil release. As an additional benefit, ions that provide alkalinity adsorb on rock surfaces occupying adsorption sites and decrease the loss of recovery chemical by adsorption. Determination of alkalinity in waters used in tertiary recovery processes is therefore very important.

5.2 An alkalinity value is necessary in the calculation of carbonate scaling tendencies of saline waters. It is also necessary to determine the alkalinity if the ionic balance of a

water analysis is to be used as a check of the reliability of the analysis.

6. Interferences

6.1 Anions other than bicarbonate, carbonate, or hydroxide ions that form weakly dissociated acids that participate in hydrolysis reactions may also contribute to the alkalinity as may some organic materials. The user of this method on determining the alkalinity is cautioned that all the effects of the anions entering into hydrolysis reactions are combined and reported as an equivalent amount of a single substance or two postulated ions. Included in the reported value is the alkalinity resulting from the presence of borate, silicate, sulfide, and phosphate. The effect of borate on the alkalinity value is considered negligible for waters with pH values of 7 or less.

7. Apparatus

7.1 Electrotitrator or Standard pH Meter with suitable electrodes. Maintenance and standardization of electrodes and pH meter should follow manufacturer's instructions because performance can be affected by improper treatment.

7.2 Buret, 10-mL micro.

8. Reagents

8.1 Purity of Reagents—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society,³ where such specifications are available. Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

8.2 Purity of Water—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean Type III reagent water conforming to Specification D 1193.

8.3 Sulfuric or Hydrochloric Acid, Standard Solution (not exceeding 0.1 N)—See Practice E 200 for preparation and standardization of acid.

8.4 Buffer Solutions (pH 4, 7, and 10)—These pH buffers are available from many chemical suppliers.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.09 on Saline, Brackish Waters, and Brines.

Current edition approved Feb. 12, 1979. Published April 1980. Originally published as D 3875 - 80. Last previous edition D 3875 - 80.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ "Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications," Am. Chemical Soc., Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see "Reagent Chemicals and Standards," by Joseph Rosin, D. Van Nostrand Co., Inc., New York, NY, and the "United States Pharmacopeia."

TABLE 1 Volume Relationships for Alkalinity Calculations⁴

Results	Volume of Standard Acid Corresponding to		
	Bicarbonate, HCO_3^-	Carbonate, CO_3^{2-}	Hydroxide, OH^-
$P = 0$	T	0	0
$P < \frac{1}{2} T$	$T - 2P$	$2P$	0
$P = \frac{1}{2} T$	0	$2P$	0
$P > \frac{1}{2} T$	0	$2(T - P)$	$2P - T$
$P = T$	0	0	T

 T = total titration to pH 4.5, mL P = titration to pH 8.1, mL⁴ "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," 13th edition, American Public Health Association, Washington, DC, 1975, p. 281.

9. Sampling

9.1 Collect the sample in accordance with Practices D 3370.

10. Procedure

10.1 Standardize the pH meter at a pH close to that of the samples. Normally this would be pH 7 for oilfield waters. However, depending on the source of the sample, it may be as low as pH 4 or as high as pH 10. Check the meter periodically with three buffers. Standardize the meter to 7 with pH 7 buffer and check its response at 4 and 10 with pH 4 and pH 10 buffers (within 0.1 pH unit). This is important. Serious errors can result if only one buffer is always used.

10.2 Make this analysis immediately after determining the pH in order to minimize errors due to decomposition of the bicarbonate of the sample. Transfer an undiluted sample, usually 50 to 100 mL, into a beaker.

10.3 Titrate with standard acid, while stirring, to pH 8.1 and record this volume as P . If water has a pH below 8.1, record P as zero and proceed to 10.4.

10.4 Continue the titration, with stirring, to pH 4.5 and record the total volume of acid used as T .

11. Calculation

11.1 Results of the titration offer a means for the stoichiometric classification of the three principal forms of alkalinity. The presence of the ions may be indicated by the relationships shown in Table 1 (Note). Using Table 1, make the following calculations:

NOTE—The presence of interferences (see 6.1) may produce errors in these relationships.

11.2 Bicarbonate:

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

$$\text{HCO}_3^-, \text{mg/L} = (A \times N \times 61 \times 1000)/M$$

where:

 A = millilitres of acid, N = normality of acid, and M = millilitres of sample.

11.3 Carbonate:

$$\text{CO}_3^{2-}, \text{mg/L} = (A \times N \times 30 \times 1000)/M$$

11.4 Hydroxyl:

$$\text{OH}^-, \text{mg/L} = (A \times N \times 17 \times 1000)/M$$

11.5 Results of titrations to specific end points may alternatively be reported as follows: The alkalinity to pH ____ at ____ °C = ____ meq/L (epm).

12. Precision and Bias⁴

12.1 The precision of this test method within its designated range may be expressed as follows:

$$S_T = 0.005X + 2.8$$

$$S_O = 0.0076X + 0.375$$

where:

 S_T = overall precision, S_O = single-operator precision, and X = concentration of alkalinity determined, mg/L.

Because of the instability of solutions prepared for alkalinity determinations, no statement of the accuracy of these measurements is practical. In determining the precision, six operators from five different laboratories analyzed three samples in duplicate on the same day.

12.2 The bias of this test method determined from recovery of a known amount of alkalinity in a prepared standard follows:

Amount Added mg/L	Amount Found mg/L	± Bias	± Bias	Statistically Signifi- cant (95 % Confi- dence Level)
975	973	-2	-0.2	no

NOTE—The above bias estimate is based on an interlaboratory study on one artificial brine sample. Other samples used in the precision determination had been altered with acid after make-up to adjust the pH. Some alkalinity was lost in the process so these could not be used in the bias determination. The mean responses to the other two solutions were 176 mg/L and 537 mg/L.

* Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D19-1059.



Standard Test Method for Chloride Ions in Brackish Water, Seawater, and Brines¹

This standard is issued under the fixed designation D 4458; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method² is applicable to the measurement of chloride in highly mineralized waters such as oil field brines, seawater, and brackish water. The test method is based upon the titration of chloride with silver nitrate, using a visual indicator.

1.2 Samples containing from 10 to 150 mg of chloride can be analyzed by this test method. These levels are achieved by dilution as described in the test method.

1.3 It is the user's responsibility to assure the validity of the method for untested types of water.

1.4 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 1129 Definitions of Terms Relating to Water³

D 1193 Specification for Reagent Water³

D 2777 Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Methods of Committee D-19 on Water³

D 3370 Practices for Sampling Water³

3. Definitions

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Definitions D 1129.

4. Summary of Test Method

4.1 This test method is based upon the Mohr procedure for determining chloride ion with silver nitrate. The chloride reacts with the silver ion before any silver chromate forms, due to the lower solubility of silver chloride. The potassium chromate indicator reacts with excess silver ion to form a red silver chromate precipitate. The end point is the appearance of the first permanent orange color.

4.2 This test method is suitable for analyzing solutions with a pH between 6.0 and 8.5.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.09 on Saline and Brackish Waters.

Current edition approved Jan. 25, 1985. Published March 1985.

² Hillebrand, W. F., Lundell, G. E. F., Bright, H. A., and Hoffman, J. I., *Applied Inorganic Analysis*, 2nd Ed., 732, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1953.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

5. Significance and Use

5.1 Chloride is present in virtually all oil field brines, seawaters, and many waste waters. Identification of the origin of the water and selection of its disposal method may be based upon the chloride content. The chloride content is also used to estimate the resistivity of formation waters and to differentiate between subsurface formations.

6. Interferences

6.1 Sulfide, bromide, iodide, thiocyanate, cyanide, phosphate, sulfite, carbonate, hydroxide, and iron interfere in this test method. Sulfide, sulfite, and thiosulfate can be removed with a peroxide treatment, but usually no attempt is made to remove bromide and iodide because they are usually present in insignificant quantities compared to chloride. If necessary, the pH can be raised and the hydroxides of several metals, including iron, can be filtered off. Iron, barium, lead, and bismuth precipitate with the chromate indicator.

7. Apparatus

7.1 *Laboratory Glassware.*

7.2 *Buret, 25-mL capacity.*

7.3 *Hotplate.*

7.4 *Magnetic Stirrer and TFE-fluorocarbon-Coated Stirring Bars.*

8. Reagents

8.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specification of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁴ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

8.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D 1193, Type III.

8.3 *Silver Nitrate Solution, Standard* (equivalent to 5 mg Cl⁻/mL)—Dissolve 23.9582 g of AgNO₃ in approximately 700 mL of water. Add 1 drop concentrated nitric acid (HNO₃) and dilute to 1 L in a volumetric flask. The HNO₃ will eliminate any precipitation of silver hydroxide which would change the concentration. Standardize against sodium chloride (NaCl) by the procedure described in 8.4. Store in

⁴ "Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications," American Chemical Society, Washington, D.C. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see "Reagent Chemicals and Standards," by Joseph Rosin, D. Van Nostrand Co., Inc., New York, NY, and the "United States Pharmacopeia."

an amber-brown bottle to protect the solution from light.

8.4 Silver Nitrate Solution, Standard (equivalent to 2 mg Cl⁻/mL)—For lower chloride concentrations, this more dilute standard will give a more accurate titration. Dissolve 9.5834 g of AgNO₃ in approximately 700 mL of water. Add 1 drop concentrated nitric acid (HNO₃) and dilute to 1 L in a volumetric flask. Standardize against sodium chloride (NaCl) by the procedure described below. Store in an amber-brown bottle to protect the solution from the light.

8.4.1 Dry 2 to 6 g of high purity (minimum 99.5 %) sodium chloride crystals at 110°C for 1 h and cool in a dessicator to room temperature.

8.4.2 Weigh 1.6484 g of the NaCl crystals. Transfer the crystals into a 1-L volumetric flask, dissolve, dilute, and mix well. A quantity of 1 mL of this solution provides 1 mg of Cl⁻.

8.4.3 Pipet 50 mL aliquots of the NaCl solution to standardize the weaker AgNO₃ solution (2 mg Cl⁻/mL) and dilute to 100 mL with water. Use 100 mL of the NaCl solution to standardize the more concentrated AgNO₃ solution (5 mg of Cl⁻/mL).

8.4.4 Add 1 mL of 5 % indicator solution (see 8.5), 1 g of sodium bicarbonate powder, and titrate to the appearance of a permanent orange color preceding a red precipitate. The analyst must practice this titration to become familiar with this color.

8.4.5 Determine the indicator blank by substituting 100 mL of reagent grade water for the sample in 10.3 to 10.6.

8.4.6 The titre (*T*) of the silver nitrate solution is given in the following equation:

$$\frac{\text{mg Cl}^- \text{ used}}{\text{mL AgNO}_3 \text{ required} - \text{blank}}$$

8.4.7 If the titre (*T*) of the solutions are not exactly 2.0 or 5.0 mg of Cl⁻ per mL AgNO₃, it may be desirable to dilute the solutions if they are too concentrated or add more silver nitrate if too weak. In either case, restandardize the resulting solution.

8.5 Potassium or Sodium Chromate, Indicator Solution—Prepare a 5 % solution (5 g/100 mL) and adjust the pH to 7.0 with HNO₃ (1+19) or NaHCO₃ powder described in 8.6 and 8.7.

8.6 Sodium Bicarbonate (NaHCO₃)—Powder to adjust the sample pH to 8.3.

8.7 Nitric Acid Solution (1+19)—Add 1 volume of HNO₃ (sp. gr. 1.42) to 19 volumes water.

TABLE 1 Aliquot Size for Chloride Determination

Specific Gravity	Sample Dilution	Equivalent Aliquot, mL
1.000 to 1.010	None—Take 50 mL for analysis	50
1.010 to 1.025	None—Take 25 mL for analysis	25
1.025 to 1.050	Dilute 25 mL to 100 mL, take 50 mL	12.5
1.025 to 1.090	Dilute 25 mL to 100 mL, take 25 mL	6.25
1.090 to 1.120	Dilute 25 mL to 500 mL, take 25 mL	1.25
1.120 to 1.150	Dilute 25 mL to 1000 mL, take 25 mL	0.625

9. Sampling

9.1 Collect the sample in accordance with Practices D 3370.

10. Procedure

10.1 Filter the sample to remove any insoluble or suspended materials.

10.2 Pipet an aliquot of sample into a 150-mL Erlenmeyer flask. Dilute to 100 mL with water. Refer to Table 1 for approximate volume.

10.3 Measure the pH and adjust to near neutral.

10.4 Add 1 g of sodium bicarbonate and stir to dissolve. The pH should be between 6.5 and 8.0.

10.5 Add 1 mL of 5 % chromate indicator.

10.6 Titrate with one of the silver nitrate solutions to a permanent orange color preceding the brick red colored precipitate.

10.7 Record the volume of AgNO₃ required to the end point and calculate the chloride content.

11. Calculation

11.1 Calculate the chloride content as follows:

$$\text{Mg Cl}^-/\text{L} = \frac{(\text{mL AgNO}_3 \text{ used} - B) \times T \times 1000}{\text{mL sample}}$$

where:

T = titre, mg Cl⁻/mL of AgNO₃, and

B = indicator blank, as determined in 8.4.5.

12. Precision and Bias⁵

12.1 *Precision*—The overall and single operator precision of this test method varies with the quantity being tested according to Fig. 1.

12.2 *Bias*—Recoveries of known amounts of chloride in synthetic brines are given in Table 2.

TABLE 2 Recoveries of Known Amounts of Chloride in Synthetic Brines

Amount Added, mg/L	Amount Found, mg/L	Bias, ± %	Statistically Significant (95 % Confidence Level)
994	995	+0.10	No
46 324	47 868	-0.94	Yes
143 524	142 959	-0.39	No

12.3 The information in Table 2 is derived from round robin testing in which five laboratories, including eight operators, participated. Of eight data sets ranked as described in Practice D 2777, none was rejected. One data point out of seventy-two was rejected. Three synthetic brines were analyzed, on each of three days, at chloride levels representative of the range of the test method.

12.4 These data may not apply to waters of other matrices.

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR-D-19-1115.

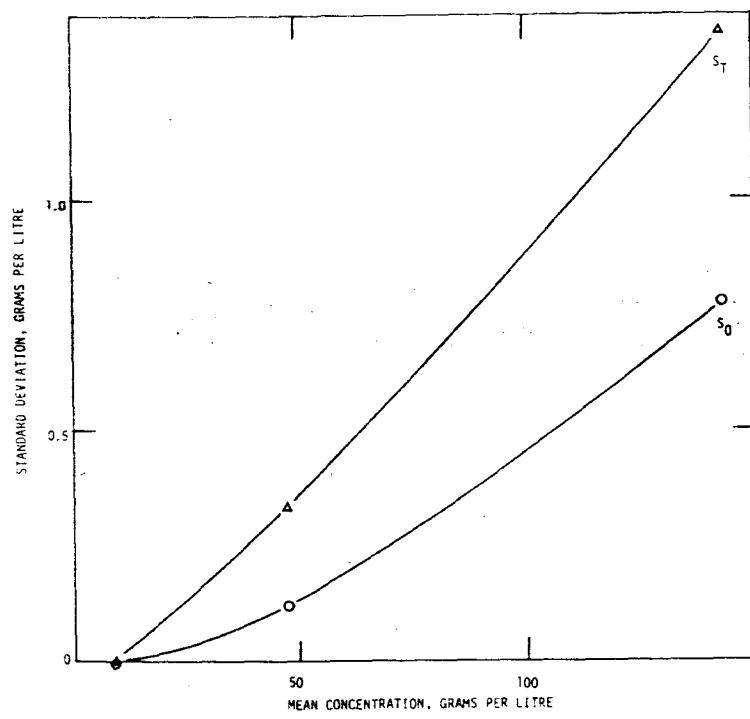


FIG. 1 Overall and Single-Operator Standard Deviations Against Mean Concentration in g/L for Interlaboratory Experimental Recovery by Titration of Chloride from Synthetic Brines

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Method for Sulfate Ion in Brackish Water, Seawater, and Brines¹

This standard is issued under the fixed designation D 4130; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{e1} Note—Editorial changes were made throughout this standard in December 1986.

1. Scope

1.1 This test method covers the turbidimetric determination of sulfate ion in brackish water, seawater, and brines. It has been used successfully with synthetic brine grade waters; however, it is the user's responsibility to ensure the validity of this test method to other matrices.

1.2 This test method is applicable to waters having an ionic strength greater than 0.65 mol/L and a sulfate ion concentration greater than 25 mg/L. A concentration less than 25 mg/L sulfate can be determined by using a standard addition method.

1.3 For brines having an ionic strength of less than 0.65 mol/L, refer to Test Methods D 516.

1.4 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 516 Test Methods for Sulfate Ion in Water²

D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²

D 1192 Specification for Equipment for Sampling Water and Steam²

D 1193 Specification for Reagent Water²

D 2777 Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Methods of Committee D-19 on Water²

D 3370 Practices for Sampling Water²

E 275 Practice for Describing and Measuring Performances of Ultraviolet, Visible, and Near Infrared Spectrophotometers³

3. Definitions

3.1 For definitions of terms used in this test method, refer to Definitions D 1129.

4. Summary of Test Method

4.1 A sulfate ion is converted to a barium sulfate suspended under controlled conditions. A glycerin-acid solution

is added to acidify and stabilize the suspension. A calculated volume of a NaCl solution is added to adjust the ionic strength to a set value of 2 mol/L (Note 1). The turbidity resulting upon addition of barium chloride is determined by a photoelectric colorimeter and compared to a curve prepared from standard sulfate solutions.

NOTE 1—The ionic strength (IS) of the sample is calculated from the concentration of the major ion constituents (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , K^+ and Sr^{++} if their concentration exceeds 2000 mg/L) as follows:

where:

$$IS, \text{ mol/L} = 1/2 \sum C_i Z_i^2,$$

C_i = g/L ion i /molecular weight ion, i , and

Z_i = valence of ion i .

5. Significance and Use

5.1 The determination of sulfate and other dissolved constituents is important in identifying the source of brines produced during the drilling and production phases of crude oil or natural gas.

6. Interferences

6.1 Suspended matter in the sample must be removed. Dark colors that cannot be compensated for in the procedure interfere with the measurement of suspended barium sulfate (BaSO_4).

7. Apparatus

7.1 *Photometer*—A filter photometer or a spectrophotometer for measurements between 400 to 450 nm, the preferable wavelength being 425 nm. The cell for the instrument must have a light path of 20 ± 2 mm and hold a volume of 25 mL. Filter photometers, spectrophotometers, and photometric practices prescribed in this test method shall conform to Practice E 275.

8. Reagents

8.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁴ Other grades may be used, providing it is first ascertained that the

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.09 on Saline and Brackish Waters.

Current edition approved May 28, 1982. Published July 1982.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

⁴ "Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications," Am. Chem. Soc., Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see "Reagent Chemicals and Standards," by Joseph Rosin, D. Van Nostrand Co., Inc., New York, NY, and the "United States Pharmacopeia."

reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

8.2 Purity of Water—Unless otherwise indicated, reference to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D 1193, Type III. In addition, reagent water used for this test method shall be sulfate-free.

8.3 Barium Chloride—Crystals of barium chloride ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) screened to 20 to 70 mesh.

8.4 Glycerin-Acid Solution—Mix 250 mL of glycerin, and 50 mL of hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) and dilute to 500 mL with water.

8.5 Sodium Chloride Solution (5 mol)—Dissolve 584.4 g of sodium chloride (NaCl) containing less than 0.001% SO_4^{2-} in about 1800 mL offewater and dilute to 2 L with water.

8.6 Sulfate Solution, Standard (1 mL = 1.00 mg SO_4^{2-})—Dissolve 1.479 g of anhydrous sodium sulfate, (Na_2SO_4), in water and dilute to 1 L in a volumetric flask.

9. Sampling

9.1 Collect the sample in accordance with the applicable ASTM standard as follows: Specification D 1192 or Practices D 3370.

9.2 Preserve the samples with high purity hydrochloric acid to a pH of two or less immediately at the time of collection (2 mL/L).

10. Calibration

10.1 Prepare standards by adding 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, and 10.0 mL of sulfate standard solution (1 mL = 1.00 mg SO_4^{2-}) to separate 100 mL graduated mixing cylinders. Add 5.0 mL of glycerin-acid solution and 40.0 mL of sodium chloride solution (5 mol) to each of the cylinders and dilute to 100 mL with water. Adjust the temperature of these solutions to $25 \pm 2^\circ\text{C}$. These solutions will contain 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, and 10.0 mg of sulfate ion, respectively.

10.2 Follow the procedure as given in 11.6 through 11.8. Prepare a calibration curve showing sulfate ion content in milligrams on the linear axis with the corresponding percent transmittance (%T) reading of the photometer on the logarithmic axis of a one cycle semilogarithmic graph paper (Note 2).

NOTE 2—The plot of concentration versus %T is not linear but shows a slight s curvature. A separate calibration curve must be prepared for each photometer and a new curve must be prepared if it is necessary to change the photo cell, lamp, filter, or if any other alterations of the instrument or reagents are made. Check the curve with each series of tests by running two or more solutions of known sulfate concentrations.

11. Procedure

11.1 Filter the sample through a 0.45- μm membrane filter. This is necessary to remove nucleating particles.

11.2 Pipet a volume of filtered sample not to exceed 50 mL and 10 mg SO_4^{2-} into a 100-mL graduated mixing cylinder. The ionic strength (IS) of the sample when diluted to 100 must not exceed 2.00 mol/L.

11.3 Add 5 mL of glycerin-acid solution.

11.4 Add by a graduated pipet or a buret a volume of sodium chloride solution (5 mol) calculated as follows:

$$\text{mL NaCl} = (200 - (V \times IS)) / 5$$

V = volume of sample, and

IS = ionic strength of sample as calculated in Note 1, 4.1.

11.5 Dilute with water to 100 mL, mix well, and adjust the temperature to $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

NOTE 3—The temperature of the solution in the mixing cylinder during the development and measurement of the turbidity must be within 2°C of the temperature of the standards when the calibration was performed. A higher temperature will result in a positive error, a lower temperature in a negative error.

11.6 Pipet a 25-mL aliquot of the sample solution into a sample cell and place it in the cell compartment. Set the photometer to 100 %T (transmittance) with the wavelength set at 425 nm or blue filter in place.

11.7 Add 0.3 ± 0.01 g of $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ crystals to the 75 mL remaining in the mixing cylinder, stopper, set a timer for 5 min, and mix for 30 s by inverting and righting the cylinder 15 times.

NOTE 4—It is important the mixing be performed at a constant rate and duplicated in all determinations.

11.8 Just before 5 min has expired, check the blank setting. Adjust to 100 %T if drifting has occurred. Replace the blank with the sample cell and measure turbidity at 5 min. If the %T is greater than 80 % or less than 30 % T, the determination with a smaller or larger sample volume providing the restrictions in step 11.2 are not violated.

NOTE 5—The most reproducible section of the calibration curve is from 80 to 30 % T. Very low concentrations of sulfate ion can be determined by adding 3 mL of sulfate standard (1 mL = 1.00 mg SO_4^{2-}) before diluting to 100 mL in step 11.5 and then subtracting the 3 mg SO_4^{2-} from the final results.

12. Calculation

12.1 Convert the photometer reading to mg SO_4^{2-} by referring to the calibration curve. Calculate the sulfate ion concentration as follows:

$$\text{Sulfate, mg/L} = W \times 1000/V$$

W = milligram SO_4^{2-} from the calibration curve, and

V = sample volume, mL.

13. Precision and Bias⁵

13.1 The overall and single-operator precision of this test method within its designated range for brackish water, seawater, and brines varies with the quantity tested in accordance with Fig. 1.

13.2 These collaborative test data were obtained on synthetic brine waters. For other matrixes, these data may not apply. It is the user's responsibility to ensure the validity of this test method for waters of untested matrixes.

NOTE 6—The precision and bias estimates are based on an interlaboratory study on three synthetic brine samples containing various amounts of sulfate and other inorganic compounds as shown in Table 2. One analyst in five laboratories and two analysts in each of two laboratories performed single determinations on each of three days. Practice D 2777, was used in developing these precision and bias estimates.

⁵ Supporting data for the precision and bias statements have been filed at ASTM Headquarters. Request RR: D 19-1077.

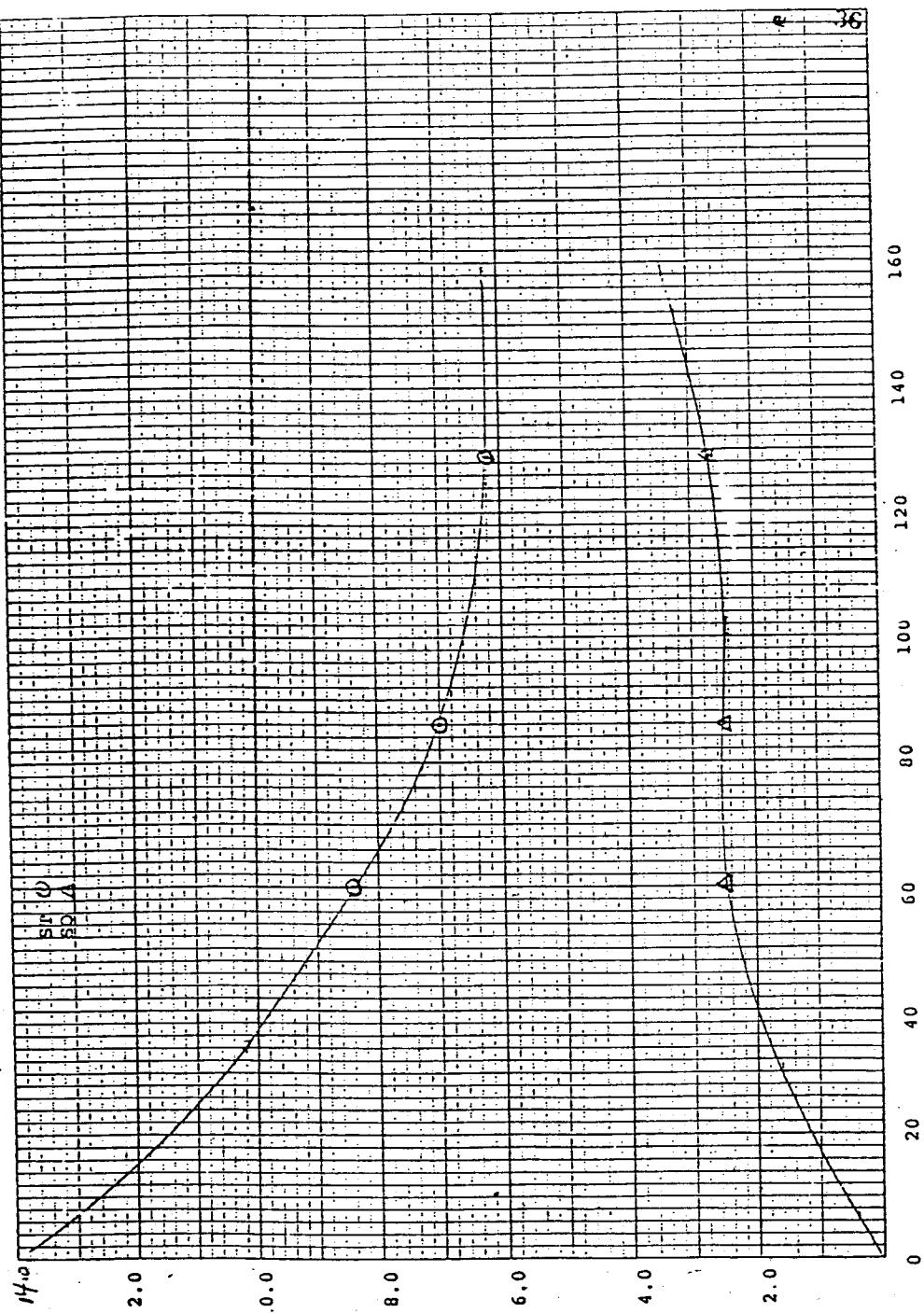


FIG. 1 Interlaboratory Precision for Sulfate Ion in Synthetic Brines by Turbidimetry

TABLE 1 Determination of Bias

Amount Added, mg/L	Amount Found, mg/L	% Bias	Statistically Significant (95 % confidence level)
60.3	61.7	+2.32	no
86.3	83.9	-2.78	no
128.9	126.1	-2.17	no

TABLE 2 Composition of Synthetic Brine Samples

Sample No.	g/L		
	1	2	3
NaCl	47.74	61.04	95.33
CaCl ₂	27.22	40.85	54.47
MgCl ₂	3.84	7.68	7.71
SO ₄ ⁻	0.0863	0.1289	0.0603

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Standard Test Method for SILT DENSITY INDEX (SDI) OF WATER¹

This standard is issued under the fixed designation D 4189; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This method covers the determination of the silt density index (SDI) of water. The method can be used to indicate the quantity of particulate matter in water and is applicable to relatively low (<1.0 FTU) turbidity waters such as well water, filtered water, or clarified effluent samples. Since the size, shape, and nature of particulate matter in water may vary, this method is not an absolute measurement of the quantity of particulate matter.

1.2 This method is not applicable for reagent grade Water Types I, II, and III of Specification D 1193 or effluents from most reverse osmosis and ultrafiltration systems.

1.3 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

D 1129 Definitions of Terms Relating to Water²

D 1193 Specification for Reagent Water²

D 3370 Practices for Sampling Water²

E 1 Specification for ASTM Thermometers³

3. Summary of Method

3.1 Water is passed through a 0.45-μm membrane filter at a constant applied gage pressure of 207 kPa (30 psi), and the rate of plugging of the filter is measured.

3.2 The SDI is calculated from the rate of plugging.

4. Significance and Use

4.1 The SDI can serve as a useful indication of the quantity of particulate matter in water.

4.2 The SDI can be used to determine effectiveness of various processes such as filtration or clarification used to remove particulate matter.

4.3 The SDI has been empirically correlated with the fouling tendency of some water treatment equipment such as reverse osmosis devices.

4.4 The SDI may vary as a function of water temperature, and values obtained at different temperatures may not necessarily be comparable.

4.5 The SDI will vary with the membrane filter manufacturer. Thus, SDI values obtained with filters from different membrane manufacturers cannot be comparable.

5. Terminology

5.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this method, refer to Definitions, D 1129.

5.2 *Description of Term Specific to This Standard:*

5.2.1 *silt density index (SDI)*—an index calculated from the rate of plugging of a 0.45-μm membrane filter.

6. Apparatus

6.1 *SDI Assembly*, as schematically described in Fig. 1. All wetted parts should be

¹This method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.05 on Inorganic Constituents in Water.

Current edition approved Dec. 20, 1982. Published March 1983.

²Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

quired for the flow of 500 mL. Record the time (*t*). Leave the valve open for continued flow.

NOTE 3—Time (*t*) to collect 500 mL should be within ±10 % of the time to collect 500 mL using nonplugging reference water at the same water temperature. The nonplugging reference water can be obtained by filtering distilled water through a 0.2-μm pore size membrane filter.

NOTE 4—if *t* is less than 90 % of the nonplugging time, the filter may be cracked and a new filter should be used. If *t* is more than 110 % of the nonplugging time, then a smaller sample size, that is, 250 mL or 100 mL should be used.

NOTE 5—The 500-mL sample size is based on a 47-mm diameter filter. If a different filter size is used, adjust the sample size in direct proportion to the filter area.

7.8 Measure and record the times to collect additional 500-mL (Note 6) volumes of sample, starting the collection at 5, 10, and 15 min of total elapsed flow time. Measure the water temperature and check the pressure as each sample is collected (Notes 7 and 8).

NOTE 6—if the initial size was not 500 mL, use the same sample size as used in 7.7.

NOTE 7—the pressure must remain at 207 ± 7 kPa (30 ± 1 psi) throughout the test.

NOTE 8—the water temperature must remain constant (±1°C) throughout the test. This is necessary because flow rate changes by about 3 %/°C.

7.9 After completion of the test, the membrane filter may be retained for future reference.

8. Calculations

8.1 Calculate the silt density index (SDI_T) as follows:

$$\text{SDI}_T = \frac{\%P_{50}}{T} = \frac{\left[1 - \frac{t}{T} \right] 100}{T}$$

where:

%P₅₀ = percent at 207 kPa (30 psi) feed pressure,

T = total elapsed flow time, min (usually 15 min, see Note 9).

t = initial time required to collect 500 mL of sample, s, and

t = time required to collect 500 mL of sample after test time T (usually 15 min, see Note 9), s.

NOTE 9—for this method, %P₅₀ should not exceed 75 %. If %P₅₀ exceeds this value, use a shorter time for T; that is, 5 or 10-min measurements in 7.8. If %P₅₀ exceeds 75 % after 5 min, other methods should be used to analyze for particulate matter.

9. Report

- 9.1 Report the following information:
- 9.1.1 The SDI, with a subscript indicating the total elapsed flow time (T) in minutes,
 - 9.1.2 The water temperature before and after the test, and
 - 9.1.3 The manufacturer of the $0.45\text{-}\mu\text{m}$ membrane filter used for the test, as well as the manufacturer's identification for the membrane filter.

10. Precision

- 10.1 Based on round-robin testing, the pooled single operator standard deviation of

this method is 0.43 for water sources of choice with a silt density index (SDI) of 0.4 to 15. Nine operators from five laboratories participated using test water of their choice.⁴

11. Accuracy

- 11.1 The accuracy of the method cannot be determined because the method is based upon waters of choice, which may differ with each source.

⁴ Interlaboratory test data are on file at ASTM Headquarters in Research Report File D-19.05.02.08.

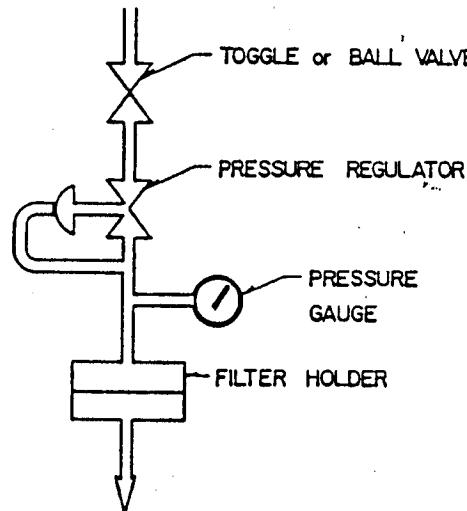


FIG. 1 Apparatus for Measuring the Silt Density Index

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.



Designation: D 1429 - 76 (Reapproved 1981)

Standard Test Methods for SPECIFIC GRAVITY OF WATER AND BRINE¹

This standard is issued under the fixed designation D 1429; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope and Application

- 1.1 These methods cover the determination of the specific gravity of water and brine free of separable oil, as follows:

	Sections
Method A—Pycnometer Method	6 to 10
Method B—Balance Method	11 to 15
Method C—Erlenmeyer Flask Method	16 to 19
Method D—Hydrometer Method	20 to 24

- 1.2 Methods A and B are applicable to clear waters or those containing only a moderate amount of particulate matter. Method B is preferred for samples of sea water or brines and is more sensitive than Method D which has the same general application. Method C is intended for samples of water containing mud or sludge.

2. Applicable Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
 - D 1066 Practice for Sampling Steam²
 - D 1129 Definitions of Terms Relating to Water³
 - D 1192 Specification for Equipment for Sampling Water and Stream²
 - D 1193 Specification for Reagent Water²
 - D 2777 Practice for Determination of Precision and Bias of Methods of Committee D-19 on Water²
 - D 3370 Practices for Sampling Water²
 - E 1 Specification for ASTM Thermometers³
 - E 380 Standard for Metric Practice⁴

3. Definitions

- 3.1 *brine*—water having more than 30 000 mg/litre of dissolved matter.
- 3.2 For definitions of terms used in this method refer to Definitions D 1129. For an

explanation of SI units and symbols refer to Standard E 380.

4. Reagents

- 4.1 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water conforming to Specification D 1193, Type II.

5. Sampling

- 5.1 Collect the samples in accordance with Practices D 3370 and D Method 1066.

- 5.2 In view of the lack of a standard method for sampling mud or sludge, no instructions are given for sampling this type of material.

METHOD A—PYCNOMETER METHOD**6. Summary of Method**

- 6.1 The sample is introduced into a pycnometer, stabilized at the desired temperature, and weighed. The specific gravity is calculated from this weight and the previously determined weight of reagent water that is required to fill the pycnometer at the same temperature.

7. Apparatus

- 7.1 *Bath*—Constant-temperature bath designed to maintain a temperature of $15.6 \pm$

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-19 on Water, and are the direct responsibility of Subcommittee D 19.09 on Saline and Brackish Water.

Current edition approved May 28, 1976. Published July 1976. Originally published as D 1429-56. Last previous edition D 1429-60(1972).

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

1°C ($60 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$). If any other temperature must be used due to local conditions, appropriate corrections shall be made.

7.2 Pycnometer—Cylindrical or conical glass vessel carefully ground to receive an accurately fitting 24/12 standard taper glass stopper provided with a hole approximately 1.0 to 2.0 mm in diameter, centrally located in reference to the vertical axis. The top surface of the stopper shall be smooth and substantially plane, and the lower surface shall be concave in order to allow all air to escape through the bore. The height of the concave section shall be approximately 5 mm at the center. The stoppered pycnometer shall have a capacity of about 24 to 30 ml, and shall weigh not more than 40 g. Suitable pycnometers are shown in Fig. 1.

7.3 Thermometer—An ASTM Gravity Thermometer having a range from -20 to $+102^{\circ}\text{C}$ or -5 to $+215^{\circ}\text{F}$, as specified, and conforming to the requirements for Thermometer 12C or 12F, respectively, as prescribed in Specification E 1.

8. Procedure

8.1 Weigh a clean, dry, calibrated pycnometer, complete with stopper, on an analytical balance, and record this weight to the nearest 0.1 mg, as P .

8.2 Remove the stopper and fill the pycnometer with recently boiled reagent water that has been cooled to room temperature, to within several millimetres of the top. Remove the air bubbles. Immerse the unstopped pycnometer up to the neck in a constant-temperature bath maintained at $15.6 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($60 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$). Allow the pycnometer to remain in the bath for a period of time sufficient to establish temperature equilibrium. Twenty minutes is usually sufficient.

8.3 After temperature equilibrium has been established, and before removing from the bath, firmly insert the stopper and remove the excess water from the top of the stopper, taking care to leave the capillary filled. Remove the stoppered pycnometer from the bath and wipe it dry. Immediately weigh the pycnometer, and record this weight to the nearest 0.1 mg, as W .

8.4 Empty the reagent water from the pycnometer and dry, or rinse with the sample to be tested.

8.5 Using the sample to be tested, repeat the procedure in accordance with 8.2 and 8.3, recording the weight of the pycnometer containing the sample under test as S .

9. Calculations

9.1 Calculate the specific gravity of the sample as follows:

$$\text{Specific gravity} = (S - P)/(W - P)$$

where:

P = weight of the empty pycnometer,

S = weight of the pycnometer and contained sample, and

W = weight of the pycnometer and contained reagent water.

10. Precision

10.1 Precision—Results should not differ from the arithmetical mean by more than the following amounts:

Different operators and apparatus 0.002

METHOD B—BALANCE METHOD

11. Summary of Method

11.1 The specific gravity balance is essentially an analytical balance which uses a plummet to determine the weight of a liquid by displacement. The plummet is calibrated in a standard liquid, usually reagent water, before the determination is made. Any oil present in the sample will interfere with this determination; therefore, only freshly filtered samples should be used.

12. Apparatus

12.1 Specific Gravity Balance—A Westphal-type balance or any of several accurate specific gravity balances may be used.

13. Procedure

13.1 Locate the specific gravity balance in a draft-free enclosure. Clean the plummet by immersion in distilled water followed by acetone. Dry with air, or a lint-free tissue. Calibrate the plummet by determining its difference in weight in air and in reagent water at $15.6 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($60 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$); record this displacement as d_1 .

13.2 Immerse the plummet in the sample, which has a stabilized temperature of $15.6 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($60 \pm 1.8^{\circ}\text{F}$). Make certain that the

plummet does not touch the bottom or the sides of the container. The liquid displacement, d_2 , is the difference between the weight necessary to counterpoise the dry plummet in air and that necessary when the plummet is immersed in the liquid samples.

14. Calculations

14.1 Calculate the specific gravity of the sample as follows:

$$\text{Specific gravity} = \frac{d_2}{d_1}$$

where:

d_1 = difference in weight in air and in reagent water, and

d_2 = difference in weight in air and in the sample.

15. Precision

15.1 Precision—Results should not differ from the arithmetical mean by more than the following amounts:

Different operators and apparatus 0.003

METHOD C—ERLENMEYER FLASK METHOD

16. Summary of Method

16.1 The sample of mud or sludge is thoroughly stirred and poured into a wide-mouth Erlenmeyer flask until it is somewhat more than level full, the excess being struck off with a spatula blade. The specific gravity is calculated from this weight and the previously determined weight of water required to fill the flask completely.

16.2 If the sample is of a plastic solid consistency, the flask is partly filled with the sample and weighed. Water is then added to fill the flask completely, and the total weight is taken. The specific gravity is calculated from the weight of the volume of water displaced by the sample.

17. Procedure

17.1 Clean, dry, and weigh the Erlenmeyer flask to the nearest 0.1 g, and record this weight as F .

17.2 Fill the flask with reagent water or tap water. Both flask and water shall be at temperature equilibrium. Weigh the filled flask and record this weight as W . Empty and dry the flask.

17.3 If the sample flows readily, fill the flask completely with the sample, leveling the upper surface with a flat-bladed spatula held at an angle of 45 deg with the rim of the flask. Weigh, and record this weight as S .

17.4 Mix the sample thoroughly by stirring, but do not shake. If the sample does not flow readily, add sufficient sample to approximately half fill the flask, without exerting pressure, and weigh. Record the weight of the flask and sample as R . Fill the flask containing the sample completely with reagent water or tap water, whichever was used in accordance with 17.2, taking care to remove all entrained air bubbles, and weigh again. Record this weight at T .

18. Calculations

18.1 In the case of free-flowing samples, calculate the specific gravity of the sample as follows:

$$\text{Specific gravity} = (S - F)/(W - F)$$

where:

F = weight of the empty flask,

S = weight of the flask completely filled with sample, and

W = weight of the flask and contained water.

18.2 In the case of samples that do not flow readily, calculate the specific gravity of the sample as follows:

$$\text{Specific gravity} = (R - F)/[(W - F) - (T - R)]$$

where:

F = weight of the empty flask,

R = weight of the flask partly filled with sample,

T = weight of the flask partly filled with sample, plus water added to fill remaining volume, and

W = weight of the flask and contained water.

19. Precision

19.1 Results with a precision of 0.005 can be obtained.

METHOD D—HYDROMETER METHOD

20. Summary of Method

20.1 The hydrometer is a weighted bulb with a graduated stem. The depth to which the hydrometer sinks in a fluid is determined by

PLANOS

UNIDAD DESALADORA

DE AGUA DE MAR

LEYENDA DE LA UNIDAD DESALADORA

- 1.- Bomba centrífuga de circulacion (1/2 HP).
- 2.- Filtro autolavable.
- 3.- Filtros de cartucho (5 micrones).
- 4.- Filtros de Carbón Activado.
- 5.- Tanque de ácido.
- 6.- Bomba reciproante de alta presión.
- 7.- Actuador de la válvula de reflujo.
- 8.- Disco de ruptura.
- 9.- Válvula de seguridad.
- 10.- Sensores de alta presión.
- 11.- Sensores de flujo.
- 12.- Sensor de conductividad (calidad del producto).
- 13.- Módulo contenedor de la membrana.
- 14.- Tanque de producto.
- 15.- Actuador de la válvula reguladora de conversión.
- 16.- Válvula de bola.
- 17.- Motor de 7,5 HP.
- 18.- Tablero de control.
- 19.- Ganchos de unión.
- 20.- Conexiones del módulo contenedor.
- 21.- Conexión de alimentación.
- 22.- Conexión de rechazo.
- 23.- Conexión de producto.