



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR  
ÓSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS  
GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS**

**Angel Leonel Aragon Monasterio**

Asesorado por el Ing. Luis Rodolfo Castro García

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR  
ÓSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS  
GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANGEL LEONEL ARAGON MONASTERIO**  
ASESORADO POR EL ING. LUIS RODOLFO CASTRO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, ENERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdéz
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de septiembre del 2015.

**Angel Leonel Aragon Monasterio**

Guatemala, 28 de octubre del 2015


Ingeniero  
Víctor Monzón  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetado Ing. Víctor Monzón:

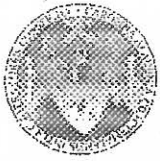
Por medio de la presente hago constar que he revisado y dado mi aprobación del informe final de investigación titulado **“DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR OSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SOLIDOS DISUELTOS.”** de la estudiante de Ingeniería Angel Leonel Aragon Monasterio quien se identifica con el carné número 2010-21236

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

  
Ing. Qco. Luis Rodolfo Castro García  
Colegiado No. 1591  
Asesor

**Luis Rodolfo Castro García**  
INGENIERO QUÍMICO  
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA  
COLEGIADO No. 1591



Guatemala, 10 de noviembre de 2015.  
Ref. EIQ.TG-IF.078.2015.

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **073-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Angel Leonel Aragón Monasterio**.  
Identificado con número de carné: **2010-21236**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR OSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Luis Rodolfo Castro García**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.002.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ANGEL LEONEL ARAGON MONASTERIO** titulado: "**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

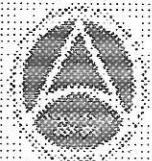
*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davila  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, enero 2016

Cc: Archivo  
CSWD/de





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SÓLIDOS DISUELTOS**, presentado por el estudiante universitario: **Angel Leonel Aragon Monasterio**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, enero 2016

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la guía en mi camino.
<b>Mis padres</b>	Leonel Aragon y Dina de Aragon, su amor será siempre mi inspiración.
<b>Mis hermanas</b>	Mónica, Andrea y Mariela Aragon Monasterio, por ser 3 ángeles a mi vida.
<b>Mis abuelos paternos</b>	Lic. Héctor Aragon y Raquel de Aragon, por ser una inspiración.
<b>Mis abuelos maternos</b>	Rubén Monasterio y Julia de Monasterio, por ser parte de mi vida y este logro.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mí casa de estudios y darme la oportunidad de ser un hombre profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme los conocimientos y las herramientas necesarias, para mi superación académica.

**Mis amigos de  
la Facultad**

Karla Marroquin y Diego Millian.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Ósmosis inversa .....	3
2.1.1. Fundamento de la ósmosis inversa .....	3
2.1.2. Tipos de membranas .....	7
2.1.2.1. Según su forma .....	8
2.1.2.2. Según su composición química .....	11
2.1.2.3. Según su presión de trabajo .....	13
2.1.3. Ensuciamientos y técnicas de limpieza .....	13
2.1.4. La unidad de ósmosis inversa .....	14
2.1.4.1. Agrupación de módulos .....	15
2.1.4.2. Agrupación de etapas .....	16
2.1.4.3. Agrupación de sistemas .....	19
2.1.5. Aplicaciones de la ósmosis inversa .....	20
2.1.5.1. Desalación de agua marina .....	20
2.1.5.2. Reducción de la dureza del agua .....	22
2.1.5.3. Concentración de zumos de frutas .....	22

	2.1.5.4.	Fabricación de cerveza sin alcohol .....	24
	2.1.6.	Programa Rosa .....	25
2.2.		Medios filtrantes .....	25
	2.2.1.	Parámetros de diseño de tanques para medios filtrantes.....	27
	2.2.1.1.	Especificaciones del medio filtrante .....	27
	2.2.1.2.	Dimensiones del tanque .....	27
2.3.		Esterilización ultravioleta.....	27
	2.3.1.	Efecto de bacterias en membranas de ósmosis inversa.....	30
	2.3.2.	Parámetros de diseño .....	30
2.4.		Filtración.....	31
	2.4.1.	Membranas a presión.....	32
	2.4.2.	Parámetros de diseño .....	33
2.5.		Filtro de carbón activado .....	34
2.6.		Filtro suavizador de agua .....	35
2.7.		Accesorios.....	35
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
	3.1.	Variables .....	37
	3.2.	Delimitación de campo de estudio .....	38
	3.3.	Recurso humanos disponibles .....	38
	3.4.	Recursos materiales disponibles.....	38
	3.4.1.	Materia prima .....	38
	3.5.	Recolección y ordenamiento de la información.....	39
	3.5.1.	Diseño de la planta de pretratamiento de agua.....	39
	3.5.2.	Diseño de la planta de ósmosis inversa .....	55
	3.6.	Tabulación, ordenamiento y procedimiento de la información.....	57

3.6.1.	Diseño de medios filtrantes.....	57
3.6.2.	Diseño carcasa para filtros pulidores.....	57
3.6.3.	Diseño planta de ósmosis inversa .....	58
3.7.	Plan de análisis de los resultados .....	58
3.7.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables .....	58
3.7.2.	Programa a utilizar para análisis de datos.....	62
4.	RESULTADOS .....	63
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	69
	CONCLUSIONES .....	75
	RECOMENDACIONES .....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICE.....	81
	ANEXOS.....	83



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Fenómeno de la ósmosis .....	4
2.	Ósmosis inversa.....	5
3.	Esquema del proceso industrial de la ósmosis inversa .....	6
4.	Grados de retención conseguidos en distintas tecnologías de separación.....	7
5.	Apilamiento de membranas planas .....	8
6.	Flujos en una membrana tubular.....	9
7.	Distintas membranas tubulares.....	10
8.	Flujos en una membrana de fibra hueca .....	11
9.	Módulos en serie .....	15
10.	Módulos en paralelo .....	16
11.	Agrupación de etapas con rechazo en serie .....	17
12.	Agrupación de etapas con recirculación del rechazo .....	18
13.	Agrupación de sistemas trabajando en paralelo .....	20
14.	Sistema Desalator de Veolia Water .....	21
15.	Sistema de concentración de zumo de naranja .....	23
16.	Esquema simplificado del proceso de desalcoholización de la cerveza.....	24
17.	Planos Isométricos de los Sistemas Típicos de Desinfección con luz UV .....	30
18.	Espectro de filtración.....	31
19.	Modalidades de filtración - membranas de fibra hueca .....	33

20.	Flujo vs. diferencial de presión para dimensión de equipos (cartuchos Claris marca Pall).....	34
21.	Hoja técnica de tanques para filtros de sedimentos, carbón activado y suavizador.....	40
22.	Hoja técnica filtro de sedimentos .....	41
23.	Hoja técnica filtro de carbón activado .....	42
24.	Hoja técnica filtro suavizador .....	43
25.	Hoja técnica Resina de intercambio iónico Purolite .....	44
26.	Hoja técnica <i>housing</i> acero inoxidable.....	47
27.	Hoja técnica cartuchos Claris de 30" x 1 Micra Pall 1 .....	48
28.	Hoja técnica cartuchos Claris de 30" x 1 Micra Pall 2.....	49
29.	Hoja técnica lámpara de rayos ultravioleta .....	50
30.	Hoja técnica válvulas .....	52
31.	Hoja técnica rotámetros .....	53
32.	Hoja técnica manómetros .....	54
33.	Ficha técnica membranas de filtración Filmtec .....	55
34.	Diagrama de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa .....	63
35.	Datos de entrada y salida tren de ósmosis inversa .....	66

## TABLAS

I.	Porcentaje de recuperación de número de etapas en serie.....	17
II.	Variables de diseño pre tratamiento .....	37
III.	Definición de parámetros de diseño para cada uno de los equipos a utilizar en sistema de pre filtración.....	64
IV.	Definición de parámetros de diseño para cada uno de los equipos a utilizar en el tren de ósmosis inversa .....	65
V.	Datos de entrada y salida del tren de ósmosis inversa.....	66



VI.	Valor de diseño para filtro de sólidos, filtro de carbón activado y filtro suavizador .....	67
VII.	Valores de diseño para filtro pulidor y lámpara de rayos ultra violeta ..	68
VIII.	Factibilidad del proyecto.....	68



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$A_t$	Altura total del tanque (pulgada)
$m_s$	Cantidad de sal para cada retro lavado (lb)
$Q$	Caudal (GPM)
$Q_R$	Caudal de retro lavado (GPM)
$Q_c$	Caudal equivalente para cartucho de 10" (GPM)
$D$	Diámetro del tanque (pulgadas)
$L_{libre}$	Espacio libre para expansión de capa de medio filtrante (pulgada)
$L_t$	Espacio total para el medio filtrante (pulgada)
$G$	Espesor de cama de soporte (pulgada)
$^{\circ}F$	Fahrenheit
$FE_t$	Flujo de efectivo en el periodo t (Quetzales)
$^{\circ}C$	Grados Celsius
$L_{lecho}$	Grosor del lecho de medio filtrante (pulgada)
$C_s$	Libras de sal por pie cubico de medio filtrante (lb/pie <sup>3</sup> )
$m$	Metro
$mm$	Milímetro
$nm$	Nanómetro
$C^{eq}$	Número de cartuchos equivalentes de 10" (unidades)
$t$	Periodo (meses)
$E^c$	Porcentaje de expansión de capa (porcentaje)

<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
$q_R$	Razón de caudal de retro lavado (GPM/pie <sup>2</sup> )
$q_s$	Razón de caudal de servicio (GPM/pie <sup>2</sup> )
$q_v$	Razón de flujo volumétrico de servicio (GPM/pie <sup>3</sup> )
<b>TDS</b>	Sólidos disueltos totales
$i$	Tasa de inflación (%)
<b>VPN</b>	Valor presente neto (quetzales)
$V_F$	Volumen de medio filtrante (pie <sup>3</sup> )
$V_F$	Volumen de medio filtrante (pie <sup>3</sup> )

## GLOSARIO

<b>Caldera</b>	Máquina de ingeniería diseñada para generar vapor.
<b>Caudal</b>	Cantidad de agua que lleva una corriente.
<b>Flujo volumétrico</b>	Es el volumen de fluido que pasa por un superficie dada en un tiempo determinado.
<b>Medio filtrante</b>	Cualquier material utilizado para filtrar partículas de la corriente de flujo de un fluido.
<b>Ósmosis inversa</b>	Fenómeno físico relacionado con el movimiento de un solvente a través de una membrana semipermeable.
<b>TDS</b>	Total de sólidos disueltos. Es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión microgranular.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo el diseño preliminar de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa. Esto para la disminución de incrustaciones en calderas generadas por el alto contenido de sólidos disueltos en el fluido. Fue necesario el diseño del sistema de pre filtración de agua y tren de ósmosis inversa por medio del programa Rosa.

Se realizó el diagrama preliminar de la planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa. Este consta de un filtro de retención de sólidos (turbidex), filtro de carbón activado (Gac Norit), filtro suavizador (PL C-100), filtro pulidor de 20 cartuchos (Pall), 2 lámparas UV (Steriligth) y un tren de ósmosis inversa de 4 membranas (Filttec).

En la tabla III se muestra las variables de diseño y su definición para cada equipo que conforma el sistema de prefiltración. Se definieron las variables de diseño, sus dimensionales y la unidad a utilizarse. Estas variables son fundamentales para un buen diseño y funcionamiento del equipo de prefiltración de agua.

De la misma forma que se definió las variables de diseño para el sistema de prefiltración de agua. La tabla IV está conformada de las variables de diseño para el tren de ósmosis inversa.

Se ingresó el contenido total de sólidos disueltos en el agua en el programa de simulación de ósmosis inversa Rosa, desglosados por el análisis

fisicoquímico de una muestra tomada en el pozo de una planta con ubicación en Masagua, Escuintla a 33 °C (obtenida de la página del Insivumeh). Se diseñó para un caudal de permeado de 25 GPM, obteniendo una conversión del 32 %. Fue necesario un caudal de alimentación de 78,13 GPM, en el que se basó el diseño del equipo de pre filtración. Se obtuvo una agua con 2,12 ppm de sólidos disueltos, cero dureza y un pH de 7,37. Agua de alta pureza, ideal para la alimentación de calderas de alta y baja presión. Se obtuvo un tren de 4 membranas de ósmosis inversa modelo BW30-400.

Se diseñó el filtro de carbón activado, sólidos y filtro suavizador. Obteniendo para los 3 elementos filtros de 36" para 78,13 GPM. Tomando en cuenta variables de diseño como razón de caudal de servicio y razón de flujo volumétrico de servicio. Para el diseño del filtro pulidor y lámpara ultravioleta, con base en el caudal de 78,13 GPM. Obteniendo un *housing* de acero inoxidable 304 marca mini pore para 20 cartuchos de 30 pulgadas – 1 micra y 2 lámparas de rayos ultravioleta de 39 GPM cada una.

En la figura 33 se muestra el diagrama de proceso de la planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa, con descripción de cada uno de los equipos y modelos utilizados.

Se analiza la factibilidad económica calculando el VPN para los 2 flujos de efectivo. Uno tomando en cuenta la inversión de la planta de ósmosis inversa y el otro tomando en cuenta el mantenimiento y consumo de químicos antiincrustantes en la caldera. Se recupera la inversión en 7,5 años, con una tasa de inflación de 3,25 %.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar diseño preliminar de una planta para acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa para calderas.

### **Específicos**

1. Realizar diagrama del proceso de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa.
2. Definir parámetros de diseño para cada uno de los equipos a utilizar en el proceso de acondicionamiento de agua, por medio de ósmosis inversa.
3. Diseñar planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa para un flujo de permeado de 25 galones por minuto, tomando en cuenta un análisis fisicoquímico de una muestra procedente de pozo de Masagua, Escuintla a temperatura de 33 °C (según el Insivumeh).
4. Evaluar la factibilidad económica de la planta.



## INTRODUCCIÓN

Las incrustaciones generadas, por el uso de agua con altos contenidos de carbonatos y sólidos disueltos en calderas de baja y alta presión, son problemas que se viven día tras día en las plantas de procesos industriales alrededor del mundo. Siendo el vapor una de las fuentes energéticas más eficientes y de mayor uso, es muy complicado sustituirle por un tipo de tecnología distinta.

Para solucionar este problema se han implementado plantas de tratamiento de agua que contiene filtros de sólidos, ablandadores de agua y filtros de carbón activado. La problemática de estas plantas es, que a pesar de que el agua es de calidad media, es necesario agregarle antiincrustantes para evitar la solidificación de sales disueltas.

La única forma de eliminar estas sales del agua es por una filtración tangencial (ósmosis inversa). La implementación de una ósmosis inversa al final de la planta de acondicionamiento de agua genera la reducción de sólidos disueltos en un 99 %.

Obteniendo conductividad menor de 10 microsiemens y agua totalmente blanda. Esto ayuda a la eliminación de incrustaciones en las calderas y reduce el uso de químicos anti incrustantes, generando así un ahorro en el proceso.

El diseño de la planta de tratamiento de ósmosis inversa se basa en la cantidad de solidos disueltos, ácido (PH) de entrada y dureza del agua.



## 1. ANTECEDENTES

Para establecer parámetros, en el diseño de una planta para el acondicionamiento de agua por ósmosis inversa, se buscaron referencias de estudios elaborados con anterioridad en diversas universidades. Siendo la Biblioteca central de la Universidad San Carlos de Guatemala (Usac) el lugar donde se encontró algunos estudios y la Universidad de Oviedo ubicada en España.

En noviembre del 2002, en el Departamento de Ingeniería Química y tecnología del medio ambiente de la Universidad de Oviedo ubicada en España, se desarrolló un trabajo de tesis titulado *Aplicación de la ósmosis inversa y la nano filtración en el acondicionamiento de aguas para caldera*; en el cual se investigó la eficacia del uso de ósmosis inversa en el acondicionamiento de agua para calderas.

En noviembre del 2004, en la Facultad de Ciencias Químicas de la Usac, se desarrolló un trabajo de tesis titulado *Verificación de un sistema de purificación de agua para producción en una industria de cosmético*. En este se analiza un sistema de purificación de agua para la industria de cosméticos en Guatemala, utilizando un análisis un sistema de ósmosis inversa y su funcionamiento principal.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Ósmosis inversa**

Es un fenómeno físico relacionado con el movimiento de un solvente a través de una membrana semipermeable. Tal comportamiento supone una difusión simple a través de la membrana, sin gasto de energía.

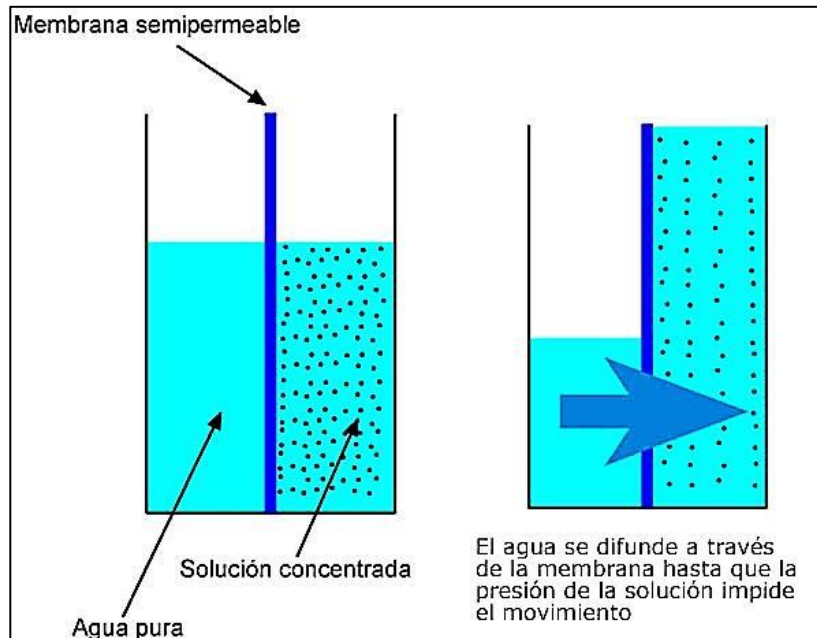
#### **2.1.1. Fundamento de la ósmosis inversa**

La ósmosis es un fenómeno físico relacionado con el comportamiento de un sólido como soluto de una disolución ante una membrana semipermeable. Es decir, una membrana que permite el paso del disolvente, pero no el de los solutos.

Si se separan mediante esta membrana dos disoluciones de distinta concentración en el soluto, se observa que las moléculas de disolvente migran a través de la membrana semipermeable. Esto mayoritariamente desde la solución hipotónica hacia la hipertónica, de forma que las concentraciones de ambas soluciones tienden a igualarse. Este comportamiento entraña una difusión compleja y espontánea a través de la membrana, sin gasto de energía.

El flujo de disolvente a través de la membrana continuará hasta que ambas disoluciones sean isotónicas o hasta que la presión hidrostática. Aunque equilibre la diferencia de presión osmótica (la diferencia de altura entre las dos columnas de agua) (véase figura 1).

Figura 1. Fenómeno de la ósmosis

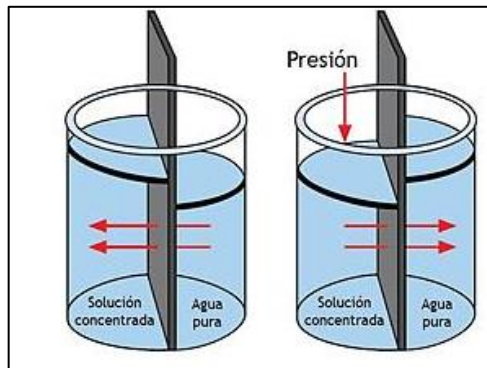


Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 11.

Si externamente se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración de sales al de baja concentración, produciendo la ósmosis inversa. Así pues, en la ósmosis inversa las moléculas de disolvente pasan del medio hipertónico al hipotónico, como se observa en la figura 2:



Figura 2. **Ósmosis inversa**



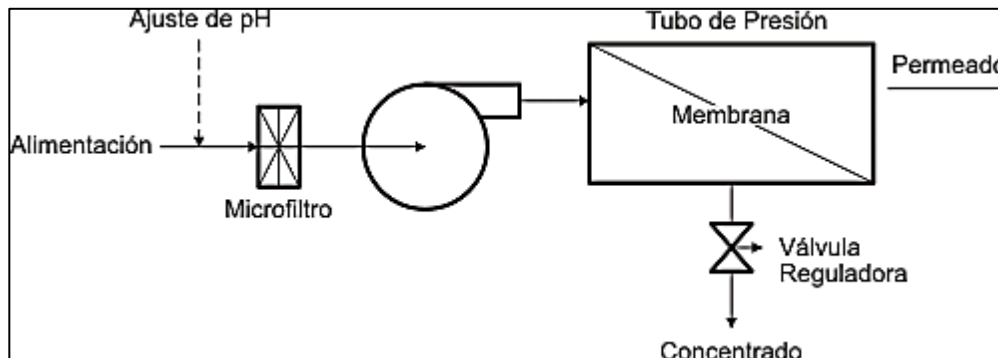
Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 11.

En la industria, es común esquematizar el proceso continuo de ósmosis inversa de la forma en la que se muestra en la figura 3.

El permeado es la disolución que consigue atravesar la membrana. Mientras que el rechazo o concentrado es la disolución que no consigue atravesar la membrana semipermeable. Por ello, será más rica en la sal que la alimentación.

El compartimento por el que pasa el permeado, después de atravesar la membrana, se denomina de baja presión. Mientras que aquel que se sitúa antes de la membrana recibe el nombre de compartimento de alta presión.

Figura 3. **Esquema del proceso industrial de la ósmosis inversa**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 12.

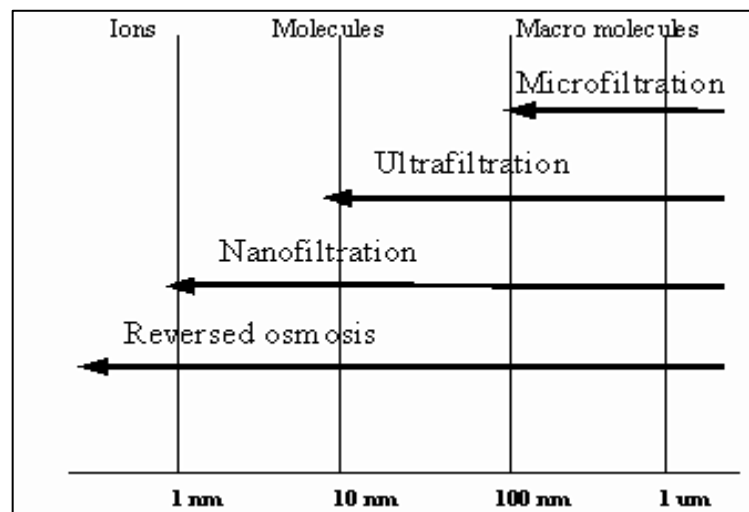
Como puede apreciarse en la figura 3, los elementos fundamentales para llevar a cabo este fenómeno son:

- La bomba: presuriza la alimentación de forma que se consiga que atraviese la membrana un caudal determinado.
- La membrana: es la encargada de realizar la separación deseada.

Puesto que las membranas son muy delicadas y tienen un elevado precio, es muy usual tratar la alimentación antes de llevar a cabo el proceso de ósmosis inversa. En el proceso mostrado en la figura 3 se observa que antes de llegar a la membrana, la alimentación recibe un ajuste de ácido (pH) y se somete a una microfiltración, que normalmente elimina las partículas que podrían obstruir la membrana.

La figura 4 muestra el grado de separación que se consigue según la tecnología utilizada. Se observa que la ósmosis inversa es la única que consigue la retención de iones y de coloides de tamaño inferior a 1 nm.

Figura 4. **Grados de retención conseguidos en distintas tecnologías de separación**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 13.

### 2.1.2. Tipos de membranas

Las membranas son el elemento más importante en una instalación de ósmosis inversa. De ellas dependen importantes factores como son la selectividad, la relación entre el caudal de permeado y la alimentación o el factor de concentración. Se pueden clasificar atendiendo a numerosos criterios:

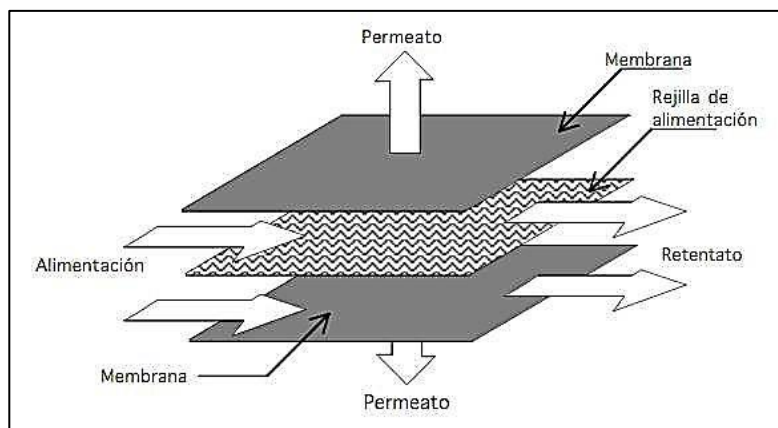
### 2.1.2.1. Según su forma

Atendiendo a la forma en la que estén fabricadas, las membranas de ósmosis inversa pueden clasificarse en tres tipos:

- Membranas planas: son poco utilizadas industrialmente debido a que presentan una baja área de contacto en comparación con el resto de tipos. El principio de funcionamiento, como se puede seguir en la figura 5, se basa en un apilamiento que consta de dos membranas separadas por una rejilla destinada a transportar el fluido de alimentación. El permeado se recoge a ambos lados de las membranas, mientras que el caudal de retenido o rechazo sale paralelo a éstas.

Para obtener el área deseada se superpone este apilamiento tantas veces como sea necesario. Los módulos de membranas planas suelen presentar una relación superficie/volumen de unos 100-400 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

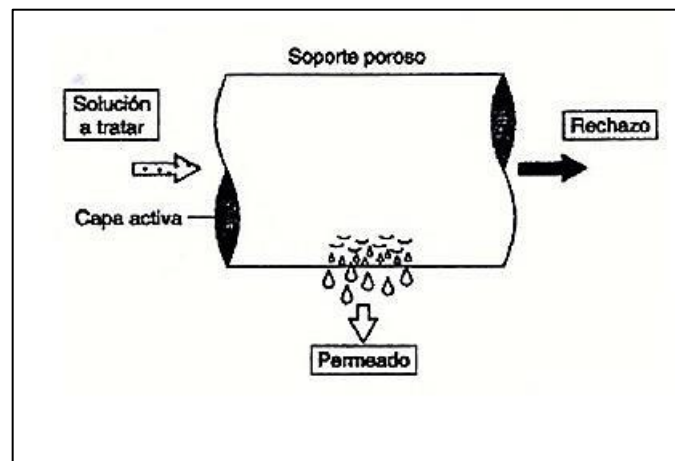
Figura 5. **Apilamiento de membranas planas**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 14.

- Membranas tubulares: este tipo de membranas son más utilizadas debido a su mayor área por unidad de volumen, que suele ser de unos  $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Es usual que se agrupen dentro de un tubo, de forma que el permeado circula por el tubo mientras que la salida de los tubos interiores constituye el rechazo. En la figura 6 se muestra el esquema de circulación de flujos en una membrana tubular. Nótese que, a diferencia de las filtraciones habituales, la dirección del flujo a tratar es paralelo a la membrana, y no perpendicular a ella.

Figura 6. **Flujos en una membrana tubular**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 15.

Las membranas tubulares tienen un diámetro de 5 a 15 mm, por lo que es difícil que lleguen a obstruirse, y pueden aceptar gran cantidad de fluidos sin apenas tratamiento previo. Sin embargo, su mayor desventaja es su bajo empaquetamiento, que conlleva un mayor coste del módulo.

Figura 7. **Distintas membranas tubulares**

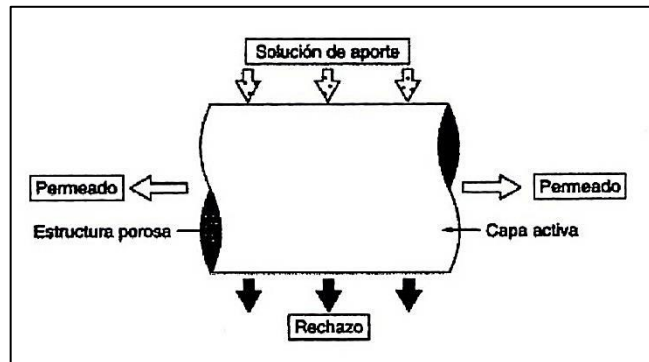


Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software “Rosa” para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 15.

- Membranas de fibra hueca: tienen un diámetro inferior a  $0,1 \mu\text{m}$ . Este diámetro tan pequeño hace que presenten un empaquetamiento muy alto (que puede llegar a los  $30\ 000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ), pero también grandes posibilidades de obstrucción. Por ello, solo pueden ser usadas para el tratamiento de aguas con un bajo contenido en sólidos suspendidos y siempre tras un completo pretratamiento.

En este tipo de membranas, la alimentación no circula por el interior del cilindro formado por la membrana, sino que lo hace exteriormente. Es el permeado el que atraviesa y circula por su interior, como puede verse en la figura 8.

Figura 8. **Flujos en una membrana de fibra hueca**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 16.

### 2.1.2.2. Según su composición química

En función de qué material esté fabricada la capa activa se pueden distinguir entre:

- Membranas orgánicas: la capa activa está fabricada a partir de un polímero orgánico. Las más importantes son:
  - Acetato de celulosa
  - Triacetato de celulosa
  - Poliamidas aromáticas
  - Poliéterurea
  - Poliacrilonitrilo

En general, puede afirmarse que las principales ventajas de este tipo de membranas son su menor precio y su mejor procesamiento. En cambio,

tienen una vida de operación corta, y se ven muy afectadas por la temperatura, el ácido (pH) y multitud de sustancias químicas.

Debido a sus características, sus principales usos se encuentran en el tratamiento de fluidos que hayan sido convenientemente pretratado y a bajas temperaturas.

- Membranas inorgánicas: este tipo de membranas suelen estar formadas por cerámicas (alúmina), vidrios, fosfocenos o estructuras de carbono. Las más utilizadas son las cerámicas refractarias preparadas a partir de la alúmina, el zirconio o el óxido de titanio.

Son de relativa actualidad, y con el paso del tiempo se han ido imponiendo a las orgánicas, ya que presentan una mejor resistencia mecánica, térmica y química, lo que les confiere una larga vida de operación. Además son bioinertes, suponiendo una gran ventaja si el fluido está destinado al consumo humano. Sus principales desventajas son su fragilidad y coste, que generalmente suele ser superior al de las orgánicas.

Debido a su estabilidad térmica y química pueden utilizarse para el tratamiento de fluidos a elevadas temperaturas. Esto en un amplio rango de ácido (pH) y con la presencia de agentes oxidantes como el cloro. Además, su inercia biológica las hace muy interesantes para el tratamiento de fluidos de la industria alimentaria.



### **2.1.2.3. Según su presión de trabajo**

Es una característica muy importante en una membrana, y puede indicar a qué fin está dedicada. Normalmente, cuanto mayor cantidad de sales tiene la alimentación, es necesario utilizar módulos con una mayor presión de trabajo.

- Membranas de muy baja presión: emplean presiones de entre 5 y 10 bares, y se utilizan para desalar aguas de baja salinidad y fabricar agua ultra pura.
- Membranas de baja presión: utilizan presiones de entre 10 y 20 bares, y se suelen usar para desalar aguas de salinidad media. Membranas de media presión: su rango de trabajo está comprendido entre los 20 y los 40 bares, y se utilizan para numerosas aplicaciones.
- Membranas de alta presión: su principal aplicación es la desalación de agua del mar para obtener agua potable. Emplean presiones de entre 50 y 80 bares.

### **2.1.3. Ensuciamientos y técnicas de limpieza**

A pesar del pretratamiento al que se someta la corriente de alimentación, es habitual que con el tiempo descienda el rendimiento de una planta de ósmosis inversa. Esto principalmente es debido a:

- Precipitaciones de sales minerales y óxidos metálicos. Si se controla su concentración es posible evitarlos (haciendo que no se supere sus productos de solubilidad).

- Depósitos de partículas y coloides. Los coloides particularmente crean grandes problemas de obstrucción de las membranas, por lo que se ha desarrollado un método para cuantificar el atascamiento que producen: el SDI.
- Desarrollos biológicos, que se dan cuando la alimentación contiene nutrientes que favorecen el desarrollo de microorganismos en el interior de los módulos.

Para restaurar las características de funcionamiento de la planta es necesario realizar una limpieza periódica de las membranas. Esta limpieza puede realizarse de diversos métodos:

- Limpieza mecánica: consiste en pasar una esponja o cepillo para desprender la suciedad depositada en la membrana. No es aconsejable, ya que puede rayar y destruir la capa activa.
- Limpieza con permeado a presión o *flushing*: consiste en hacer llegar a las membranas un permeado exento de sustancias disueltas, de tal forma que arrastre la suciedad.
- Limpieza química: consiste en recircular a través de los módulos una serie de productos químicos disueltos en agua capaces de disolver las precipitaciones o eliminar los depósitos.

#### **2.1.4. La unidad de ósmosis inversa**

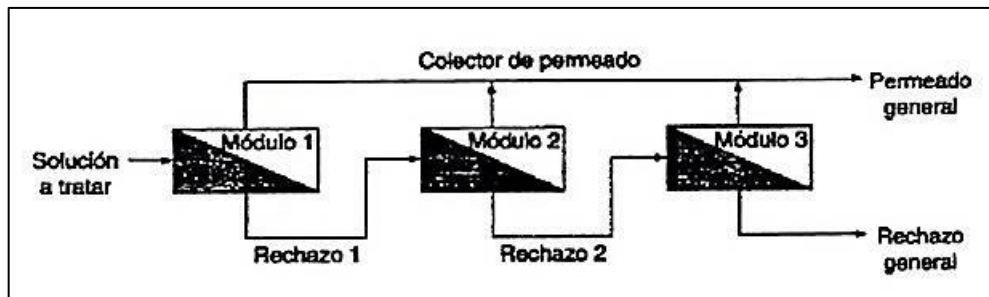
En este apartado se describirán distintas formas de agrupar los módulos de ósmosis inversa en una instalación.

### 2.1.4.1. Agrupación de módulos

Para mejorar los rendimientos de una planta de ósmosis inversa, es muy común agrupar los módulos, tanto en serie como en paralelo.

- Módulos en serie: el permeado se recolecta en cada módulo y se conduce a un colector de permeado general. El rechazo del primer módulo se convierte en la alimentación del módulo siguiente, y así sucesivamente hasta llegar al rechazo general (véase figura 9).

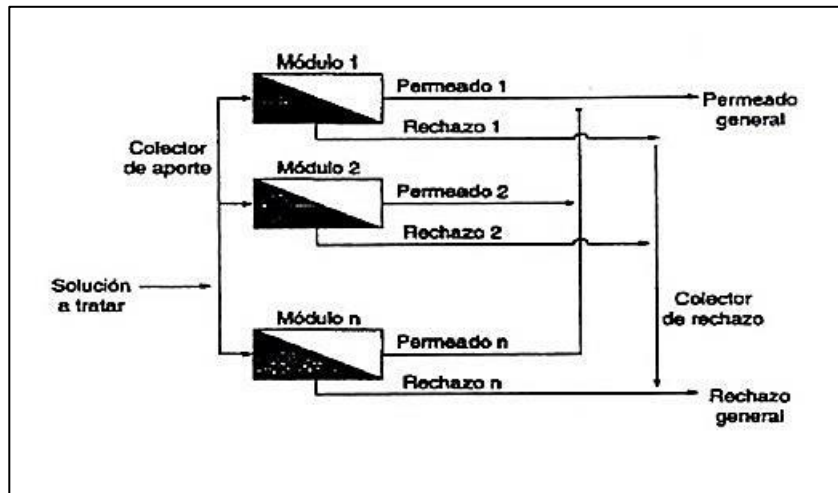
Figura 9. Módulos en serie



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 20.

- Módulos en paralelo: en este caso, todos los módulos reciben la misma alimentación, que se reparte mediante un colector de aporte. El permeado de todos los módulos va al permeado general, mientras que el rechazo se canaliza mediante el rechazo general (véase figura 10).

Figuras 10. Módulos en paralelo



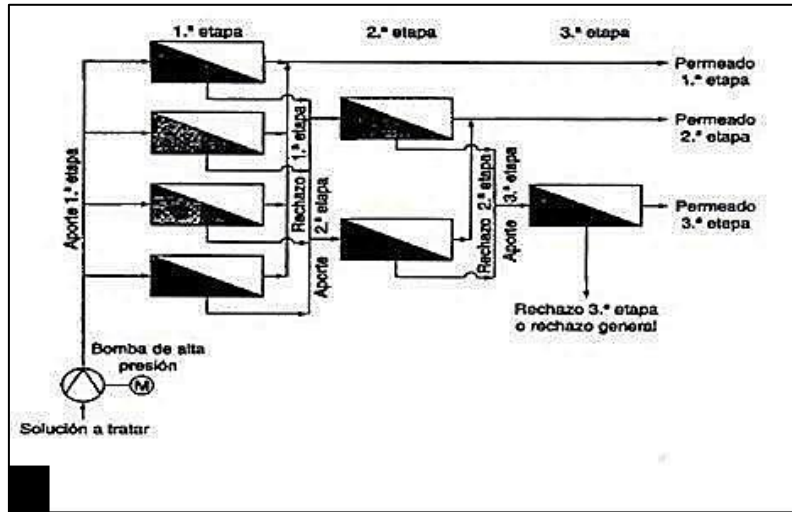
Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 21.

#### 2.1.4.2. Agrupación de etapas

En primer lugar, hay que definir etapa como el conjunto de módulos que trabajan en paralelo, a la misma presión y alimentados desde una misma línea. Las etapas, como los módulos, pueden combinarse de diversas formas:

- Rechazo en serie: el rechazo de una etapa es la alimentación de la etapa siguiente, mientras que los permeados que se generan en cada etapa se canalizan separadamente. Es un sistema análogo a la agrupación de módulos en serie, como se observa en la figura 11.

Figura 11. Agrupación de etapas con rechazo en serie



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 11.

Al instalar etapas en serie se consigue un mayor porcentaje de recuperación.

Tabla I. Porcentaje de recuperación de número de etapas en serie

Porcentaje de recuperación	Numero de etapas en serie
50	1
75	2
87,5	3

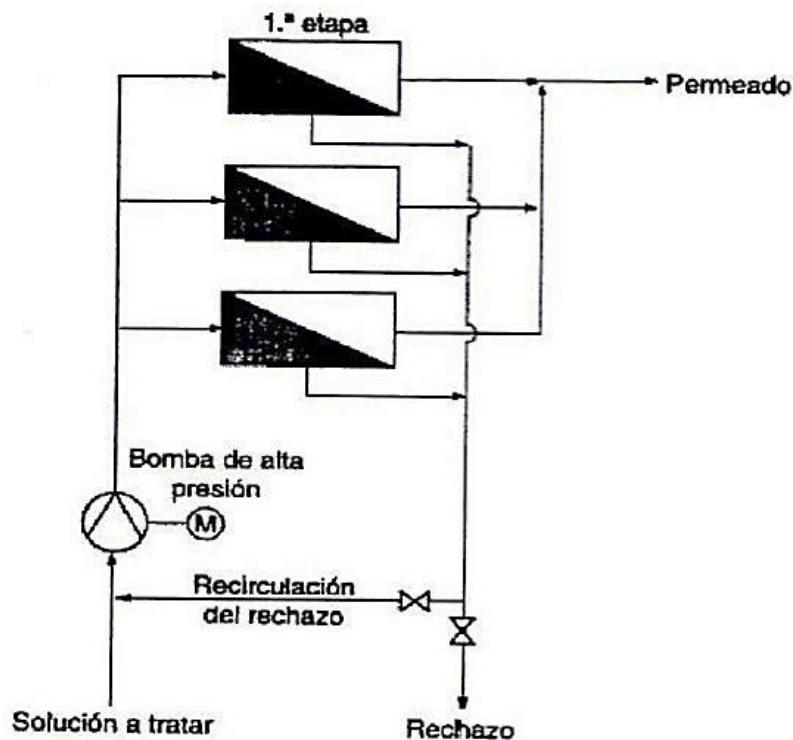
Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 22.

De la tabla I se concluye que, si bien al aumentar el número de etapas también lo hace la recuperación, este aumento es menor cuanto más etapa tenga la instalación. Por este motivo no es común instalar más de 3 etapas en serie, ya que la ganancia en porcentaje de recuperación no suele compensar al gasto que supone una etapa nueva.

- Recirculación del rechazo: en este tipo de agrupación de etapas, los rechazos de los módulos no son llevados a una segunda etapa en línea, sino que se colectan en una tubería única, como se ve en la figura 2.13. De esa tubería, parte se recircula para que se una con la alimentación, mientras que la otra parte se desecha como rechazo general. Los permeados se separan de la forma habitual.

Con este procedimiento pueden alcanzarse conversiones de hasta el 75 %, es decir, concentraciones en el rechazo cuatro veces superiores a las de la alimentación.

Figura 12. **Agrupación de etapas con recirculación del rechazo**



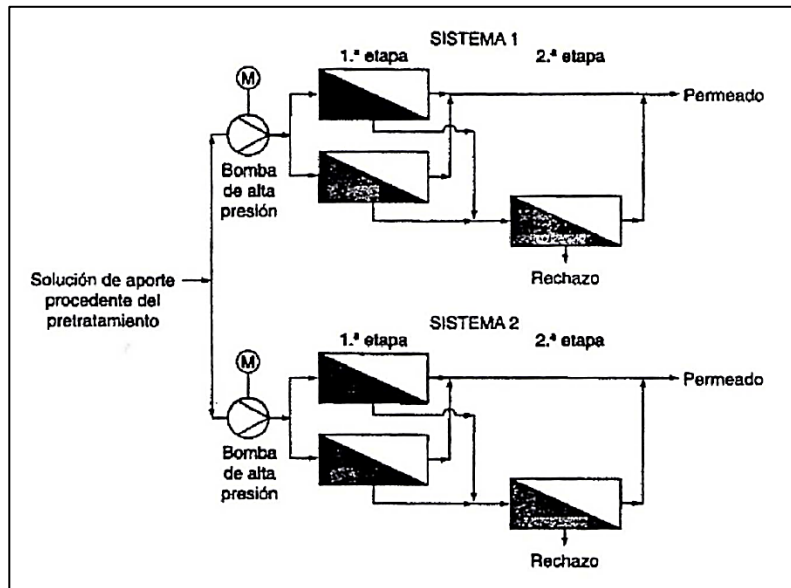
Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 23.

### **2.1.4.3. Agrupación de sistemas**

Un sistema es un conjunto de etapas agrupadas de cualquier forma, pero con una única bomba de alta presión. Atendiendo a esta definición, las plantas de ósmosis inversa pueden organizarse de distintas formas según cómo agrupen sus sistemas:

- **Sistemas en serie:** los sistemas se denominan pasos, y están conectados de forma análoga a los agrupamientos de etapas con rechazo en serie. En este caso es muy raro encontrar más de dos sistemas colocados en serie, debido al elevado precio de las bombas de alta presión, que hacen que el aumento en el porcentaje de recuperación no sea rentable.
- **Sistemas en paralelo:** los sistemas se agrupan análogamente a la agrupación de módulos en paralelo, aunque como a la entrada de cada sistema se encuentra una bomba de alta presión, la alimentación puede no tener la misma presión en los dos sistemas. Como se puede observar en la figura 13, dentro de cada sistema puede haber varias etapas, en este caso, funcionando en serie.

Figura 13. **Agrupación de sistemas trabajando en paralelo**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 11.

## 2.1.5. Aplicaciones de la ósmosis inversa

La ósmosis inversa tiene multitud de aplicaciones en la industria. A continuación se presentarán algunas de las más importantes.

### 2.1.5.1. Desalación de agua marina

La ósmosis inversa se ha convertido en la tecnología más rentable económicamente, y por tanto, la más utilizada para obtener grandes caudales de agua dulce a partir del agua del mar. Para ello hay que tener en cuenta que el agua de entrada presenta gran cantidad de sólidos disueltos, por lo que su presión osmótica es muy elevada. Esto hace que sea necesario aplicar grandes



presiones para conseguir un flujo considerable de agua desalinizada a través de las membranas.

El agua marina se recoge mediante la construcción de un pozo playero o bien mediante captación directa del mar mediante una tubería. Esa agua se conduce a una estación de pretratamiento, vital para el buen funcionamiento de la planta. Este pretratamiento es personalizado para las características de cada planta, e incluye tanto procesos convencionales de clarificación (coagulación- floculación, filtración simple, decantación y otros) como procesos de membrana (micro y ultrafiltración). A la salida del pretratamiento, el agua pasa a la planta de ósmosis inversa, donde se presuriza mediante bombas de alta presión para lograr una conversión del 40-60 % para agua del mar y hasta un 85 % para aguas salobres.

Actualmente, este proceso consume entre 3 y 4 kWh/m<sup>3</sup>, muy lejos de los 20 kWh/m<sup>3</sup> necesarios en los comienzos de esta tecnología a principios de 1960. Es de esperar que con el desarrollo de la tecnología estos costes sigan disminuyendo.

Figura 14. **Sistema Desalator de Veolia Water**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 26.

### **2.1.5.2. Reducción de la dureza del agua**

La tecnología de la ósmosis inversa también se utiliza para reducir las concentraciones de sales de magnesio y calcio, responsables de la dureza del agua. El funcionamiento es muy similar al de la desalinización de agua marina, pero puesto que en este caso hay una menor concentración de sólidos disueltos, las necesidades energéticas del bombeo serán mucho menores.

La reducción de dureza del agua mediante este método presenta ventajas frente a otros métodos como pueden ser el intercambio iónico. Este no precisa regeneración, elimina la gran mayoría de las sustancias orgánicas y biológicas y requiere menos espacio para su ubicación.

### **2.1.5.3. Concentración de zumos de frutas**

Esta consiste en la eliminación de agua de estos para reducir el coste asociado a su transporte. Esta eliminación de agua puede llevarse a cabo industrialmente de numerosas formas. Las más utilizadas son la destilación a vacío, la ósmosis inversa y las técnicas criogénicas.

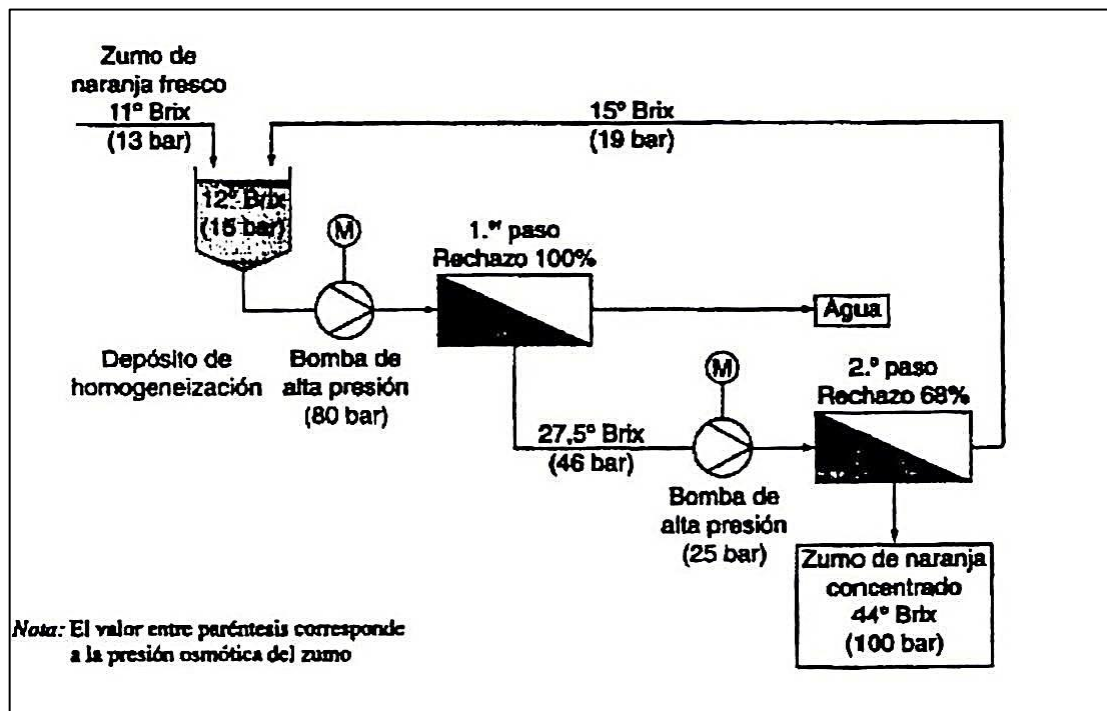
La ósmosis inversa presenta las ventajas de que, al no necesitar cambios de temperatura, el zumo no ve modificadas sus propiedades organolépticas ni se destruyen sus vitaminas. Además, para concentraciones del orden del 30-35 %, es el método que consume menos energía.

Sus principal desventaja es que, a medida que el zumo se va concentrando, la presión osmótica crece exponencialmente, de forma que no es posible alcanzar concentraciones mayores del 35 %, esto no ocurre en otras técnicas (mediante destilación al vacío se puede llegar a una

concentración del 80 %). Además, algunos compuestos de bajo peso molecular son capaces de pasar a través de las membranas, por lo que no solo se retira agua de los zumos.

En la figura 15 se muestra el esquema de una planta de concentración de zumo de naranja mediante ósmosis inversa. Se observa que la instalación cuenta con dos pasos en serie con recirculación del permeado del segundo paso.

Figura 15. Sistema de concentración de zumo de naranja

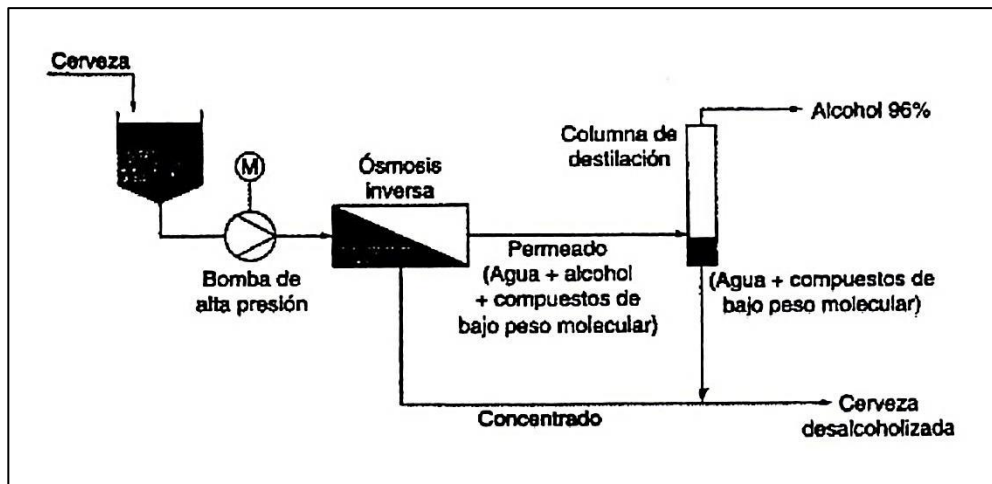


Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 27.

#### 2.1.5.4. Fabricación de cerveza sin alcohol

La ósmosis inversa se utiliza ampliamente para la elaboración de cerveza sin alcohol. Para ello se combina con la destilación fraccionada: al introducir la cerveza en un módulo de ósmosis inversa, permea una mezcla de agua, alcohol y compuestos de bajo peso molecular. Esta mezcla se conduce a una columna de destilación, donde se retira el alcohol que sale en cabeza. La fracción de cola de la columna, formada por agua y compuestos de bajo peso molecular se retorna al rechazo del módulo de ósmosis inversa, logrando así obtener cerveza libre de alcohol. Este proceso se puede seguir en la figura 18.

Figura 16. **Esquema simplificado del proceso de desalcoholización de la cerveza**



Fuente: EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "Rosa" para simulación de unidades de ósmosis inversa*. p. 28.

La desalcoholización de la cerveza mediante este método presenta las ventajas adicionales de que al no necesitar el uso de calor, la cerveza no pierde

sus propiedades. Además, puesto que la cerveza se mantiene en todo momento bajo presión, no se descarbonata.

#### **2.1.6. Programa Rosa**

Es un software desarrollado por Dow Chemical para el cálculo de instalaciones industriales de ósmosis inversa. ROSA son las siglas de *Reverse Osmosis System Analysis* (Sistema de Análisis de Ósmosis Inversa). Se trata de una herramienta asistida por ordenador para el diseño y operación de sistemas de ósmosis inversa y nanofiltración para el tratamiento y purificación de aguas.

#### **2.2. Medios filtrantes**

Puede ser definido como cualquier material permeable sobre el cual, o en el cual, son separados los sólidos del fluido durante el proceso de filtración. Por consiguiente, el principal rol del medio filtrante es provocar una buena separación entre los componentes de una suspensión con el mínimo consumo de energía. Se realiza una cuidadosa selección de un medio filtrante se deben tomarse en cuenta muchos factores.

Todos los filtros requieren un medio filtrante para la retención de sólidos, ya sea que el filtro este adaptado para la filtración de torta, como medio de filtración o filtración en profundidad. La especificación de un medio de filtración está basada en la retención de un tamaño mínimo de partícula y una buena eficiencia en la eliminación por separación, así como también una aceptable duración. La elección del medio de filtración es, con frecuencia, la consideración, más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de

un filtro. Para la filtración de la torta, la selección del medio filtrante incluye la optimización de los siguientes factores:

- Capacidad de detener los sólidos sobre sus poros con cierta rapidez, después de que se inicie la alimentación (esto es propensión mínima a ser purgados).
- Baja velocidad de arrastre de sólidos hacia el interior de sus intersticios (esto es propensión mínima a los atascamientos).
- Resistencia mínima a la corriente de filtrado (es decir elevada velocidad de producción).
- Resistencia a los ataques químicos.
- Suficiente resistencia para soportar la presión de filtración.
- Resistencia aceptable al desgaste mecánico.
- Capacidad de descarga de la torta con facilidad y limpieza.
- Capacidad de adaptación mecánica al tipo de filtro en el que se utilizará.
- Costo mínimo

### **2.2.1. Parámetros de diseño de tanques para medios filtrantes**

Están dados por 2 factores principales, los cuales son especificaciones del fabricante del medio filtrante y dimensiones del tanque a utilizar. Por lo general los tanques son estándar, únicamente varía la el diámetro de estos.

#### **2.2.1.1. Especificaciones del medio filtrante**

Estas especificaciones se pueden encontrar en las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante o el distribuidor del material. Las propiedades principales son las siguientes:

- Flujo de servicio galones por minuto por pie al cuadrado
- Velocidad de flujo de retro lavado galones por minuto por pie al cuadrado
- Espacio vacío

#### **2.2.1.2. Dimensiones del tanque**

Está dado por el tamaño del tanque, altura y diámetro de este. Los tanques por lo general tienen una altura estándar de 5 o 6 pie. Lo que varía el diámetro de estos de 10 a 60 pulgadas.

### **2.3. Esterilización ultravioleta**

La desinfección es considerada como el principal mecanismo para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua, tanto a los usuarios aguas abajo como al ambiente. Es muy importante que el agua residual sea

tratada adecuadamente antes de realizarse las actividades de desinfección para que la acción de cualquier desinfectante sea eficaz.

El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, esta destruye la habilidad de reproducción de la célula. La radiación UV generada por una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción.

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Para cualquier planta de tratamiento, el éxito de las actividades de desinfección está directamente relacionado con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual.

Los componentes principales del sistema de desinfección con luz UV son las lámparas de vapor de mercurio, el reactor y los balastos electrónicos (ballasts). La fuente de luz UV son las lámparas de arco de mercurio de baja o mediana presión, bien sea de intensidad baja o alta.

La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara se disipa a medida que la distancia de la lámpara aumenta. Las lámparas de baja presión emiten básicamente luz monocromática a una longitud de onda de 253,7 nm. Las longitudes estándar de las lámparas de baja presión son de 0,75 y 1,5 metros, y sus diámetros van



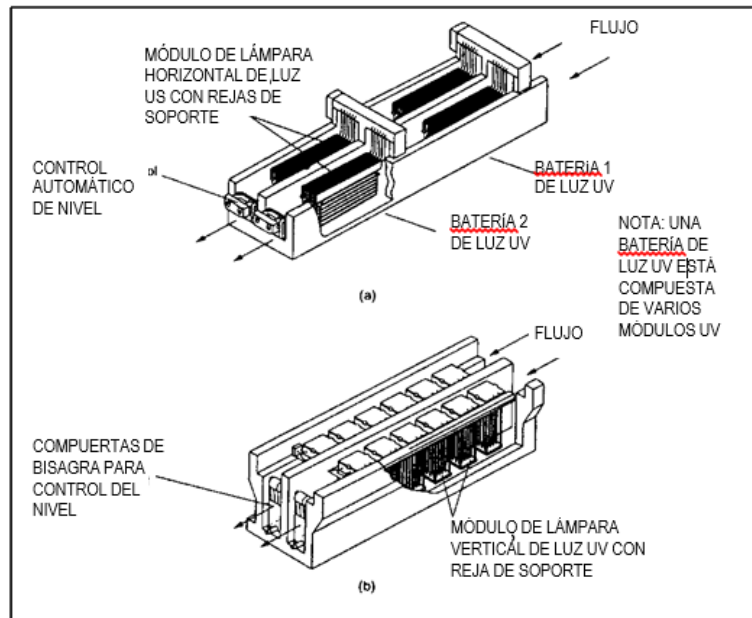
de 1,5 a 2,0 cm. La temperatura ideal de la pared de la lámpara se encuentra entre 95 y 122 °F.

Las lámparas de mediana presión son generalmente utilizadas en instalaciones de mayor tamaño. Estas lámparas de luz UV tienen una intensidad germicida aproximadamente 15 a 20 veces mayor que las lámparas de baja presión. La lámpara de mediana presión desinfecta más rápido y tiene más capacidad de penetración debido a su mayor intensidad. Sin embargo, estas lámparas operan a temperaturas más altas con un mayor consumo de energía eléctrica.

Existen dos tipos de configuraciones de reactor para el sistema de desinfección con luz UV: de contacto y sin contacto. En ambos casos, el agua residual puede fluir en forma perpendicular o paralela a las lámparas. En el caso del reactor de contacto, la serie de lámparas de mercurio está recubierta con mangas de cuarzo para minimizar los efectos de enfriamiento del agua residual. La Figura 17 muestra dos reactores de contacto de luz UV, uno con lámparas sumergidas ubicadas en forma paralela a la dirección del flujo del agua residual, y el segundo con lámparas perpendiculares. Compuertas de bisagra o vertederos son utilizados para controlar el nivel del agua residual.

En el caso del reactor sin contacto, las lámparas de luz UV se encuentran suspendidas afuera de un conducto transparente que transporta el agua residual que va a ser desinfectada. Esta configuración no es tan común como la configuración del reactor de contacto. En ambos tipos de reactores, el balastro –o caja de control– proporciona el voltaje de inicio para las lámparas y mantiene una corriente continua

Figura 17. **Planos Isométricos de los Sistemas Típicos de Desinfección con luz UV**



Fuente: EPA, *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Desinfección con luz ultravioleta*. p. 2.

### 2.3.1. Efecto de bacterias en membranas de ósmosis inversa

Es necesario la utilización de lámpara ultravioleta para la eliminación de bacterias. Esto porque existen bacterias pseudomona y biofilm en el agua que afectan el estado de las membranas e impiden el paso libre de agua.

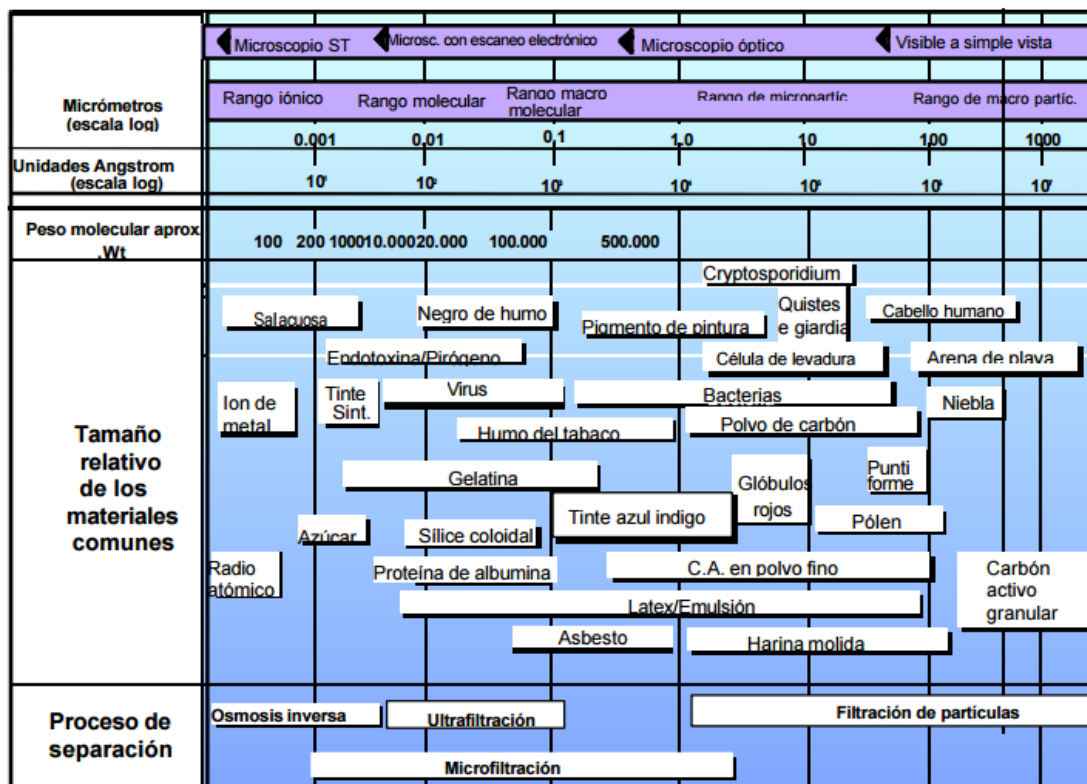
### 2.3.2. Parámetros de diseño

La única variable que se necesita para el diseño de lámparas ultra violetas el flujo a utilizar, según la ficha técnica del proveedor.

## 2.4. Filtración

El principio de la microfiltración es un proceso de separación física en cual el tamaño de los poros de una membrana determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana.

Figura 18. Espectro de filtración



Fuente: D, Mourato. *Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable*. p. 3.

### **2.4.1. Membranas a presión**

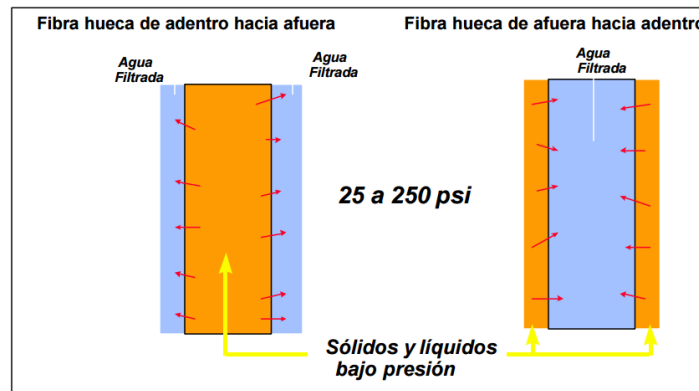
Las primeras membranas comercialmente disponibles estaban diseñadas como láminas planas enrolladas para formar membranas en espiral. Estas membranas no podían tolerar sólidos y requerían altas presiones para operar. El elevado costo operativo de estas membranas dio lugar a que fueran poco usadas para la microfiltración en aplicaciones municipales. Las membranas enrolladas en espiral generalmente se usan en la nano filtración y ósmosis inversa, y por lo general se usan en la desalinización de agua salobre y agua de mar para la producción de agua potable.

Las membranas de fibra hueca se desarrollaron en la última década como un medio para abordar las necesidades de la microfiltración con bajos costos de consumo energético. Ellas rápidamente se convirtieron en el estándar de la industria y varias empresas empezaron a elaborar estas membranas de gran superficie para aplicarlas al área de agua potable.

Existen dos tipos de membranas de fibra hueca operadas a presión:

- membranas de adentro hacia afuera, en las que el afluente ingresa al interior del lumen de la membrana y el agua limpia se obtiene al pasar del interior de la membrana al exterior.
- membranas de afuera hacia adentro, en las que el afluente viene por fuera de la membrana y el agua limpia se obtiene al pasar del exterior de la membrana al interior (lumen).

Figura 19. **Modalidades de filtración - Membranas de fibra hueca**



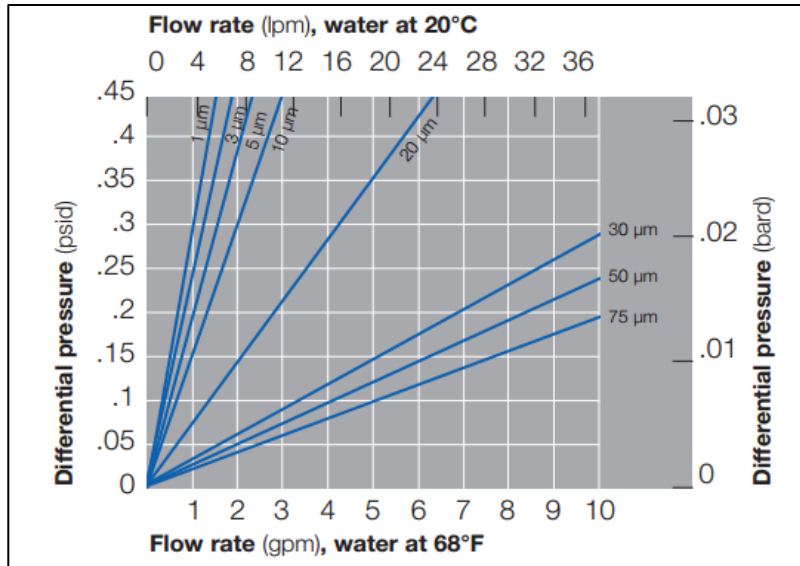
Fuente: D, Mourato. *Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable*. p. 3.

Todas las membranas de fibra hueca a presión están instaladas dentro de recipientes presurizados que sirven para aplicar la presión necesaria para la transferencia adecuada del fluido. La presión de operación típica de estas membranas es de 15 a 30 psi.

#### 2.4.2. Parámetros de diseño

Son utilizados de para carcasas de microfiltración los da la caída de presión de los equipos. Según cada fabricante da la caída de presión tomando en cuanto cartucho de 10". Según el caudal que se desea y los micrones se toma la decisión del número de cartuchos equivalentes para la instalación.

Figura 20. **Flujo vs. diferencial de presión para dimensión de equipos (cartuchos Claris marca Pall)**



Fuente: Pall Corporation. *Data Sheet Claris Series Filter Cartridges*. p.2.

En la figura 20 se muestra la gráfica de flujo en galones por minutos vs. caída de presión para cartuchos Claris marca Pall. En la cual se puede tomar un parámetro de diseño en base a cartuchos equivalentes para el flujo deseado.

## 2.5. Filtro de carbón activado

El carbón activado granular está diseñado para la reducción de sabores, olores y químicos orgánicos disueltos presentes en el abastecimiento de aguas municipales e industriales.

Se tomará en cuenta en el diseño del sistema de prefiltración para la eliminación de cloro del agua. El cloro en concentraciones considerables genera desgaste en las membranas de ósmosis inversa.

## **2.6. Filtro suavizador de agua**

El suavizador de agua es también llamado descalcificador o ablandador de agua. Es un aparato que, por medios mecánicos, químicos y electrónicos trata el agua para reducir el contenido de sales minerales y sus incrustaciones en tuberías y depósitos de agua.

El agua con alto contenido de sales de calcio o magnesio (agua dura) tiende a formar incrustaciones minerales en las paredes de las tuberías. En algunos casos bloquean casi la totalidad de la sección del tubo.

Las sales se adhieren con más frecuencia a las tuberías de agua caliente así como a las superficies de las máquinas que trabajen o produzcan agua caliente. Un ejemplo de esto son las cafeteras y los calentadores de agua. El calcio y magnesio al adherirse a las resistencias calentadores forma una capa que evita el contacto del agua con las resistencias, causando un sobrecalentamiento y la ruptura de la resistencia.

## **2.7. Accesorios**

Para la instalación de la planta de ósmosis inversa se utilizarán distintos accesorios. Los cuales son:

- Tanques de salmuera
- *Fittings*
- Tubería de polietileno
- Válvulas de control
- Manómetros
- Medidores de flujo

- Bomba
- Controles de flujo
- Válvulas automáticas de retro lavado
- Hubs and laterals para alto caudal
- Controles de flujo

Los parámetros de diseño de todos los accesorios se toman con base en el flujo establecido. Los equipos diseñados rigen el tamaño de tubería a utilizar.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

A partir de la revisión de trabajos de graduación de universidades de Guatemala y otros países se establecerán los factores influyentes en el diseño de la planta final y las variables de diseño para cada equipo.

Tabla II. Variables de diseño pretratamiento

Variables	Equipos				
	Medios Filtrantes	Filtros pulidores	Lámpara UV	Accesorios	Ósmosis inversa
Caudal	X	X	X	X	X
Diámetro del tanque	X	X		X	X
Diámetro Tubería					
Espacio vacío	X				
Velocidad de flujo de retro lavado	X				
Retro lavado	X				
Flujo de servicio	X				
Análisis fisicoquímico					X
Volumen por día					X
Demanda máxima en horas pico					X
Destino de agua del producto					X
Temperatura promedio anual					X
Caudal mínimo					X
Caudal máximo					X
Presión de agua de alimentación					X

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación de campo de estudio**

- Industria: alimenticia.
- Proceso: proceso de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa para calderas.
- Clima: Ciudad de Guatemala se encuentra a con 60 % de humedad relativa y aproximadamente 24 °C.

### **3.3. Recurso humanos disponibles**

Trabajo que aporta el conjunto de los empleados o colaboradores de una organización.

Diseñador e investigador: Angel Aragon.

Asesor: Ing. Rodolfo Castro

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Son los bienes tangibles que la organización puede utilizar para el logro de sus objetivos.

#### **3.4.1. Materia prima**

- Muestra de agua

### **3.5. Recolección y ordenamiento de la información**

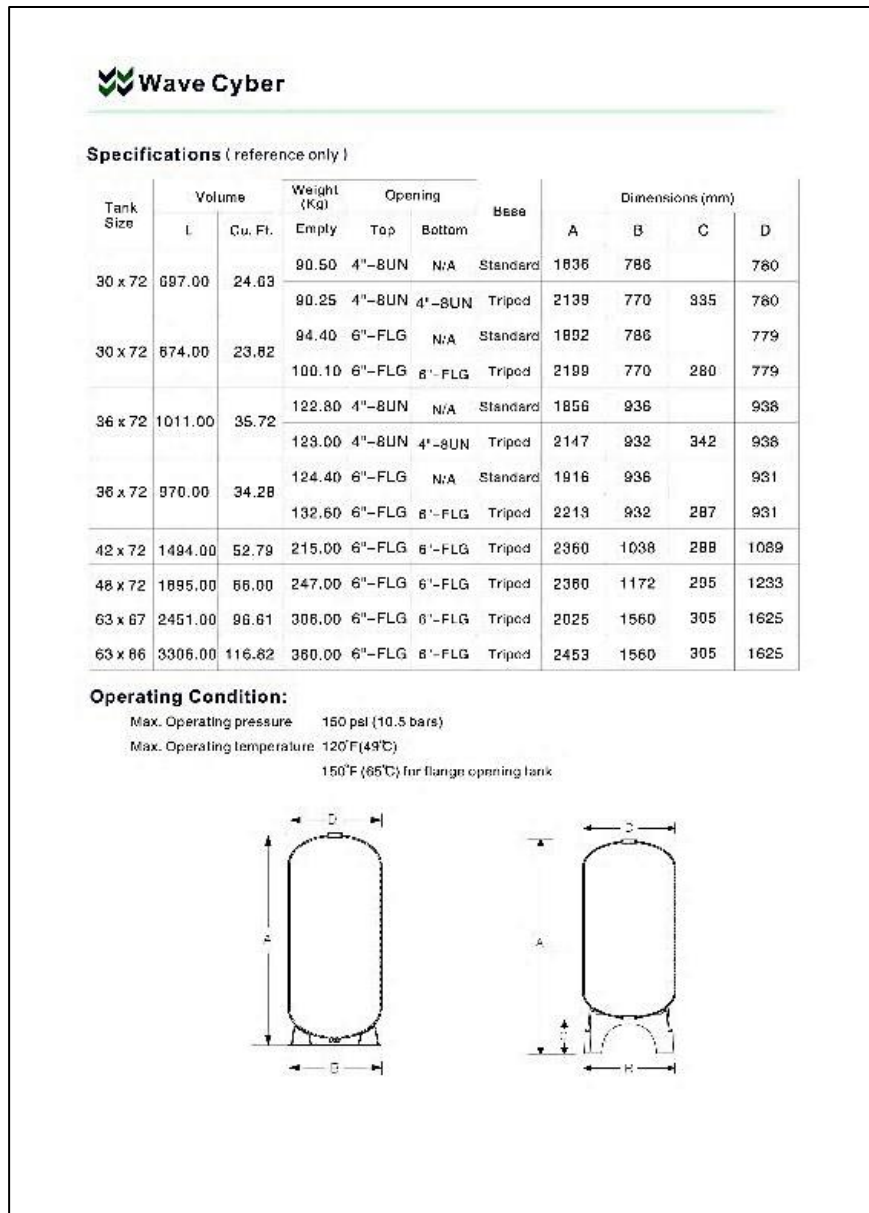
En este estudio se realizará el diseño de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa para calderas. Esta se divide en 2 procesos de diseño principales.

#### **3.5.1. Diseño de la planta de pretratamiento de agua**

Consiste en el diseño del sistema de filtración antes del tren de ósmosis inversa. Consta de 5 partes importantes.

- Filtro de solidos (Tubidex)
- Filtro de carbón activado
- Filtro de resina de intercambio iónico
- Filtro pulidos de 1 micra
- Lámpara de rayos UV

Figura 21. Hoja técnica de tanques para filtros de sedimentos, carbón activado y suavizador



Fuente: Weve Cyber, *Data Sheet*, p. 2.

Figura 22. Hoja técnica filtro de sedimentos



**FILTROS DE SEDIMENTO EWS VÁLVULAS AUTOMÁTICAS**

MODELO	Servicio GPM	Retrolavado GPM	MF	Grava Soporte	Válvula	Código
EWS-FP110A	5	7	1.0	0.25	F67C1	ENS001
EWS-FP113A	9	15	2.0	0.35	F67C1	ENS002
EWS-FP114A	11	15	3.0	0.50	F67C1	ENS003
EWS-FP116A	14	20	4.0	0.70	F67C1	ENS004
EWS-FP118A	18	27	5.0	0.90	F67C1	ENS005
EWS-FP121A	24	35	7.0	1.20	F75B1	ENS006
EWS-FP124A	31	45	10.0	1.70	F75B1	ENS007
EWS-FP130A	49	70	15.0	3.00	F77B1	ENS008
EWS-FP136A	71	105	18.0	6.00	F78A3	ENS009
EWS-FP142A	96	140	24.0	8.00	F78A3	ENS010
EWS-FP148A	126	185	34.0	12.00	F78A3	ENS011



**DATOS TÉCNICOS MEDIO FILTRANTE**

Densidad: 50 Lbs/pie<sup>3</sup>

Mesh: 14x30


Razón de Flujo Servicio: 10 GPM/pie<sup>2</sup>

Razón de Flujo Retrolavado: 15 GPM/pie<sup>2</sup>




Fuente: EWS, Hoja técnica, www.ews.com.gt. p. 1.

Figura 23. Hoja técnica filtro de carbón activado




**FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO VÁLVULAS AUTOMÁTICAS EWS**

MODELO	Servicio Declorinación GPM	Servicio Remoción de Orgánicos GPM	Retrolavado GPM	MF pie <sup>3</sup>	Grava Soporte pie <sup>3</sup>	Válvula	Código
EWS-CA110A	5	3	5	1.0	0.25	F67C1	ENS012
EWS-CA113A	9	5	10	2.0	0.35	F67C1	ENS013
EWS-CA114A	11	5	10	3.0	0.50	F67C1	ENS014
EWS-CA116A	14	7	15	4.0	0.70	F67C1	ENS015
EWS-CA118A	18	9	20	5.0	0.90	F67C1	ENS016
EWS-CA121A	24	12	24	7.0	1.20	F75B1	ENS017
EWS-CA124A	31	16	30	10.0	1.70	F75B1	ENS018
EWS-CA130A	49	25	50	15.0	3.00	F75B1	ENS019
EWS-CA136A	71	35	70	18.0	6.00	F77B1	ENS020
EWS-CA142A	96	48	94	24.0	8.00	F78A3	ENS021
EWS-CA148A	126	63	130	34.0	12.00	F78A3	ENS022



**Norit**  
leading in purification




**DATOS TÉCNICOS MEDIO FILTRANTE**

Densidad:	30 Lbs/pie <sup>3</sup>
Presentación:	Sacos de 25 Kg (1.8 pie <sup>3</sup> )
Mesh:	12x40
Razón de Flujo Servicio Declorinación	10 GPM/pie <sup>2</sup>
Razón de Flujo Servicio Remoción de Orgánicos	5 GPM/pie <sup>2</sup>
Razón de Flujo Retrolavado	10 GPM/pie <sup>2</sup>



Fuente: EWS, Hoja técnica, [www.ews.com.gt](http://www.ews.com.gt). p. 3.



Figura 24. Hoja técnica filtro suavizador



**SUAIVIZADORES CON VÁLVULA AUTOMÁTICA POR CAUDAL EWS**

MODELO	Servicio GPM	Retrolavado GPM	MF pie <sup>3</sup>	Grava Soporte	Sal/Regeneración Lbs.	Intercambio/Regeneración Grains	Válvula	Código
EWS-S110AC	8	3	1.0	0.25	10	20,000	F68C3	ENS034
EWS-S113AC	14	5	2.0	0.35	20	40,000	F68C3	ENS035
EWS-S114AC	16	5	3.0	0.50	30	60,000	F68C3	ENS036
EWS-S116AC	21	7	4.0	0.70	40	80,000	F68C3	ENS037
EWS-S118AC	27	10	5.0	0.90	50	100,000	F74A3	ENS038
EWS-S121AC	36	15	7.0	1.20	70	140,000	F74A3	ENS039
EWS-S124AC	47	20	10.0	1.70	100	200,000	F74A3	ENS040
EWS-S130AC	74	25	15.0	3.00	150	300,000	F77A3	ENS041
EWS-S135AC	106	35	18.0	6.00	180	360,000	F78A3	ENS042
EWS-S142AC	144	49	24.0	8.00	240	480,000	F78A3	ENS043
EWS-S148AC	188	64	34.0	12.00	340	680,000	F78A3	ENS044

**DATOS TÉCNICOS MEDIO FILTRANTE**

Presentación: 1 pie<sup>3</sup>

Mesh: 12x40

Razón de Flujo Servicio: 15 GPM/pie<sup>2</sup>


Razón de Flujo Regeneración: 5 GPM/pie<sup>2</sup>


Libras de sal/pie<sup>3</sup> por regeneración: 10 Lbs

Intercambio Iónico por pie<sup>3</sup> a 10 lbs NaCl/pi: 20000 Grain

Fuente: EWS, Hoja técnica, www.ews.com.gt. p. 7.

Figura 25. Hoja técnica Resina de intercambio iónico Purolite





## C-100E

Strong Acid  
Cation Exchange Resin  
(For use in water softening applications)

### Technical Data

**PRODUCT DESCRIPTION**

Purolite C-100E is a high purity premium grade bead form conventional gel polystyrene sulphonate cation exchange resin designed expressly for the treatment of foodstuffs, beverages, potable waters, and water used in the processing of food. Its specification is such that it will exceed the relevant EEC requirements, and the resin is in compliance with the U.S. Food & Drug Administration Code of Federal Regulations section 21, paragraph 173.25, for use in the treatment of foods for human consumption. Its high bead integrity, excellent chemical and physical stability, and very low extractables content play a large part in its successful employment in these areas.

Typical Physical & Chemical Characteristics	
Polymer Matrix Structure	Crosslinked Polystyrene Divinylbenzene
Physical Form and Appearance	Clear spherical beads
Whole Bead Count	90% min.
Functional Groups	R-SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Ionic Form, as shipped	Na <sup>+</sup>
Shipping Weight (approx.)	850 g/l (53 lb/ft <sup>3</sup> )
Screen Size Range: - U.S. Standard Screen	16 - 50 mesh, wet
Particle Size Range	+1.2 mm <5%, -0.3 mm <1%
Moisture Retention, Na <sup>+</sup> form	46 - 50%
Swelling Na <sup>+</sup> → H <sup>+</sup> Ca <sup>2+</sup> → Na <sup>+</sup>	5% max. 8% max.
Specific Gravity, moist Na <sup>+</sup> Form	1.27
Total Exchange Capacity, Na <sup>+</sup> form, wet, volumetric dry, weight	1.9 eq/l min. 4.5 eq/kg min.
Operating Temperature, Na <sup>+</sup> Form	150°C (300°F) max.
pH Range, Stability, Na <sup>+</sup> Form	0 - 14
pH Range Operating, Na <sup>+</sup> Form	6 - 10



Continuación de la figura 25.

Standard Operating Conditions (Co-current Softening of Water)				
Operation	Rate	Solution	Minutes	Amount
Service	8 - 40 BV/h 1.0 - 5.0 gpm/ft <sup>2</sup>	Influent water	per design	per design
Backwash	Refer to Fig. 2	Influent water 5° - 30°C (40° - 80°F)	5 - 20	1.5 - 4 BV 10 - 20 gal/ft <sup>2</sup>
Regeneration	2 - 7 BV/h 0.25 - 0.90 gpm/ft <sup>2</sup>	8 - 20% NaCl	15 - 60	60 - 320 g/l 4 - 10 lb/ft <sup>2</sup>
Rinse, (slow)	2 - 7 BV/h 0.25 - 0.90 gpm/ft <sup>2</sup>	Influent water	30 approx.	2 - 4 BV 15 - 30 gal/ft <sup>2</sup>
Rinse, (fast)	8 - 40 BV/h 1.0 - 5.0 gpm/ft <sup>2</sup>	Influent water	30 approx.	3 - 10 BV 24 - 45 gal/ft <sup>2</sup>
Backwash Expansion 50% to 75%				
Design Rising Space 100%				
*Gallons* refer to U.S. Gallon = 3.785 liters				

#### OPERATING PERFORMANCE

The operating performance of **Puro-lite C-100E** in the sodium cycle depends on:

- The amount and concentration of regenerant used.
- The total hardness of the water to be treated and its sodium content.
- The flowrate of the influent water through the bed.

Performance is usually assessed in terms of the residual hardness in the treated water (traditionally expressed as ppm of CaCO<sub>3</sub>, where 1 ppm CaCO<sub>3</sub> corresponds to a divalent cation concentration of 0.02 meq/l). In municipal water softening, low regeneration levels and high efficiency of removal of the hardness is usually required, since acceptable water quality is usually obtained by a split-stream operation in which a fully-softened stream is blended with the raw water to give the final product. Under beverage manufacturing conditions, or in industrial use for food processing, a suitable treated water, with less than 5 ppm of hardness, can be obtained with a

level of 70-80 kg salt per cubic meter (4.5 - 5 lb/ft<sup>3</sup>) of resin. In ordinary domestic softening, residual hardness at these comparatively low levels is not usually required, and quite high flowrates are often in use with negligible effect on the operating capacity. The most efficient use of regenerant can be achieved by using high concentrations of salt, and giving adequate contact time; the subsequent displacement of the spent regenerant from the bed should also be slow, but the final removal of excess salt should be carried out at normal service flow rates.

Hardness leakage under the standard operating conditions is normally less than 1% of the total hardness of the influent water, and the operating capacities are not significantly affected unless the raw water contains more than about 25% of its exchangeable cations as sodium (or other univalent) ions.

Both the operating capacity and the average leakage of hardness during the run may be calculated for a wide range of conditions from the data given in Figs. 3 through 6.

Continuación de la figura 25.

**CHEMICAL AND THERMAL STABILITY**

**Purolite C-100E** is insoluble in dilute or moderately concentrated acids, alkalies, and in all common solvents. However, exposure to significant amounts of free chlorine, "hypochlorite" ions, or other strong oxidizing agents over long periods of time will eventually break down the crosslinking. This will tend to increase the moisture retention of the resin, decreasing its mechanical strength, as well as generating small amounts of extractable breakdown products. Like all conventional polystyrene sulphonated resins, it is thermally stable to higher than 150°C (300°F) in the alkali (for instance, sodium) or alkaline earth (calcium and magnesium) salt forms. The free acid form tends to hydrolyse in water at temperatures appreciably higher than 120°C (250°F) thereby losing capacity, as the functional groups are gradually replaced by hydroxyl groups.

**OPERATING CAPACITY CALCULATION**

If the regeneration level, influent water analysis, and service flowrate are known, the capacity and leakage curves may be used directly to determine the operating capacity of the resin in the unit and the residual hardness in the treated water. A specific example of the application of these curves is given below:

<b>INFLUENT WATER</b>			
Cation analysis in:	ppm CaCO <sub>3</sub>	meq/l	gr/U.S. gal
Total hardness	400	8	23
Sodium (& univalents)	100	2	5.8
TDS (total dissolved solids)	500	10	28.8

**TREATMENT**  
 Regeneration with: 160 g/l [10 lb/ft<sup>3</sup>] of NaCl  
 Service Flowrate: 25 m/h [10 U.S. gpm/ft<sup>2</sup>]  
 Leakage endpoint: 5 ppm above permanent (kinetic) leakage figure.

**CAPACITY** is calculated as follows:  
 Fig. 3 → Base Operating Capacity, C<sub>B</sub>, @ 160 g/l (10 lb/ft<sup>3</sup>) NaCl = 1.45 eq/l (31.7 kg/ft<sup>3</sup>)  
 Fig. 4 → correction factor, C<sub>1</sub> for 25 m/h & TDS 500 = 0.96  
 Hence calculated Operating Capacity, C<sub>B</sub> x C<sub>1</sub> = 1.39 eq/l (30.4 kg/ft<sup>3</sup>).  
 After applying the conventional 90% "design factor" the value of 1.25 eq/l may be quoted as a design operating capacity. This corresponds to a figure of 27.3 kg/ft<sup>3</sup> (1.25 eq/l x 21.85 kg/ft<sup>3</sup> per eq/l).

**LEAKAGE** is calculated as follows:  
 Fig. 5 → Base Leakage @ 160 g/l NaCl [or 10 lb/ft<sup>3</sup>] = 2.3 ppm CaCO<sub>3</sub>  
 Fig. 6 → correction factor, K<sub>1</sub>, for a TDS value of 500 = 1.1  
 Hence permanent (kinetic) leakage = 2.3 x 1.1 = 2.5 ppm CaCO<sub>3</sub>

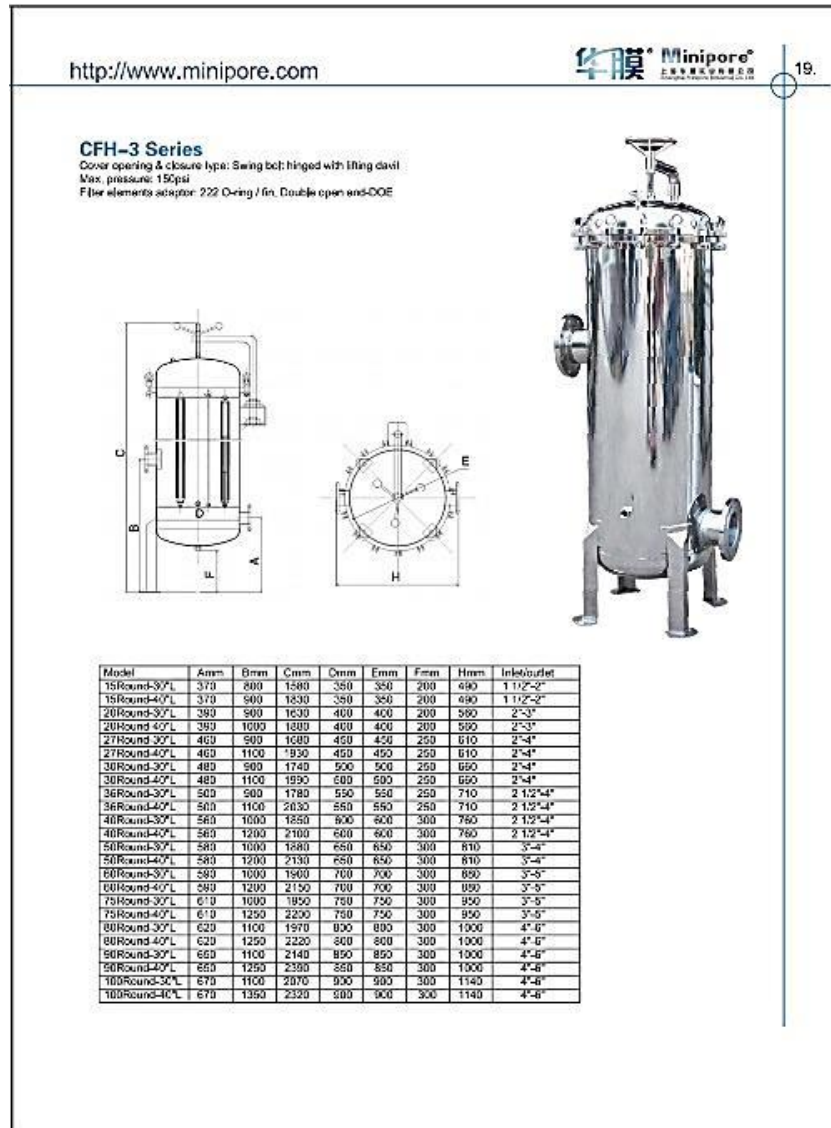
**NOTES:**

- i) The curves given are in fact based on an endpoint leakage of 5 ppm over and above the observed kinetic leakage; operating capacities will differ somewhat if a different criterion is used.
- ii) The curves given are applicable only to influent monovalent ion contents less than or equal to the hardness content; if the water to be treated is atypical in this or other parameters, please contact your local sales office for assistance.

Fuente: Principal Applications. Puro Lite. *Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.*

Consulta: 8 de agosto de 2015.

Figura 26. Hoja técnica *housing* acero inoxidable



Fuente: Principal Applications. Puro Lite. *Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.*

Consulta: 8 de agosto de 2015.

Figura 27. Hoja técnica cartuchos Claris de 30" x 1 Micra Pall

Data Sheet FBCLARENa



**Food and Beverage**

**Claris® Filter Cartridges**  
For General Purpose Particle Reduction

Claris filter cartridges are general purpose melt blown depth filters that deliver consistent, reliable filtration at the lowest possible cost.

**Description**

Multiple fiber zones created by a proprietary and highly automated melt-blowing process result in a consistent and graded pore structure. The different pore sizes allow for the efficient capture of various sized particles and maximum usage of the filter's depth.

An innovative extruded core provides a low cost alternative to molded cores, without compromising filter strength or media depth.

Combined, these features provide long life, less filter change-outs, and the most cost-efficient solution for general particle reduction applications within the food and beverage industry.



Claris Filter Cartridges

**Features and Benefits**

Features	Benefits
Melt blown depth media with graded pore structure	<ul style="list-style-type: none"> <li>Efficient capture of various particle sizes, maximizing the usage of the entire filter's depth</li> </ul>
Thermally bonded fibers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consistent filtration performance</li> </ul>
High void volume	<ul style="list-style-type: none"> <li>Long service life due to high dirt holding capacity</li> </ul>
High strength extruded core	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enables economy without compromising flow or cartridge stability</li> <li>Eases disposal and incineration</li> </ul>
All polypropylene construction, without adhesives, binders or surfactants	<ul style="list-style-type: none"> <li>Broad chemical compatibility, suitable for use in a variety of fluids</li> </ul>

**Materials of Construction**

Component	Description
Filter Medium	Polypropylene
Core, Fin End and End Cap	Polypropylene
<b>SOE Style Cartridges only</b>	
Adaptor	Polypropylene
O-ring Seal	Silicone Elastomer Ethylene Propylene Rubber

**Quality**

- Cartridges produced in a controlled environment
- Manufactured within a Quality Management System certified to ISO 9001:2008

**Food Contact Compliance**

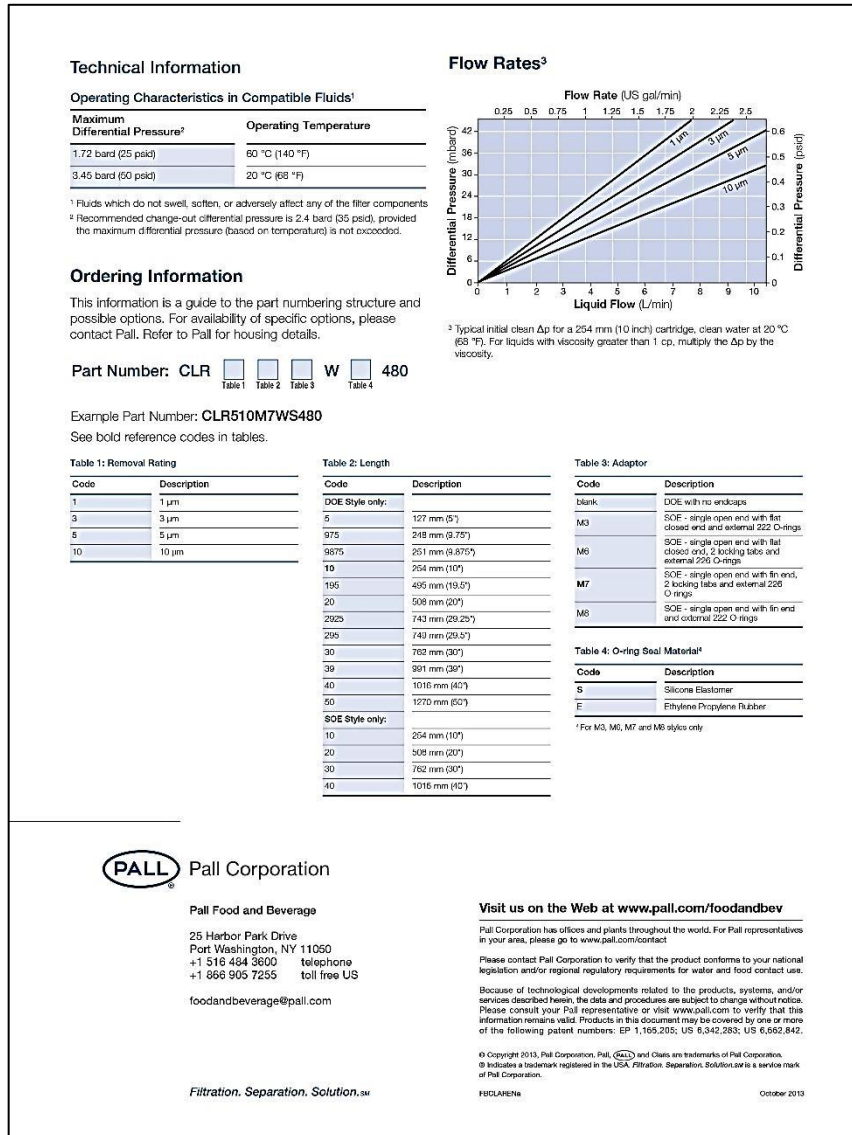
Please refer to the Pall website <http://www.pall.com/foodandbev> for a Declaration of Compliance to specific National Legislation and/or Regional Regulatory requirements for food contact use.

Filtration. Separation. Solution.™

Fuente: Principal Applications. Puro Lite. Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.

Consulta: 8 de agosto de 2015.

Figura 28. Hoja técnica cartuchos Claris de 30" x 1 Micra Pall




Fuente: Principal Applications. Puro Lite. Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.

Consulta: 8 de agosto de 2015.





Figura 29. Hoja técnica lámpara de rayos ultravioleta



**Sterilight® Platinum will ensure the safety of your water...**

Sterilight's PLATINUM UV disinfection systems offer simple, safe and effective disinfection. If water-borne pathogens, including bacteria, virus, protozoa and others are a concern, Sterilight PLATINUM UV is the answer!





Disinfection using ultraviolet (UV) light is fast becoming the ecological choice in disinfection techniques. UV effectively destroys microbial contaminants without adding anything to the water. Unlike chlorine where there is the possibility of potentially harmful by-products created during its disinfection process, UV creates no residual disinfection by-products. The process is quickly completed within the confines of the reactor. Unlike chlorine and ozone treatments, no external tanks are required and no hazardous chemicals need to be handled.

As a note, microorganisms require varying UV fluence levels for destruction. Some of the common organisms and their corresponding fluence level are shown to the right:

Fluence  
(Dose)

=

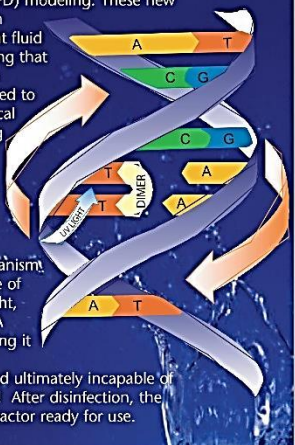
UV intensity x time  
μW/cm<sup>2</sup> x sec  
mJ/cm<sup>2</sup>


Note: 1mJ/cm<sup>2</sup> = 10mJ/m<sup>2</sup> = 1000μWsec/cm<sup>2</sup>

MICROORGANISM	FLUENCE (DOSE)
E. coli <sup>1</sup>	6.6 mJ/cm <sup>2</sup>
Cryptosporidium parvum <sup>2</sup>	<10 mJ/cm <sup>2</sup>
Giardia lamblia <sup>2</sup>	<10 mJ/cm <sup>2</sup>
Hepatitis Virus <sup>2</sup>	8 mJ/cm <sup>2</sup>
Influenza Virus <sup>2</sup>	6.6 mJ/cm <sup>2</sup>
Shigella dysenteriae <sup>2</sup>	4.2 mJ/cm <sup>2</sup>
Legionella pneumophila <sup>2</sup>	3.8 mJ/cm <sup>2</sup>
Salmonella paratyphi <sup>2</sup>	6.1 mJ/cm <sup>2</sup>

1. 2-log reduction      2. 4-log reduction

Sterilight's PLATINUM UV systems incorporate a unique stainless steel reactor design based on advanced computational fluid dynamic (CFD) modeling. These new reactors create an extremely efficient fluid flow path, ensuring that ultraviolet light is effectively delivered to any microbiological organism residing in the water. As the organisms pass through the reactor, a powerful high-output UV lamp irradiates the organism with a lethal dose of germicidal UV light, rupturing its DNA (or RNA), rendering it incapable of reproducing and ultimately incapable of causing infection! After disinfection, the water exits the reactor ready for use.






Looking for a system that provides more information than just when it is time to change your lamp? Look no further than Sterilight's new PLATINUM ICE CONTROLLER. This revolutionary device includes a small touch panel switch providing a graphical representation of a variety of system functions. Depress switch to obtain UV output represented in "% UV intensity output". Depress switch two times to obtain remaining lamp life and depress three times to show total controller runningtime.

UV disinfection systems are used around the world treating water, air and other viscous fluids. Applications are broad and ever expanding. They include residential, commercial, institutional and now municipal applications. Sterilight systems have been installed and operating around the world since 1986. Sterilight has become a world leader in the design and manufacture of UV disinfection systems and continues to make many advancements within the industry.

ensuring the safety of your water

Continuación de la figura 29.

## Product Specifications

Models	SP100-HO	SP150-HO	SP200-HO	SP320-HO	SP410-HO	SP600-HO	SP740-HO	SP950-HO	
Rated Flow Rate @	16 ml/cm <sup>2</sup>	11 gpm <sup>1</sup> (41.6 lpm) (2.5 m <sup>3</sup> /hr)	14 gpm <sup>1</sup> (53.0 lpm) (3.2 m <sup>3</sup> /hr)	20 gpm <sup>1</sup> (75.7 lpm) (4.5 m <sup>3</sup> /hr)	34 gpm <sup>1</sup> (128.7 lpm) (7.7 m <sup>3</sup> /hr)	45 gpm <sup>1</sup> (170.3 lpm) (10.2 m <sup>3</sup> /hr)	60 gpm <sup>1</sup> (227.1 lpm) (13.6 m <sup>3</sup> /hr)	60 gpm <sup>1</sup> (227.1 lpm) (13.6 m <sup>3</sup> /hr)	
	30 ml/cm <sup>2</sup>	6 gpm <sup>1</sup> (22.7 lpm) (1.4 m <sup>3</sup> /hr)	8 gpm <sup>1</sup> (30.3 lpm) (1.8 m <sup>3</sup> /hr)	10 gpm <sup>1</sup> (37.9 lpm) (2.3 m <sup>3</sup> /hr)	18 gpm <sup>1</sup> (68.1 lpm) (4.1 m <sup>3</sup> /hr)	24 gpm <sup>1</sup> (90.8 lpm) (5.45 m <sup>3</sup> /hr)	35 gpm <sup>1</sup> (132.5 lpm) (7.9 m <sup>3</sup> /hr)	42 gpm <sup>1</sup> (158.9 lpm) (9.5 m <sup>3</sup> /hr)	
	40 ml/cm <sup>2</sup>	4 gpm <sup>1</sup> (15.1 lpm) (0.9 m <sup>3</sup> /hr)	6 gpm <sup>1</sup> (22.7 lpm) (1.4 m <sup>3</sup> /hr)	8 gpm <sup>1</sup> (30.3 lpm) (1.8 m <sup>3</sup> /hr)	13 gpm <sup>1</sup> (49.2 lpm) (2.9 m <sup>3</sup> /hr)	18 gpm <sup>1</sup> (68.1 lpm) (4.1 m <sup>3</sup> /hr)	26 gpm <sup>1</sup> (98.4 lpm) (5.9 m <sup>3</sup> /hr)	31 gpm <sup>1</sup> (117.3 lpm) (7.0 m <sup>3</sup> /hr)	
UV Intensity Monitor	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Flow Pacing	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Time Meters	Remaining Lamp Life	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
	Total Running Hours	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Dry Contacts	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Safety Interlock	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Lamp Replacement Reminder	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Diagnostic Check	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Communication Port	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	
Reactor Chamber Material	304 SS	304 SS	304 SS	304 SS	304 SS	304 SS	304 SS	304 SS	
Electrical	Volts	90-265V/ 50-60Hz	90-265V/ 50-60Hz	90-265V/ 50-60Hz	90-265V/ 50-60Hz	90-265V/ 50-60Hz	90-265V/ 50-60Hz	90-265V/ 50-60Hz	
	Power Consumption	20W	25W	35W	42W	52W	73W	88W	
	Lamp Watts	15W	20W	30W	36W	45W	65W	80W	
Maximum Operating Pressure	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	8.62 bar (125 psi)	
System Pressure Drop	0.3 bar (4psi) at 50% rated flow								
Ambient Water Temperature	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	2-40°C (36-104°F)	
	(LVT at 75% stated at 20°C please consult factory for other water temperatures)								
Maximum Ambient Air Temperature	50°C (122°F)	50°C (122°F)	50°C (122°F)	50°C (122°F)	50°C (122°F)	50°C (122°F)	50°C (122°F)	50°C (122°F)	
Rated Service Life of Lamp	9000 hours	9000 hours	9000 hours	9000 hours	9000 hours	9000 hours	9000 hours	9000 hours	
Replacement Lamps	S100RL-HO	S150RL-HO	S200RL-HO	S320RL-HO	S410RL-HO	S600RL-HO	S740RL-HO	S950RL-HO	
Dimensions	Chamber (L x D)	13.8" x 3.5" (350.52 x 89 mm)	15.8" x 3.5" (401.32 x 89 mm)	17.8" x 3.5" (452.12 x 89 mm)	22.8" x 3.5" (579.12 x 89 mm)	26.0" x 3.5" (660.4 x 89 mm)	30.7" x 3.5" (779.78 x 89 mm)	39.4" x 3.5" (1000.76 x 89 mm)	47.6" x 3.5" (1130.3 x 89 mm)
	Controller (L x W x H)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)	10.75" x 4.5" x 2" (254 x 114 x 53 mm)
Shipping Weight	10 lbs (4.5 kg)	11 lbs (5 kg)	12 lbs (5.4 kg)	15 lbs (6.8 kg)	17 lbs (7.7 kg)	19 lbs (8.6 kg)	24 lbs (10.9 kg)	29 lbs (13.1 kg)	
Inlet/Outlet Port Size	Combo 3/4" FNPT/ 1" MNPT	Combo 3/4" FNPT/ 1" MNPT	Combo 3/4" FNPT/ 1" MNPT	1" MNPT	1" MNPT	1" MNPT	1" MNPT	1" MNPT	
Other Approvals									

1. Flow rates stated at 95% UVT<sub>10</sub>

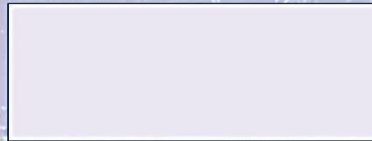
2. Flow Rate dictated by maximum pressure drop (>8psi)



425 Clair Rd. West, P.O. Box 1719  
 Guelph, Ontario, Canada N1L 1R1  
 T. 519.763.1032 F. 519.763.5069  
 T.F. 1.800.265.7246  
 e. water@r-can.com  
 i. www.r-can.com



For further information contact:



LIT-0403141  
 PRINTED IN CANADA 04/03

Fuente: Principal Applications. Puro Lite. Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.

Consulta: 8 de agosto de 2015.

Figura 30. Hoja técnica válvulas



Fuente: EWS, Hoja técnica, www.ews.com.gt. p. 7.




Figura 31. Hoja técnica rotámetros

Structure-Chart (with male thread conection)		Picture		
Structure-Chart (with female thread conection)		Picture		
Model	Size (mm)			
	A	B	C	D
LZS- (0,6-5)	233	178	Φ32	235
LZS- (5-10)	283,5	236,5	Φ45	330
LZS- (20-60)	297	233,5	Φ51	318
LZS- (80-200)	367	296	Φ75	400

Fuente: Principal Applications. Puro Lite. *Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.*

Consulta: 8 de agosto de 2015.

Figura 32. Hoja técnica manómetros



**Pressure gauge**

Minipore pressure gauge consists two type (with liquid filled and without liquid filled);  
 The liquid filled pressure gauge is shock resistant besides other qualities and can be used to measure the positive and negative pressure under the circumstance of mechanic vibration and pressure with impulse;  
 Measure Range::0~15Psi...0-8500Psi( with Bar or MPa printed);  
 The materials and specifications could be customized as clients' requirements.

**INTRODUCTION:**

Diameter	Model	Installation Type	Measure Range	Screw Thread	Case Merial	Accuracy
1-1/2"	Y-40	Bottom Connection	0~15 Psi ..... 0~3500Psi	1/8" NPT,BSPT BSP,M10*1	Steel SS304	±2.5%
	Y-40Z	Back Connection			Plastic	
	Y-40ZT	Back Connection with border			Steel SS304	
2"	Y-50	Bottom Connection	0~15 Psi ..... 0~3500Psi	1/8", 1/4" NPT,BSPT, BSP M14*1.5	Steel SS304	±2.5%
	Y-50Z	Back Connection			Plastic	
	Y-50ZT	Back Connection with border			Steel SS304	
2-1/2"	Y-60	Bottom Connection	0~15 Psi ..... 0~6000Psi	1/8" 1/4" NPT,BSPT, BSP M14*1.5	Steel SS304	±2.5%
	Y-60Z	Back Connection			Plastic	
	Y-60ZT	Back Connection with border			Steel SS304	
3"	Y-75	Bottom Connection	0~15Psi ..... 0~6000Psi	1/4" 3/8" NPT,BSPT, BSP M14*1.5	Steel SS304	±2.5%
	Y-75Z	Back Connection			Plastic	
	Y-75ZT	Back Connection with border			Steel SS304	
4"	Y-100	Bottom Connection	0~15 Psi ..... 0~8500Psi	3/8" 1/2" NPT,BSPT, BSP M20*1.5	Steel SS304	±1.6%
	Y-100Z	Back Connection			Plastic	
	Y-100ZT	Back Connection with border			Steel SS304	

1/2


Fuente: Principal Applications. Puro Lite. *Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.*

Consulta: 8 de agosto de 2015.

### 3.5.2. Diseño de la planta de ósmosis inversa

Consta del tren de membranas de ósmosis inversa. Se realizará en el programa Rosa.

Figura 33. Ficha técnica membranas de filtración Filmtec



Product Data Sheet

#### DOW FILMTEC™ BW30-400 Element

**Description**


Ideal for: reverse osmosis plant managers and operators dealing with controlled pre-treatment waters and seeking consistent, high performance, long element life and increased productivity.

Offering decades of proven performance, DOW FILMTEC™ BW30-400:

- Delivers high quality permeate water while minimizing CAPEX
- Offers most effective cleaning performance, robustness and durability due to its widest cleaning pH range (1 – 13) tolerance and the support of Dow technical representatives

**Product Type**

Spiral-wound element with polyamide thin-film composite membrane

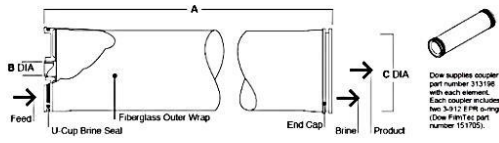


**Product Specifications**

DOW FILMTEC™ Element	Active Area (ft <sup>2</sup> )	Active Area (m <sup>2</sup> )	Feed Spacer Thickness (mil)	Permeate Flow Rate (GPD)	Permeate Flow Rate (m <sup>3</sup> /d)	Typical Stabilized Salt Rejection (%)	Minimum Salt Rejection (%)
BW30-400	400	37	28	10,500	40	99.5	99.0

1. Permeate flow and salt (NaCl) rejection based on the following standard test conditions: 2,000 ppm NaCl, 225 psi (15.6 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% recovery.
2. Flow rates for individual elements may vary but will be no more than 15% below the value shown.
3. Stabilized salt rejection is generally achieved within 24-48 hours of continuous use, depending upon feedwater characteristics and operating conditions.
4. Sales specifications may vary as design revisions take place.
5. Active area guaranteed ± 3%. Active area as stated by Dow Water & Process Solutions is not comparable to nominal membrane area often stated by some manufacturers. Measurement method described in Form No. 609-00434.

**Element Dimensions**



Dow supplies coupler part number 313166 with each element. Each coupler includes two 3/32" FPM o-rings (Dow Filmtec part number 151925).

DOW FILMTEC™ Element	A		B		C	
	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)
BW30-400	40.0	1,016	1.125 ID	29 ID	7.9	201

1. Refer to Dow Water & Process Solutions Design Guidelines for multiple element applications: 1 inch = 25.4 mm
2. Element to fit nominal 8-inch (203-mm) I.D. pressure vessel.

Page 1 of 2

©™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow

Form No. 609-00091, Rev. 2  
August 2015

Continuación de la figura 33.

<b>Operating and Cleaning Limits</b>	Maximum Operating Temperature <sup>a</sup>	113°F (45°C)
	Maximum Operating Pressure	600 psig (41 bar)
	Maximum Element Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
	pH Range, Continuous Operation <sup>a</sup>	2 – 11
	pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.) <sup>b</sup>	1 – 13
	Maximum Feed Silt Density Index (SDI)	SDI 5
	Free Chlorine Tolerance <sup>c</sup>	< 0.1 ppm

<sup>a</sup> Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C)  
<sup>b</sup> Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.  
<sup>c</sup> Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, Dow Water & Process Solutions recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin "Dechlorinating Feedwater" for more information.

**Additional Important Information**

Before use or storage, review these additional resources for important information:

- [Usage Guidelines for DOW FILMTEC™ 8" Elements](#)
- [System Operation: Initial Start-Up](#)

**Regulatory Note**

These membranes may be subject to drinking water application restrictions in some countries; please check the application status before use and sale.

**Product Stewardship**

Dow has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our product stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our product stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products—from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

**Customer Notice**


Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support.

**DOW FILMTEC™ Membranes**  
**Contact Dow Water & Process Solutions:**

North America: 1-800-447-4369  
 Latin America: (+55) 11-51 88 9222  
 Europe: +800-3-694-6367  
 Italy: +800-783-625  
 South Africa: +0800 99 5078  
 Pacific: +800 7776 7776  
 China: +400 699-0789  
<http://www.dowwaterandprocess.com>

**NOTICE:** The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

**NOTICE:** No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other government enactments. The product shown in this literature may not be available for sale and/or available in all geographies where Dow is represented. The claims made may not have been approved for use in all countries. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. References to "Dow" or the "Company" mean the Dow legal entity selling the products to Customer unless otherwise expressly noted. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**



Page 2 of 2 ©™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow Form No. 609-00091, Rev. 2 August 2015

Fuente: Principal Applications. Puro Lite. *Data Sheet Cation Exchange Resin C-100 PL.*

Consulta: 8 de agosto de 2015.

### **3.6. Tabulación, ordenamiento y procedimiento de la información**

Cuando se tienen los resultados de la recolección de datos hay que hacer ciertos procesos, para que puedan ser analizados.

#### **3.6.1. Diseño de medios filtrantes**

Procedimiento:

- Selección de medio filtrante a utilizar.
- Con base en la propiedad flujo de servicio del medio filtrante obtener el diámetro de tranque necesario para el flujo requerido.
- Con base en factores de diseño obtener las cantidades de grava y medio filtrantes necesarias.
- Con base en el flujo requerido elegir cabeza de retro lavado a utilizar.

#### **3.6.2. Diseño carcasa para filtros pulidores**

Procedimiento:

- Obtención de flujo de entrada.
- Elegir marca de cartuchos de filtración a utilizar con base a criterio de diseño.
- Selección de micraje a utilizar.
- Tomando en cuenta la caída de presión del fabricante de los cartuchos, obtener el número de cartuchos equivalente para el flujo necesario.
- Con criterio de diseño elegir la carcasa a utilizar.

### 3.6.3. Diseño planta de ósmosis inversa

Procedimiento:

- Obtener muestra de agua.
- Obtener análisis fisicoquímico de la muestra.
- Obtener flujo de entrada.
- Con base en el análisis fisicoquímico y el flujo necesario ingresar las variables al programa Rosa.
- Obtener membranas deseadas.

### 3.7. Plan de análisis de los resultados

Si la investigación ha sido lo suficientemente adecuada, se obtendrán resultados cuyo análisis permitirá obtener conclusiones adecuadas. Por otra parte, los datos obtenidos pueden ser correctos, y el análisis estar mal realizado, lo que originará conclusiones erróneas, de ahí la importancia del análisis de resultados de una investigación.

#### 3.7.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

- Cálculo de diámetro de tranque medio filtrante

$$D = \sqrt{\frac{Q * 576}{q_s * \pi}}$$

[Ec. 1]

Donde:

$D$  = diámetro del tanque (pulgadas)

$Q$  = caudal (GPM)

$q_s$  = razón de caudal de servicio (GPM/pie<sup>2</sup>)

- Cálculo de cartuchos equivalentes

$$C^{eq} = \frac{Q}{Q_c}$$

[Ec. 2]

Donde:

$C^{eq}$  = número de cartuchos equivalentes de 10" (unidades)

$Q$  = caudal (GPM)

$Q_c$  = caudal equivalente para cartucho de 10" (GPM)

- Cálculo de espacio libre para expansión del lecho de medio filtrante

$$L_{libre} = E^c * L_{lecho}$$

[Ec. 3]

Donde:

$L_{libre}$  = espacio libre para expansión de capa de medio filtrante (pulgada)

$E^c$  = porcentaje de expansión de capa (porcentaje)

$L_{lecho}$  = grosor del lecho de medio filtrante (pulgada)

- Cálculo de espacio total para el medio filtrante

$$L_t = L_{libre} + L_{lecho}$$

[Ec. 4]

Donde:

$L_{libre}$  = espacio libre para expansión de capa de medio filtrante (pulgada)

$L_t$  = espacio total para el medio filtrante (pulgada)

$L_{lecho}$  = grosor del lecho de medio filtrante (pulgada)

- Cálculo de caudal de retro lavado

$$Q_R = \frac{\pi * D^2 * q_R}{576}$$

[Ec. 5]

Donde:

D = diámetro del tanque (pulgadas)

$Q_R$  = caudal de retro lavado (GPM)

$q_R$  = razón de caudal de retro lavado (GPM/pie<sup>2</sup>)

- Cálculo de volumen de medio filtrante

$$V_F = \frac{Q}{q_v}$$

[Ec. 6]



Donde:

$V_F$  = volumen de medio filtrante (pie<sup>3</sup>)

$Q$  = caudal (GPM)

$q_v$  = razón de flujo volumétrico de servicio (GPM/pie<sup>3</sup>)

- Cálculo de cantidad de sal por retro lavado

$$m_s = V_F * C_s$$

[Ec. 7]

Donde:

$V_F$  = volumen de medio filtrante (pie<sup>3</sup>)

$m_s$  = cantidad de sal para cada retro lavado (lb)

$C_s$  = libras de sal por pie cubico de medio filtrante (lb/pie<sup>3</sup>)

- Cálculo de cama de soporte

$$G = L_t + A_t$$

[Ec. 8]

Donde:

$A_t$  = altura total del tanque (pulgada)

$L_t$  = espacio total para el medio filtrante (pulgada)

$G$  = espesor de cama de soporte (pulgada)

- Cálculo de cama de soporte

$$VPN = \frac{FE_t}{(1 + i)^t}$$

[Ec. 9]

Donde:

$VPN$  = valor presente neto del proyecto (quetzales)

$FE_t$  = flujo de efectivo en el periodo  $t$  (quetzales)

$i$  = tasa de inflación (%)

$t$  = periodo (meses)

### **3.7.2. Programa a utilizar para análisis de datos**

Rosa:

Software desarrollado por Dow Chemical para el cálculo de instalaciones industriales de ósmosis inversa.

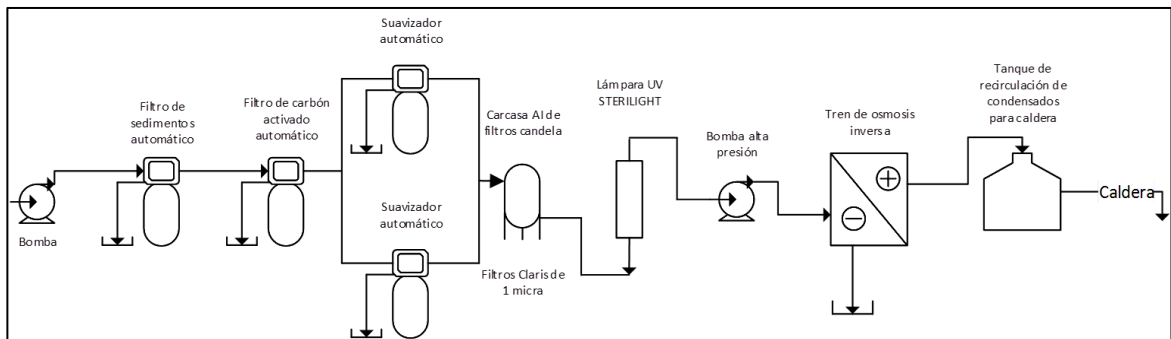
Microsoft Visio:

Software que facilita la elaboración de diagramas de flujo tanto de equipos como de sistemas completos.

## 4. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de la investigación.

Figura 34. **Diagrama de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

Tabla III. **Definición de parámetros de diseño para cada uno de los equipos a utilizar en sistema de prefiltración**

Parámetros de diseño	Definición	Dimensional	Unidades	Símbolo
<b>Filtro de sedimentos - Filtro de carbón activado – Filtro suavizador</b>				
<b>Caudal</b>	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo.	V/t	Galón/min	$Q$
<b>Expansión de cama</b>	El porcentaje que se expande la cama de medio filtrante en el proceso de retro lavado de este.	N/A	%	$E^c$
<b>Razón de caudal de servicio</b>	Flujo que permite filtrar el medio por área de contacto.	(V/t)/A	(galón/min)/pie <sup>2</sup>	$q_s$
<b>Razón de caudal de retro lavado</b>	Flujo necesario para realizar el retro lavado por área de contacto.	(V/t)/A	(galón/min)/pie <sup>2</sup>	$q_r$
<b>Diámetro</b>	Diámetro interno del tanque.	L	Pulgada	$D$
<b>Profundidad de lecho</b>	Profundidad de lecho de medio de filtración.	L	Pulgada	$L_{lecho}$
<b>Razón de flujo volumétrico de servicio</b>	Flujo que permite filtrar el medio por volumen de contacto.	(V/t)/A	(galón/min)/pie <sup>3</sup>	$q_v$
<b>Razón de flujo volumétrico de retro lavado</b>	Flujo que permite filtrar el medio por volumen de contacto.	(V/t)/A	(galón/min)/pie <sup>3</sup>	$q_{vr}$
<b>Carcasa de acero inoxidable para filtros de 1 micra</b>				
<b>Caudal</b>	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo.	V/t	Galón/min	$Q$
<b>Caída de presión</b>	Disminución de la presión de un fluido, dentro de un conducto, que tiene lugar cada vez que dicho fluido atraviesa un estrangulamiento o un elemento de utilización.	F/A	Psi	$\Delta P$
<b>Lámpara de rayos UV</b>				
<b>Caudal</b>	Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo.	V/t	Galón/min	$Q$

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Definición de parámetros de diseño para cada uno de los equipos a utilizar en el tren de ósmosis inversa**

Parámetros de diseño	Definición	Dimensional	Unidades	Símbolo
<b>Tren de osmosis inversa</b>				
<b>Amonio</b>	Contenido de iones amonio en el fluido.	m/V	mg/L	<b>NH<sub>4</sub></b>
<b>Potasio</b>	Contenido de potasio en el fluido.	m/V	mg/L	<b>K</b>
<b>Sodio</b>	Contenido de sodio en el fluido.	m/V	mg/L	<b>Na</b>
<b>Magnesio</b>	Contenido de magnesio en el fluido.	m/V	mg/L	<b>Mg</b>
<b>Calcio</b>	Contenido de calcio en el fluido.	m/V	mg/L	<b>Ca</b>
<b>Estroncio</b>	Contenido de estroncio en el fluido.	m/V	mg/L	<b>Sr</b>
<b>Bario</b>	Contenido de bario en el fluido.	m/V	mg/L	<b>Ba</b>
<b>Carbonatos</b>	Contenido de iones carbonatos en el fluido.	m/V	mg/L	<b>CO<sub>3</sub></b>
<b>Bicarbonatos</b>	Contenido de bicarbonatos en el fluido.	m/V	mg/L	<b>HCO<sub>3</sub></b>
<b>Nitratos</b>	Contenido de nitratos en el fluido.	m/V	mg/L	<b>NO<sub>3</sub></b>
<b>Cloro</b>	Contenido de cloro en el fluido.	m/V	mg/L	<b>Cl</b>
<b>Flour</b>	Contenido de Flour en el fluido.	m/V	mg/L	<b>F</b>
<b>Sulfatos</b>	Contenido de sulfatos en el fluido.	m/V	mg/L	<b>SO<sub>4</sub></b>
<b>Silicatos</b>	Contenido de silicatos en el fluido.	m/V	mg/L	<b>SiO<sub>2</sub></b>
<b>Boro</b>	Contenido de boro en el fluido.	m/V	mg/L	<b>Boro</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	Contenido de dióxido de carbono en el fluido.	m/V	mg/L	<b>CO<sub>2</sub></b>
<b>Total de solidos disueltos</b>	Contenido de solidos disueltos en el fluido.	m/V	mg/L	<b>TDS</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	pH del fluido.	m/V	N/A	<b>pH</b>
<b>Temperatura</b>	Temperatura del fluido.	T	°C	<b>T</b>
<b>Caudal de permeado</b>	Caudal de permeado obtenido del tren de ósmosis inversa.	V/t	Galón/min	$Q_p$

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Datos de entrada y salida tren de ósmosis inversa

Información del Proyecto: Diseño informe final Osmosis Inversa - Angel Aragon													
Detalles del Sistema													
Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	78.13 gpm	Caudal de Permeado Paso 1	25.00 gpm	Presión Osmótica:									
Caudal de Agua Bruta al Sistema	78.13 gpm	Conversión Paso 1	32.00 %	Alimentación	1.94 psig								
Presión de Alimentación	173.06 psig	Temperatura de Alimentación	33.0 C	Concentrado	2.82 psig								
Factor de flujo	0.85	STD Alimentación	273.30 mg/l	Media	2.38 psig								
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	4	NDP media	132.72 psig								
Área Activa Total	1600.00 ft²	Flujo específico medio Paso 1	22.50 gfd	Potencia	7.35 kW								
Clasificación del Agua: Agua de Pozo SDI < 3				Energía Específica	4.90 kWh/kgal								
Etapa	Elemento	Nº Cajas de presión	Nº Elementos	Caudal de Alimentación (gpm)	Presión de Alimentación (psig)	Caudal de Recirculación (gpm)	Caudal de concentrado (gpm)	Presión del concentrado (psig)	Caudal de Permeado (gpm)	Flujo específico medio (gfd)	Presión de Permeado (psig)	Presión Booster (psig)	STD Permeado (mg/l)
1	BW30-400	2	2	78.13	138.06	0.00	53.12	132.09	25.00	22.50	0.00	0.00	3.33

Fuente: elaboración propia, empleando, programa ROSA versión 7.2.

Tabla V. Datos de entrada y salida del tren de ósmosis inversa

Corrientes Paso				
(mg/l como ión)				
Nombre	Alimentación	Permeado		
		Concentrado	Etapa 1	Permeado Total
NH4	0	0	0	0
K	0	0	0	0
Na	19,02	27,74	0,5	0,5
Mg	12,62	18,53	0,07	0,07
Ca	30,03	44,09	0,15	0,15
Sr	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0
CO3	0	0	0	0
HCO3	0	0	0	0
NO3	19,5	28,02	1,4	1,4
Cl	30	158,81	0,42	0,42
F	0	0	0	0

Continuación de la tabla V.

<b>SO4</b>	0	0	0	0
<b>SiO2</b>	84	123,16	0,79	0,79
<b>Boro</b>	0	0	0	0
<b>CO2</b>	0	0	0	0
<b>STD</b>	195,18	400,36	3,33	3,33
<b>pH</b>	7,37	7,37	7,37	7,37

Fuente: Programa Rosa. Versión 7.2.

Tabla VI. **Valor de diseño para filtro de sólidos, filtro de carbón activado y filtro suavizador**

	Filtro de solidos	Filtro de carbón activado	Suavizador	Unidades	Símbolo
Caudal de trabajo	78,13	78,13	78,13	Gal/min	$Q$
Caudal de retro lavado	117,20	78,13	122,78	Gal/min	$Q_R$
Expansión de cama	0,50	0,50	0,50	%	$E^c$
Diámetro del tanque	37,85	37,85	36,00	pulgada	$D$
Profundidad de lecho	35,00	35,00	37,90	pulgada	$L_{lecho}$
Razón de caudal de servicio	10,00	10,00	N/A	(gal/min)pie2	$q_s$
Razón de caudal de retro lavado	15,00	10,00	N/A	(gal/min)pie2	$q_r$
Razón de flujo volumétrico de servicio	N/A	N/A	3,50	(gal/min)pie3	$q_v$
Razón de flujo volumétrico de retro lavado	N/A	N/A	5,50	(gal/min)pie3	$q_{vr}$
Profundidad total de medio filtrante	52,50	52,50	56,84	pulgada	$L_t$
Cantidad de sal industrial por retro lavado	N/A	N/A	223,23	lb	$m_s$
Altura del tanque	72,00	72,00	72,00	pulgada	$A_t$
Válvula de retro lavado automática	F77B1	F77B1	F77A1	N/A	N/A
Cama de soporte	19,50	19,50	15,16	pulgada	$G$
Volumen de medio filtrante	22,79	22,79	22,32	pie3	$V_f$
Medio Filtrante	Turbidex	Carbón NORIT	PUROLITE	N/A	$MF$

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Valores de diseño para filtro pulidor y lámpara de rayos ultra violeta**

	Housing Acero inoxidable	Lámpara UV	Unidades	Símbolo
Caudal	78,13	78,13	Gal/min	$Q$
Cartuchos equivalentes de 10"	52,09	N/A	N/A	$C^{eq}$
Cartuchos de 1 micra - 30"	17,36	N/A	N/A	$C$
Caudal cartuchos 1 micra - 10"	1,50	N/A	N/A	$Q_c$
Marca del elemento	Pall	Steriligth	N/A	N/A
Modelo	Cartuchos Claris	SP720-HO	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Factibilidad del proyecto**

	Planta de ósmosis inversa	Uso común de caldera
Inversión Inicial	Q349 068,00	0,00
Mantenimiento de calderas	Q10 000,00 anuales	Q15 500,00 trimestrales
Químico anti incrustante	Q1 000,00 mensuales	Q9 500,00 mensuales
Cambio de membranas	Q25 600,00 cada 3 años	N/A
Mantenimiento de la planta	Q10 000,00 Cada 18 meses	N/A
Interés de inflación	3,25 %	3,25 %
VPN 90 meses (7.5 años)	Q420 243,07	Q421 138,51

Fuente: elaboración propia.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo el diseño preliminar de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa. Esto para la disminución de incrustaciones en calderas generadas por el alto contenido de sólidos disueltos en el fluido. Para esto fue necesario el diseño del sistema de pre filtración de agua y tren de ósmosis inversa por medio del programa Rosa.

Se inició realizando el diagrama preliminar de la planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa, como se muestra en la figura 38. La planta está formada por 2 tramos esenciales; el primero es el pre acondicionamiento de agua. Está conformado por filtro de sólidos, filtro de carbón activado, filtro suavizador, filtro pulidor y lámpara de rayos ultravioleta. Luego del sistema de pre acondicionamiento de agua, inicia el tren de ósmosis inversa. El cual consta de una bomba que eleva la presión necesaria para el permeado del fluido, seguido del tren de membranas de ósmosis inversa.

En la tabla III se muestra las variables de diseño y su definición para cada equipo que conforma el sistema de pre filtración. Se definió la variable, se muestra sus dimensionales y la unidad a utilizarse. Estas variables son fundamentales para un buen diseño y funcionamiento del equipo de pre filtración de agua.

De la misma forma que se definió las variables de diseño para el sistema de pre filtración de agua. En la tabla IV está conformada de las variables de diseño para el tren de ósmosis inversa.

Para diseñar el tren de ósmosis inversa se tomaron en cuenta el análisis físico químico de una muestra de agua tomada en el pozo de una empresa situada en el Masagua, Escuintla. A una temperatura de 33 °C según el Insivumeh (fecha 10-09-2015). En la tabla IV se muestran las variables ingresadas al programa Rosa para el diseño del tren. El programa Rosa maneja una confiabilidad de datos de 80 %.

En la tabla V se pueden observar las variables de entrada y salida de la ósmosis inversa. Obteniendo un TSD de 3,33 en la salida del permeado con un caudal de permeado de 25 GPM. Se obtuvo un 32 % de conversión lo que indica que se deberá alimentar la entrada del tren de ósmosis inversa con un flujo de 78,13 GPM. En él se basara el diseño del sistema de pre filtración de agua. Se diseñó un tren conformado por 4 membranas de ósmosis inversa marca Filmtec modelo BW30-400 (figura 36 y 37). Los datos generales del diseño del tren de ósmosis inversa de muestran en la figura 39.

Para el diseño de prefiltración de agua, se inició con el filtro de sólidos. Se tomó como medio filtrante Turbidex. Es necesario el filtro de sólidos para eliminación de partículas en el agua, estas partículas pueden generar la obstrucción de la membrana de filtración. Disminuyendo la vida de la membrana. En la figura 22 se muestra la hoja técnica del filtro de sólidos. Tomando una razón de caudal de 10 GPM/pie<sup>2</sup> y un caudal de 78,13 GPM, se necesita un tanque de 36" de diámetro (con base en la ecuación 1). Para el caudal de retro lavado de tomo una razón de caudal de 15 GPM/pie<sup>2</sup>, obteniendo un caudal de retro lavado de 117 GPM (con base en la ecuación 5). Todos los datos de diseño de muestran en la tabla VI.

Para el diseño del filtro de carbón activado se tomó como medio filtrante carbón granular NORIT. El filtro de carbón activado es necesario para eliminar

los residuos de cloro y coloides en el agua. Las membranas de poliamidas se ven afectada por el cloro, al utilizar carbón activado aumenta la vida de las membranas. En la figura 23 se muestra la hoja técnica del filtro de sólidos. Tomando una razón de caudal de 10 GPM/pie<sup>2</sup> y un caudal de 78,13 GPM, se necesita un tanque de 36" de diámetro (con base en la ecuación 1). Para el caudal de retro lavado de tomo una razón de caudal de 10 GPM/pie<sup>2</sup>, obteniendo un caudal de retro lavado de 78,13 GPM (con base en la ecuación 5). Todos las datos de diseño de muestran en la tabla VI.

Para el diseño del filtro suavizador, se tomó en cuenta el siguiente criterio de diseño. Para el filtro suavizador se requiere un retro lavado cada 12 horas, se colocaron 2 filtros suavizadores para evitar la falta de agua suave en el sistema de pre filtración. Es necesario utilizar un filtro suavizador, para aumentar la efectividad de las membranas y reducir los riegos de incrustaciones.

Se tomó como medio filtrante la resina de intercambio iónico marca Puro lite C-100 (figura 25). Tomando una razón de flujo volumétrico de 3,5 GPM/pie<sup>3</sup> para un caudal de 78,13 GPM, es necesario 22,29 pie<sup>3</sup> de medio filtrante (con base en la ecuación 6). Se seleccionó un tanque de 36" de diámetro. Para este suavizador es necesario 222,86 lb de sal industrial (con base en la ecuación 7). Para el flujo de retro lavado se tomó una razón de flujo volumétrico de 5,5 GPM/pie<sup>3</sup>, obteniendo un caudal de retro lavado de 122,57 GPM (con base en la ecuación 5). Todos las datos de diseño de muestran en la tabla VI.

Se utilizará el filtro pulidor para disminuir el tamaño de partículas, tanto para aumentar la vida de la lámpara de rayos ultravioleta como para aumentar la vida de las membranas de ósmosis inversa. Para el diseño del filtro pulidor, se calculó el número de cartuchos de 10" para obtener un flujo de 78,13 GPM.

Según la ecuación 2 se obtuvo que es necesario 52 cartucho de 10". Se utilizaron cartuchos Claris marca pall, se obtiene 1,5 GPM por cada cartucho de 10" 1 micra (figura 27). 52 cartuchos de 10" equivalen a 17,33 cartuchos de 30". Dado que no existe housing de 17,33 cartuchos de 30", se seleccionó uno de 20 cartuchos de 30". Se utilizará un *housing* de acero inoxidable 304 marca mini pore modelo CFH-3 (figura 28). Todos los datos de diseño se muestran en la tabla VII.

Para el diseño de la lámpara de rayos ultravioleta se utilizará la marca Steriligth (figura 29 y 30). Las bacterias pseudomona y biofilm obstruyen las membranas de ósmosis inversa, para evitar esto se utiliza rayos ultravioleta que esteriliza las bacterias. Generando una mayor vida de la membrana. Se tiene 78,13 GPM, se utilizan 2 lámparas UV de 39 GPM cada una. Se utilizará el modelo SP720-HO, todos los datos de diseño se muestran en la tabla VII.

En la figura 40 se muestra el diagrama de proceso de la planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa, con descripción de cada uno de los equipos y modelos utilizados.

En la tabla VIII se muestra los gastos de inversión para la fabricación de una planta de acondicionamiento de agua por medio de osmosis inversa. Al utilizar agua de alta calidad, se reduce las incrustaciones en la caldera. Al utilizar agua de ósmosis inversa se debe realizar un mantenimiento preventivo cada 12 meses con coste de 10 000,00, en cuanto al utilizar el agua sin tratar se debe realizar un mantenimiento correctivo cada 3 meses con costo de Q 15 500,00

De la misma forma, se genera una reducción de aplicación de químicos antiincrustantes en la caldera, generando un ahorro de Q 8 500,00 mensuales. Este ahorro se genera por el uso de agua de alta calidad.

Se calculó el valor presente neta para ambos flujos, según la tabla VIII. Obteniendo una recuperación de la inversión en 7,5 años (90 meses). Las referencias de costos de equipo, mantenimiento y costos de químicos antiincrustantes se realizó con base en la cotización solicitada a Corporación Comerrsa. Se manejan costos actuales del mercado, se utilizó la tasa de inflación de 3,25 %. Referente al Banco de Guatemala.



## CONCLUSIONES

1. La planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa consta de un filtro de retención de sólidos, filtro de carbón activado, filtro suavizador, filtro pulidor de 1 micra, lámpara de rayos ultra violeta y el tren de ósmosis inversa.
2. El parámetro de diseño principal para el sistema de acondicionamiento, de agua por medio de ósmosis inversa es el caudal de permeado y la cantidad de solidos disueltos en el fluido, dado que de este depende el caudal para el diseño del equipo de pre filtración. Las razones de caudal de servicio y flujo de servicio volumétrico son fundamentales para el diseño de los filtros de sólidos, carbón activado y suavizador. El diseño del filtro pulidor y lámpara de rayos ultravioleta depende del caudal.
3. Con la aplicación del software de simulación de plantas de ósmosis inversa (Rosa) se obtuvo un agua con un contenido de solidos disueltos de 3,33, 0 dureza y pH 7,37. Agua con alto nivel de pureza ideal para la alimentación de calderas generando una mayor recirculación del agua, disminución de químicos antiincrustantes y consumo combustible (disminución de purgas).
4. La opción de inversión de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa para la alimentación de caldera es factible a los 7,5 años. El valor presente neto de la inversión iguala a los gastos de mantenimiento y aplicación de químicos antiincrustantes.





## RECOMENDACIONES

1. La obtención del análisis físicoquímico de la muestra de agua de un laboratorio confiable, con el equipo adecuado para el cálculo de cada elemento que posea esta. Un análisis físicoquímico confiable es una buena base para el diseño del tren de ósmosis inversa.
2. La utilización de fichas técnicas de los productos para el diseño del equipo es fundamental, dado que hay que tener referencias de proveedores de buena calidad para el buen funcionamiento del equipo.
3. Obtener una cotización de una empresa formal para los elementos a utilizar, genera datos reales para el diseño de la planta de acondicionamiento de agua.
4. La elección de programas de proveedores especialistas en el diseño y producción de equipos. Esto genera una simulación lo más cercana a la realidad.



## BIBLIOGRAFÍA

1. D, Mourato. *Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable*. Canadá. p. 3.
2. EPA. *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Desinfección con luz ultravioleta*. Estados Unidos. 1999. 354 p.
3. EXPÓSITO, Álvaro. *Manual de utilización del software "ROSA" para simulación de ósmosis inversa*. Trabajo de graduación Ing. Industrial, Universidad de Zaragoza, 2001. 140 p.
4. GARCÍA OLMOS, Carlos Francisco. *Aplicación de la ósmosis inversa y la nanofiltración en el acondicionamiento de aguas para calderas*. Trabajo de graduación de Ing. Química, Universidad de Oviedo, 2002. 225 p.
5. MANCILLA OVANDO, Carlos. *Verificación de un sistema de purificación de agua para producción de una industria cosmética*. Trabajo de graduación Lic. Químico Biólogo, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad De Ciencias Químicas Y Farmacia 2004. 196 p.
6. Pall Corporation. *Data Sheet Claris Series Filter Cartridges*. USA: Prentice-Hall, 2001. p. 2.

7. PERRY, Robert H. y GREEN, Don W. *Manual de ingeniero Químico*. 8a ed. Estados Unidos: McGraw Hill. 2008. Sección 12. 238 p.

## APÉNDICE

Apéndice 1. **Diagrama de proceso de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa**



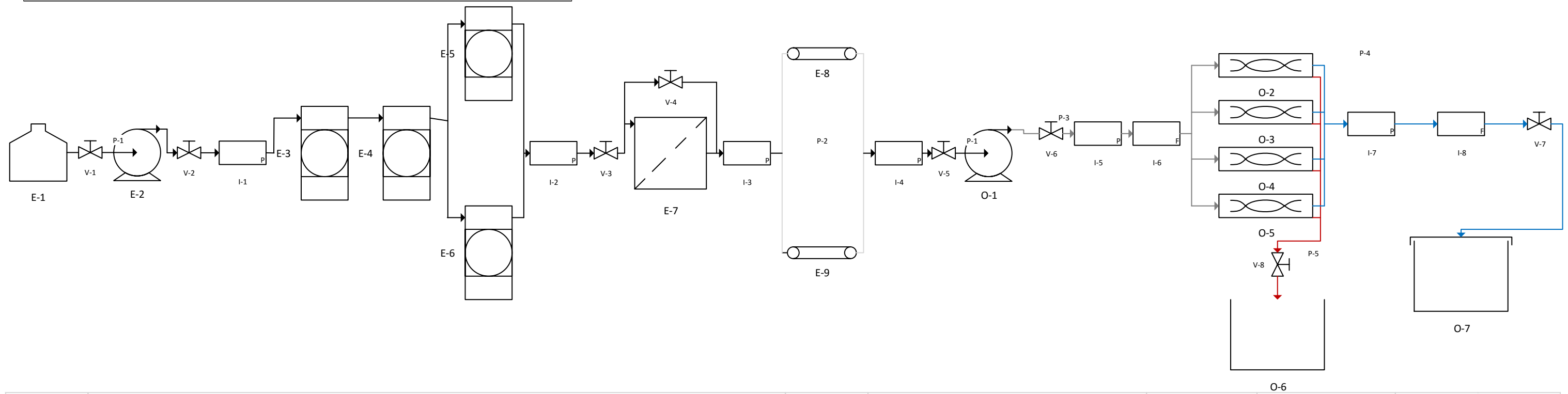
Figura 40. Diagrama de proceso de una planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa

Lista de equipamiento				
Texto mostrado	Descripción	Fabricante	Material	Modelo
E-1	Tanque	Rotoplast	PVC	N/A
E-2	Bomba		Hierro	N/A
E-3	Filtro	EWS	Fibra de vidrio	EWS-FP136A
E-4	Filtro	EWS	Fibra de vidrio	EWS-CA136A
E-5	Filtro	EWS	Fibra de vidrio	EWS-S136A
E-6	Filtro	EWS	Fibra de vidrio	EWS-S136A
E-7	Housing CFH-3 Series	Minipore	Al 304	20 Round - 30"L
E-8	Lampara 40 mJ/cm2	Steriligh	Al 304	SP950-HO
E-9	Lampara 40 mJ/cm2	Steriligh	Al 304	SP950-HO
O-1	Bomba		Al 304	N/A
O-2	Membrana	Filmtec	Polyamide	BW30-400
O-3	Membrana	Filmtec	Polyamide	BW30-400
O-4	Membrana	Filmtec	Polyamide	BW30-400
O-5	Membrana	Filmtec	Polyamide	BW30-400
O-6	Tanque	Rotoplast	PVC	N/A
O-7	Tanque	Minipore	Al 304	N/A

Lista de válvulas					
Texto mostrado	Descripción	Diámetro	Clase de válvula	Fabricante	Modelo
V-1	Valvula	2 1/2"	Valvula de bola	EWS	DN75
V-2	Valvula	2 1/2"	Valvula de bola	EWS	DN75
V-3	Valvula	2 1/2"	Valvula de bola	EWS	DN75
V-4	Valvula	2 1/2"	Valvula de bola	EWS	DN75
V-5	Valvula	2 1/2"	Valvula de bola	EWS	DN75
V-6	Valvula	2 1/2"	Valvula de bola	EWS	DN75
V-7	Valvula	2"	Valvula de bola	EWS	DN50
V-8	Valvula	1 1/2"	Valvula de bola	EWS	DN40

Lista de instrumentos					
Texto mostrado	Descripción	Tamaño de la conexión	Servicio	Fabricante	Modelo
I-1	Manómetro	2 1/2"	80 GPM	Minipore	Y-75ZT
I-2	Manómetro	2 1/2"	80 GPM	Minipore	Y-75ZT
I-3	Manómetro	2 1/2"	80 GPM	Minipore	Y-75ZT
I-4	Manómetro	2 1/2"	80 GPM	Minipore	Y-75ZT
I-5	Manómetro	2 1/2"	80 GPM	Minipore	Y-75ZT
I-6	Rotámetro	2 1/2"	80 GPM	Minipore	LZS-150
I-7	Manómetro	1 1/2"	25 GPM	Minipore	Y-75ZT
I-8	Rotámetro	1 1/2"	25 GPM	Minipore	LZS-150

Lista de canalizaciones						
Texto mostrado	Descripción	Diámetro	Color	Presión de diseño	Temperatura de diseño	Cantidad
P-1	Tubería PVC	2 1/2 "	Negro	60 psi	35 °C	2
P-2	Tubería PVC	1 1/2 "	Gris claro	60 psi	35 °C	1
P-3	Tubería PVC CED 40	2 1/2"	Gris oscuro	250 psi	35 °C	1
P-4	Tubería PVC CED 40	1 1/2"	Azul	250 psi	35 °C	1
P-5	Tubería PCV CED 40	2"	Rojo	250 psi	35 °C	1

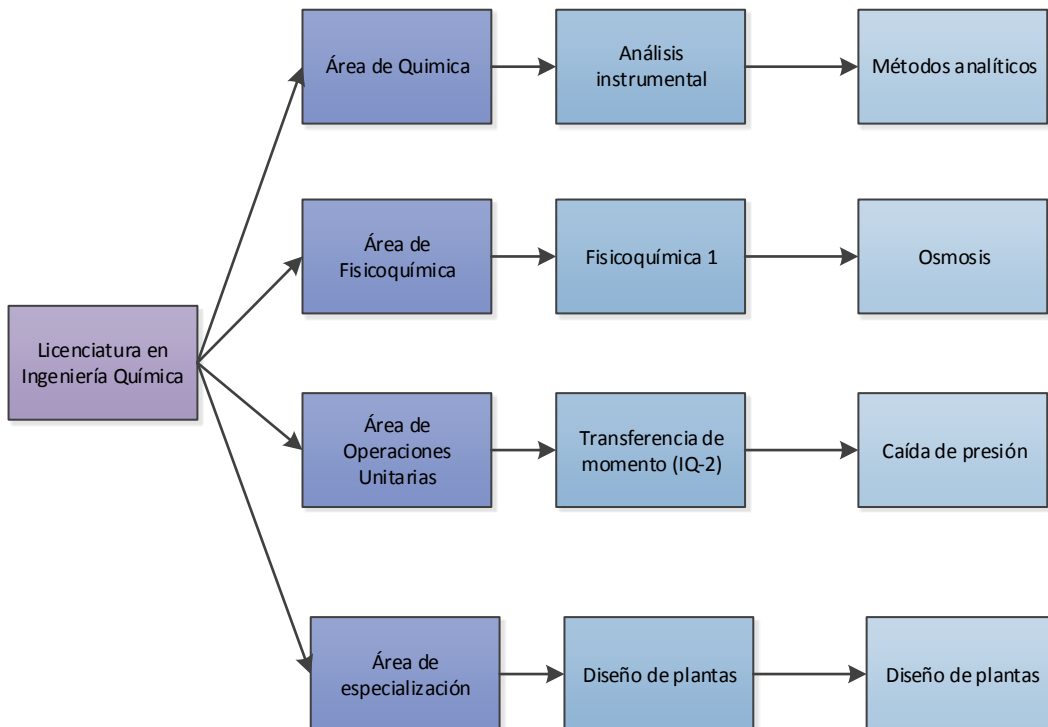


Plano de:	Planta de acondicionamiento de agua por medio de ósmosis inversa	Diseño:	Angel Leonel Aragón Monasterio	No. Carnet	201021236
Tema:	“DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA, PARA LA DISMINUCIÓN DE INCRUSTACIONES EN CALDERAS GENERADAS POR EL ALTO CONTENIDO DE SOLIDOS DISUELTOS.”	Dibujo:	Angel Leonel Aragón Monasterio	Fecha:	11/10/2015

Fuente: Elaboración propia

## ANEXOS

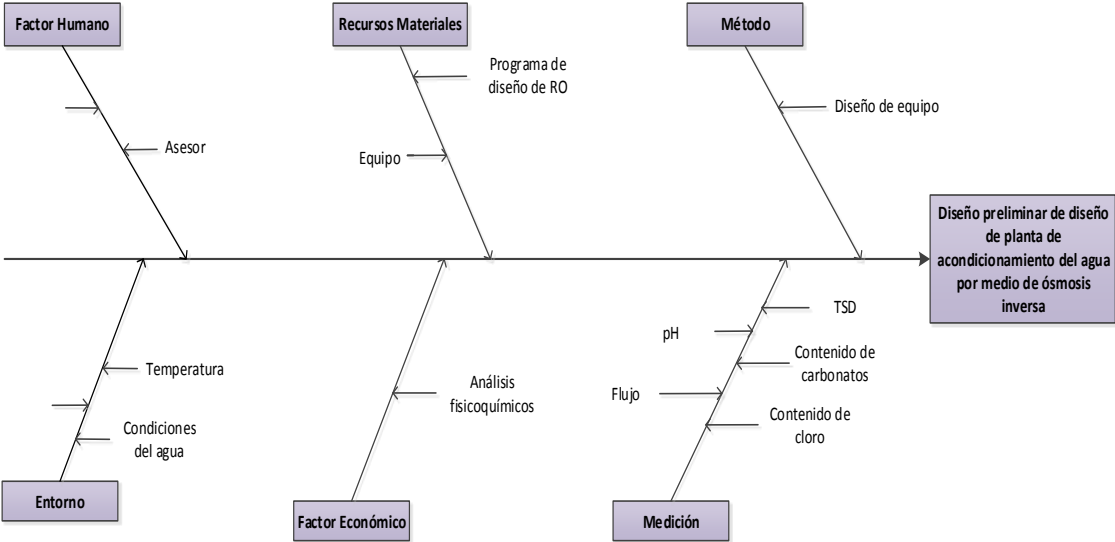
Anexo 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: Corporación Comerssa.



Anexo 2. Diagrama ishikawa



Fuente: Corporación Comersa.

## Anexo 3. Cotización Corporación Comerrsa



F1101
Versión 01
Emisión: 2015
Página 1 de 1

Cotización 2015-0043

Fecha: 12 octubre 2015

Km. 26.5 carretera a El Salvador, cruce a Sta. Elena Barillas  
Villa Canales, Guatemala

COMERRSA, S. A.  
NIT: 191639-4

**ATENCIÓN A:**  
Angel Leonel Aragon Monasterio

**PREPARADO POR:**  
Alfredo Gonzalez  
Directo: (502) 6641-7294  
CEL (502) 31701806

Nuestra Propuesta:

Renglón	Descripción	Cantidad	Precio	Total
1	Membranas de ósmosis inversa	4	Q6,400.00	Q6,400.00
2	FILTRO DE SEDIMENTO AUTOMATICO EWS-FP136A	1	Q54,829.00	Q54,829.00
3	FILTRO DE CARBON ACTIVADO AUTOMATICO EWS-CA136A	1	Q41,497.00	Q41,497.00
4	SUAVIZADOR AUTOMATICO POR CAUDAL EWS-S136AC	2	Q63,608.00	Q63,608.00
5	Housing CFH-3 Series 20 Round - 30"L	1	Q20,000.00	Q20,000.00
6	cartuchos 30" 1 micra	20	Q76.00	Q76.00
7	Sistema Steriligh Serie Platinum modelo SP720-HO con capacidad cada una de atender 39 GPM	2	Q22,900.00	Q22,900.00
8	Tubería PVC y accesorios	1	Q6,000.00	Q6,000.00
9	Valvulas DN75 2 1/2" EWS	6	Q800.00	Q800.00
10	Valvulas DN50 2" EWS	1	Q600.00	Q600.00
11	Valvulas DN40 1 1/2" EWS	1	Q450.00	Q450.00
12	Medidores de flujo LZ5-150 minipore	2	Q400.00	Q400.00
13	manómetros Y-752T minipore	6	Q600.00	Q600.00
14	Bomba bost	1	Q30,000.00	Q30,000.00
15	Bomba principal	1	Q50,000.00	Q50,000.00
16	Instalación	1	Q50,000.00	Q50,000.00
17	Housing para membrana 4x40	4	Q908.00	Q908.00
18	Consumo de químicos anti incrustate (consumo mensual)	1	Q9,500.00	Q9,500.00
19	Mantenimiento correctivo de caldera (trimestral mente)	1	Q15,500.00	Q15,500.00
20	Mantenimiento preventivo de caldera (trimestral mente)	1	Q10,000.00	Q10,000.00
Precio incluye IVA				

Tiempo de Entrega: <b>inmediata</b>
Precio: <b>Quetzales</b>
Forma de Pago: <b>Contado</b>
Validez de la oferta: <b>30 días</b>
Tiempo y condiciones de la garantía:

<b>TOTAL</b>	<b>Q384,068.00</b>

Atentamente,

Alfredo Gonzalez  
COMERRSA

www.comerrsa.com  
ventaspa@comerrsa.com

Fuente: Corporación Comerrsa.

