

PROYECTO FINAL

Rediseño de equipo de tratamiento de agua
de General Villegas

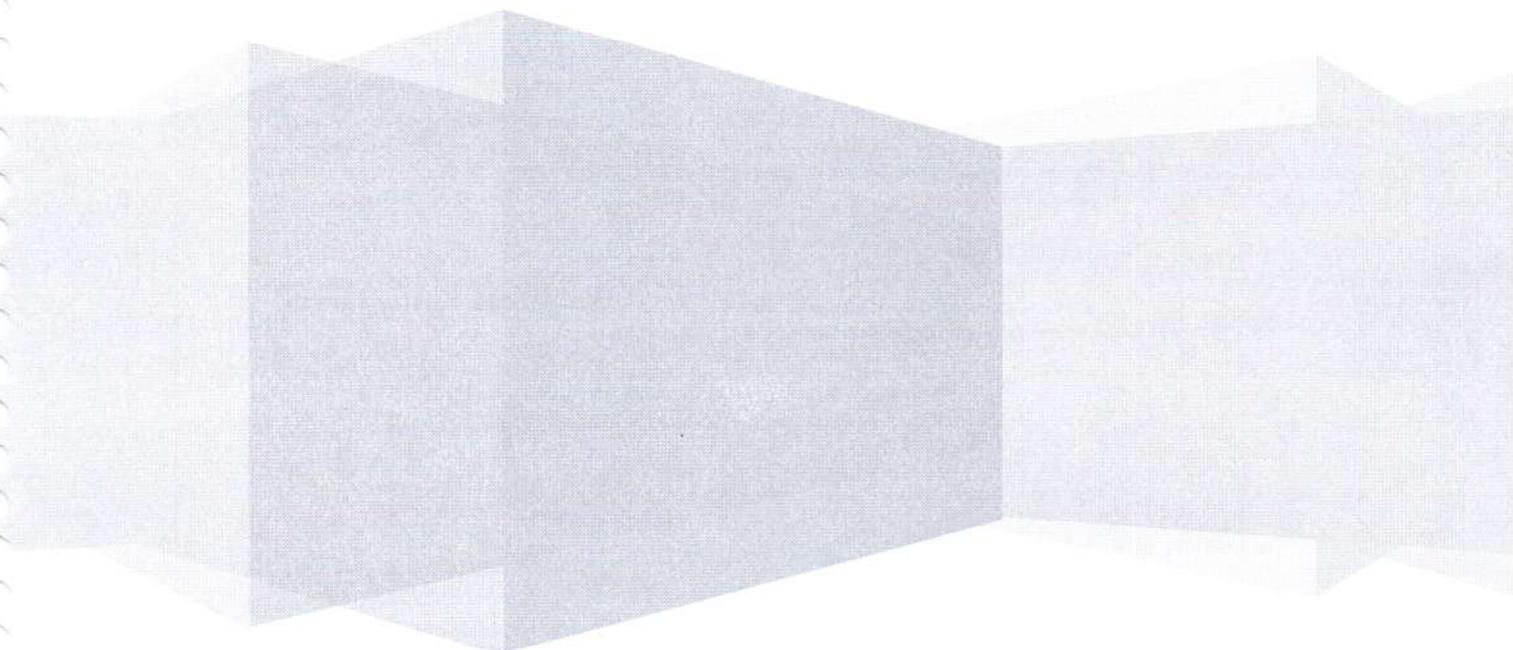
Cabral Eduardo

Piccio Sandra

Vernengo Rodolfo

Director de Proyecto: Ing. Márquez Aníbal

Codirector de Proyecto: Ing. Claudio Dimenna





RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INDICE

CAPITULO 1	6
1. Reseña histórica de General. Villegas, problemática del agua.	6
1.1. Introducción	7
1.2. Antecedentes	10
1.3. Factibilidad:	13
CAPITULO 2	14
2. Características del agua.....	14
2.1. Introducción	15
2.2. La salinidad del agua.....	15
2.3. Composición química del agua	17
2.3.1. Sodio.....	18
2.3.2. Calcio y Magnesio	18
2.3.3. Cloro	19
2.3.4. Sulfatos	20
2.3.5. Carbonatos y Bicarbonatos	20
2.3.6. Nitratos.....	21
2.3.7. Hierro.....	22
2.3.8. Manganeso	22
2.3.9. Sílice.....	23
2.3.10. Flúor.....	23
2.3.11. Arsénico.....	24
2.3.12. Bario y Estroncio	24
2.3.13. Aluminio	24
2.4. Gases disueltos	25
2.4.1. Oxígeno disuelto	25
2.4.2. Sulfhídrico.....	26
2.4.3. Dióxido de carbono.....	26
2.5. Temperatura.....	27
2.6. Otros parámetros característicos del agua	27
2.6.1. pH	27
2.6.2. Alcalinidad	28

2.6.3.	Dureza.....	28
2.7.	Características generales del agua en relación con las membranas	28
2.7.1.	Agua salobre	29
2.7.2.	Agua de mar	31
2.8.	Formas de expresar un análisis.....	31
2.9.	Solubilidad de las sales	33
2.10.	Análisis físico-químico del agua a tratar	34
CAPITULO 3		35
3.	Tipos de tratamientos del agua	35
3.1.	Toma de agua:	36
3.1.1.	Toma cerrada.....	36
3.1.2.	Toma abierta	36
3.2.	Pre tratamiento físico	37
3.2.1.	Filtro de arena	37
3.2.2.	Filtro de cartucho	37
3.2.3.	Filtro multimedia o precapa.....	38
3.2.4.	Microfiltración	39
3.2.5.	Osmosis Inversa	40
3.2.6.	Ultrafiltración	40
3.3.	Pre tratamiento químico	41
3.3.1.	Desinfección	41
3.3.2.	Equipo de regulación de pH.....	42
3.3.3.	Equipo dosificador de coagulante.....	43
3.3.4.	Dosificación del reductor	43
3.3.5.	Aplicación de estabilizantes	43
3.3.6.	Sistema de disolución	44
3.3.7.	Mezcladores	44
3.3.8.	Agitadores.....	44
CAPITULO 4		46
4.	Definición de las instalaciones necesarias	46
4.1.	Etapas del proceso propuesto.	47
4.2.	Descripción de los procesos principales de la Planta de Tratamiento de Agua.	49
4.2.1.	Cloración.....	50
4.2.2.	Proceso de filtración:	54
4.2.3.	Descripción del carbón activado:	54

4.2.4. Osmosis inversa	59
CAPITULO 5	60
5. Cálculo mecánico.....	60
5.1. Introducción	61
5.2. Definiciones y formulas	64
5.3. Diseño y verificación del equipo existente.	72
5.3.1. Cálculo de equipo de bombeo baja presión.....	72
5.3.2. Cálculo de los Filtros Multimedia.....	77
5.3.3. Cálculo de Filtros de carbón activado	79
5.3.4. Cálculo de Ósmosis Inversa.....	81
CAPITULO 6	83
6. Cálculo de potencia y control.	83
6.1. Cálculo de potencia	84
6.1.1. Diseño de la instalación	85
6.1.2. Cálculo de cortocircuito	90
6.1.3. Selección de las protecciones	99
6.1.4. Unifilar	103
6.2. Control.....	104
6.2.1. Descripción del Control del proceso	104
6.2.2. Descripción de las etapas del control del proceso	104
6.2.3. Modos de operación:.....	107
CAPITULO 7	115
7. Estimación del costo de rediseño y funcionamiento	115
7.1. Estimación de costos	116
Apéndices.....	121
Bibliografía.....	133

CAPITULO 1

1. Reseña histórica de General. Villegas, problemática del agua.

1.1. Introducción

En la localidad de General Villegas, Pcia. de Bs. As. existe una planta de osmosis inversa para abastecer de agua potable a la localidad. Esta planta, a poco de su puesta en marcha en el año 2006 quedó fuera de servicio por diversos motivos. El objetivo del presente trabajo es el estudio de las causas del fallo, el rediseño y propuesta de modificaciones para la puesta en marcha de dicha planta.

El proyecto se dividió en cuatro etapas principales:

1. *Etapas de relevamiento general del equipo:*

Se realizó una observación preliminar de la planta, un relevamiento de las partes faltantes y de la aptitud para el servicio de la totalidad del equipamiento.

Se detectó:

- Ausencia de bombas para impulsar el agua producto al tanque de almacenamiento.
- Falta de elemento para la eliminación del cloro del agua de alimentación.
- Carencia de una de las tres bombas de baja presión a la entrada del sistema.
- Deterioro de cañería rechazo y con alto nivel de corrosión.
- Elementos de medición y neumáticos obsoletos.
- Inexistencia de los elementos principales del gabinete eléctrico.

2. *Etapas de análisis de la falla:*

Se llevo a cabo un estudio de las causas que provocaron la falla, y a partir de los resultados se infirieron posibles daños internos no detectables en el relevamiento preliminar.

Se estableció que las causas raíz de la falla fueron:

- Ausencia de inhibidor de cloro, elemento que dañó de manera irreversible a las membranas de la ósmosis inversa.
- Insuficiencia de dimensiones de la cañería para el caudal de agua de rechazo del sistema de osmosis inversa.

3. *Etapa de cálculo y diseño:*

En esta etapa se completó la definición de modificaciones necesarias para la puesta en marcha de la planta, los procedimientos de operación y mantenimiento de la instalación, (Tabla 1.1).

Las modificaciones propuestas son:

- Modificar los manifolds de los filtros multimedia para poder retrolavarlos en forma individual, optimizando el proceso. Aprovechando que había que cambiar las válvulas y el sistema neumático de apertura por ser obsoleto.
- Cambiar el medio filtrante por Zeolita, dependiendo de un solo medio, salvo la grava de soporte.
- Agregar una batería de filtros de carbón activado, 12 en total, para la inhibición del cloro. Serán tanques de PRFV con cabezales automáticos. Ya que son de fácil reposición en caso de dañarse alguno y pudiendo funcionar sin perder la producción de agua con hasta dos tanques menos (uno dañado y otro retrolavándose). Esta opción es más conveniente que hacer tanques de acero inoxidable (tres en total), los cuales se verán afectados a la corrosión por la alta cantidad de cloruros presentes en el agua, y además cañerías de mayor diámetro por el retrolavado de uno de ellos y si uno sale de servicio se verá afectada la producción de agua.
- Colocar un ORP (mide potencial oxido reducción) para detectar la presencia de cloro, y en caso de haber se detendrá el equipo.
- Agregar una bomba de alimentación, de baja presión, al sistema, igual a las tres existentes para que el sistema pueda operar al máximo caudal necesario. Y agregar otra bomba de iguales características como soporte por si alguna sale de servicio, ésta entre inmediatamente en operación.
- Colocar dos bombas iguales a las de alimentación en la salida del agua producto para impulsar la misma al tanque general, situado a 20 mts. de altura.
- Verificar los diámetros de la cañería existentes, estando correctos salvo el de rechazo de las osmosis, el cual es demasiado chico lo que provoca un daño irreversible en las membranas por incrustaciones. Reemplazar una cañería de diámetro 1½" por otra de 2½" para estar en el punto de operación.
- Cambiar todas las válvulas actuadas, ya que los actuadores existentes son obsoletos y las válvulas se encuentran corroídas.
- Realizar por completo toda la instalación eléctrica, calculando las secciones de los cables en los tramos principales.

- Reparar y/o reemplazar algunas partes y/o tramos de cañería existente.
- Reponer por completo el interior del tablero eléctrico, tanto de potencia como de señal.
- Automatizar prácticamente todo el sistema mediante un PLC (modulo de control lógico)
- Señalización de fallas de rápida detección por parte del personal a cargo del relevamiento y operación del equipo.
- Colocar en el tablero de mandos diagramas de proceso simplificados para facilitar la tarea de los operarios

Tabla 1.1

<i>Problemas detectados</i>	<i>Soluciones recomendadas</i>
Membranas oxidadas por el Cloro, lo que aumenta el tamaño del poro	Reemplazar las mismas. Colocar un sistema que permita la eliminación de esta sustancia antes de la entrada al tren de osmosis.
Cañería de Rechazo de dimensiones insuficientes	Reemplazar en su totalidad por el diámetro correcto
Contenido de filtros multimedia en mal estado por estar años en contacto con agua estancada.	Reemplazar en su totalidad. Pueden reutilizarse los tanques de PVC.
Elementos de medición altamente corroídos u obsoletos.	Realizar el cambio de todos ellos para una mayor confiabilidad en la medición.
Cañerías de paso con posibles daños debido al tiempo de desuso	Realizar los cambios de los tramos afectados
Diferente tipos de válvulas con posibles daños debido al tiempo de desuso	Reemplazar en su totalidad.
Cartuchos de polipropileno de los filtros anteriores al ingreso a la osmosis en mal estado a causa del tiempo de desuso	Reemplazar en su totalidad.

4. *Etapa de análisis de costos:*

Se efectuó un cómputo del costo de la totalidad de las modificaciones propuestas, incluyendo la puesta en servicio del equipo y se comparó contra el costo de un equipo nuevo de similares características. El análisis justifica la inversión

1.2. Antecedentes

Este equipo fue adquirido por el Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación, en el año 1996, para ser utilizado en la localidad de General Villegas, la cual no cuenta con agua potable.

Este equipo quedó fuera de servicio al momento de la puesta en marcha, principalmente por la presencia de cloro en el agua, lo que dañó en forma irreparable las membranas de osmosis inversa.

En el año 2005, personal de Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA), se comunicó con una empresa marplatense dedicada al equipamiento en tratamiento y purificación de aguas con el fin de poner en marcha nuevamente la planta, desconociendo cuales eran los motivos que habían dado origen a la fuera de servicio de la instalación. Este proyecto no fue tenido en cuenta por dicha empresa y fue archivado.

En la búsqueda de un tema para nuestro proyecto final nos pusimos en contacto con el Ingeniero Amadeo Dramis, oriundo de la localidad de General Villegas y actualmente trabajando en la empresa marplatense consultada originalmente, quien puso a nuestra disposición el informe que había sido presentado originalmente por la compañía ABSA. Este informe inicial contaba con muy pocos datos técnicos y sin un análisis de la calidad del agua a tratar.

Con este desafío viajamos hasta el lugar donde está instalado el equipo para poder hacer un relevamiento del mismo, detectar cuales fueron las causantes de su tan breve funcionamiento para luego poder realizar un primer análisis de viabilidad y brindar una solución para la puesta en marcha.

También en este viaje tomamos muestras de agua (tres) que fueron analizadas por un reconocido laboratorio de nuestra ciudad y en el cual pudimos comprobar que esta incumple las especificaciones del Código Alimentario Argentino (CAA, ver apéndice anexo 1-A) lo cual la convierte en un producto no apto para el consumo humano.

La ciudad de General Villegas es la cabecera del partido homónimo, ubicada en el extremo noroeste de la provincia de Buenos Aires (Figura 1.1), contando en el año 2010 con una población de 30.916 habitantes.

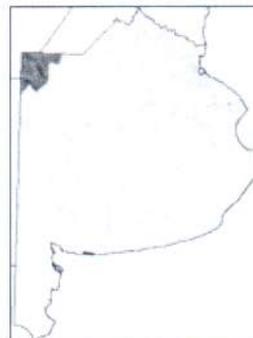


Figura 1.1

Tienen dos fuentes principales de agua, ambas obtenidas de capas subterráneas, cuyos caudales máximos son 100.000 l/h en una de ellas y la otra 200.000 l/h, teniendo ambas similar composición fisicoquímica.

Actualmente la empresa prestadora de servicios de agua, radicada en la ciudad de General Villegas, ABSA, cuenta con un equipo de osmosis inversa que produce 2.000 l/h de agua potable para embotellar y abastecer a la población fraccionándola en bidones de 10 litros, a los que hoy en día acceden muy pocas familias, debido a que para poder obtener este beneficio las mismas deben tener el pago del servicio al día y trasladarse hasta la planta para poder retirar los 2 bidones diarios que le corresponden.

De las conversaciones mantenidas con los vecinos surge que una fracción importante de la población no realiza el pago del servicio, por la mala calidad del agua que llega a sus domicilios y por la incomodidad de retirar los bidones que se entregan sólo en la planta de la empresa. Muchos de ellos realizan pozos propios y contratan servicios privados para la provisión de agua potable.

Con el equipo de osmosis inversa en servicio se producirá una mayor cantidad de agua, pudiendo ser distribuida directamente por las cañerías y no sería necesario el embotellamiento y expendio de los bidones.

El equipo que analizaremos en este proyecto, fue adquirido sin un adecuado estudio, al igual que una veintena de ellos comprados en la misma licitación, teniendo como destino final varias localidades de la provincia de Buenos, que no contaban con plantas potabilizadoras de agua.

En otras palabras, el equipo no podía ser utilizado tal y como fue entregado al municipio sin hacerle previas modificaciones para adecuarlo al agua que debía potabilizar.

El equipo fue construido e instalado por la empresa española Sebekar, respondiendo a la licitación correspondiente al decreto 851/95 del Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación. Cabe destacar que esta empresa no formó parte de la puesta en marcha inicial del equipo.

Un equipo de osmosis inversa cuenta generalmente con una sucesión ordenada de pasos, que como desarrollaremos en los siguientes capítulos tiene una lógica de aplicación (figura 1.2).

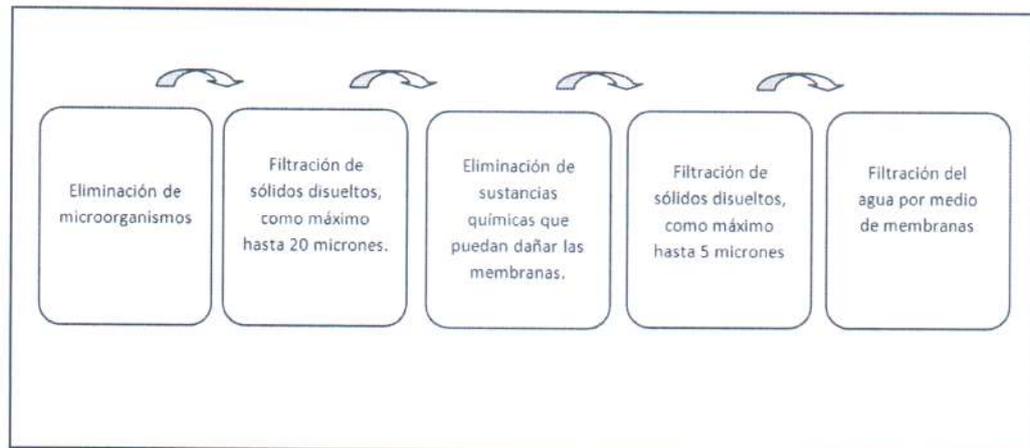


Figura 1.2

En la primera inspección visual que realizamos, se observó que la eliminación de microorganismos se realizó mediante la dosificación controlada de cloro. El cloro libre presente en el agua daña de manera irreparable las membranas de osmosis inversa.

Las membranas son el componente principal del equipo, construidas en poliamida y polisulfona, materiales altamente corrosibles, siendo de suma importancia la eliminación del cloro

El equipo no presenta ningún tipo de filtro para este fin, ya que no se tuvo en cuenta la incorporación de cloro como parte del pre-tratamiento.

Observamos que la cañería de rechazo (corriente de agua con concentración de sales) es de un diámetro menor que el que correspondería para el punto de operación de acuerdo al tipo de agua de la zona.

Estos dos graves inconvenientes desencadenaron en que una vez iniciada la puesta en marcha, el equipo entregara agua potable solamente durante un par de horas, presentando la falla que obligo a detenerlo, quedando fuera de servicio desde aquel momento.

1.3. Factibilidad:

En base a los estudios realizados, se comprueba la factibilidad técnica y económica de nuestro proyecto.

Se obtiene un ahorro de 40% con respecto al reemplazo por un equipo nuevo y al entrar en servicio el equipo, se sumaría a la producción 100.000 l/h. La empresa hoy solo produce 2.000 l/h de agua para consumo humano.

La puesta en marcha de la instalación permitiría reanudar la distribución domiciliaria mediante la red. Los sondeos de opinión realizados indican que la comunidad comenzaría a pagar el servicio dado su practicidad, además de todos los beneficios en temas de salud.

La ejecución del proyecto y la operación de la planta redundarán en la promoción de proveedores de insumos y de la mano de obra local.

Este proyecto podría ser evaluado como experiencia piloto, ya que es extensible, con leves adaptaciones, al resto de los 20 equipos instalados en varias localidades de la provincia.

CAPITULO 2

2. Características del agua

2.1. Introducción

Dado el diferente origen del agua que es susceptible de ser desalada y por consiguiente sus distintas características físico-químicas, es conveniente antes de seguir adelante repasar, aunque sea de una manera muy superficial, algunos aspectos de la misma que pueden tener incidencia en la forma de realizar el diseño y/o en las precauciones que deben tomarse, para lograr un funcionamiento continuo y sin grandes alteraciones de la instalación en desaladoras.

Cuatro son las características básicas que definen un agua desde el punto de vista químico:

- Conductividad eléctrica o salinidad.
- Dureza.
- pH.
- Anhídrido carbónico libre.

Puede decirse que aunque las cuatro están relacionadas con la composición química del agua, la primera es una característica más general que proporciona una idea de conjunto, mientras las otras tres recogen aspectos más concretos que, en relación con la desalación, deben tenerse en cuenta en el diseño y operación de las instalaciones desaladoras.

2.2. La salinidad del agua

La salinidad de un agua es el contenido total de sales del mismo.

Al hablar de la salinidad es necesario saber de qué tipo de agua estamos hablando. No es lo mismo un agua de mar con un contenido de sales totales de 30.000 ppm, que un agua salobre de 3000 ppm. Incluso un agua de una salinidad determinada como 2000 ppm tiene un comportamiento o aplicación muy diferente según que esa salinidad la determinen los cloruros o sea causada por carbonato o sulfatos.

A lo largo de los años se han establecido diferentes clasificaciones de agua, basadas fundamentalmente en el tipo de aplicación que se le va a dar a la misma. Son lógicamente diferentes las que se establecen con fines agrícolas, que aquellas dedicadas a la industria o al abastecimiento urbano.

En el siguiente cuadro se recoge un espectro de las diferentes salinidades que puede tener un agua, que no tiene otro sentido que indicar las grandes variaciones a que puede estar sometida y de ella debe inferirse que cada una de ellas tendrá unas

aplicaciones concretas o unas limitaciones en función del uso que se quiera hacer de la misma (Tabla 2.1).

Espectro de salinidades del Agua

Espectro de Salinidades TDS	Salmuera	300000	ppm
	Agua de mar	30000	ppm
	Agua salobre	3000	ppm
	Agua potable	300	ppm
	Agua industrial	30	ppm
	Agua desionizada	3	ppm
	Agua pura de calderas	0,3	ppm
	Agua ultrapura	0,03	ppm

Tabla 2.1

Aunque la mayoría de las instalaciones de ósmosis inversa se realizan para tratar aguas que corresponden a los espectros nominales como agua salobre o de mar, también las aguas potables o las industriales suelen ser objeto de estos tratamientos, aunque con fines bastante distintos de la simple reducción del contenido de las sales a niveles de agua de consumo humano.

La salinidad se expresa como residuo seco a 105 °C o TDS¹ y se mide normalmente en mg /l o ppm.

Su determinación se realiza pesando una muestra de agua, que se lleva a una estufa en la que se calienta hasta la temperatura de 105°C. Se pesa la muestra nuevamente y la diferencia en peso de la muestra antes y después es el valor buscado.

Como esta determinación es lenta y requiere la toma de una muestra y su traslado a un laboratorio de análisis, en los procesos industriales en que se precisa tener un control instantáneo del proceso no se determina este valor, si no la conductividad eléctrica, dado que este parámetro, al contrario de la anterior, si puede medirse de forma rápida y bastante precisa.

La conductividad eléctrica es, al contrario de la resistencia eléctrica, la facilidad o habilidad que tiene una sustancia para conducir la corriente eléctrica.

Un agua químicamente pura no conduce la corriente, pero a medida que se van disolviendo en ella distintos elementos se va haciendo conductora y cuanto mayor cantidad de elementos disueltos contiene, más conductora será.

Pero la conductividad eléctrica de un agua determinada no es un parámetro constante sino que depende de la temperatura, aumentando su valor al hacerlo ésta. Por ello, para poder realizar comparaciones es preciso una referencia y, así, la conductividad queda definida a una temperatura determinada, que según los Métodos Oficiales vigentes es de 20 °C.

¹ TDS, es la cantidad de sólidos disueltos en el agua principalmente de las sales minerales.

A medida que aumenta la conductividad de un agua, también lo hace su poder de corrosión, de modo que las aguas con alta conductividad son muy corrosivas a pesar de que otras de sus propiedades pueden no indicar tales problemas.

Como unidad de conductividad se utiliza el Siemens/cm (S/cm), pero como esta unidad resulta muy grande es más frecuente expresar las lecturas en sub-unidades más pequeñas como mS/cm. Lógicamente existe una relación entre la conductividad eléctrica (CE) y la salinidad, lo que permite el paso inmediato de una a otra unidad, aunque dicha relación no es rigurosamente fija y exacta.

En un agua natural, por ejemplo, el coeficiente de paso aproximadamente entre una y otra magnitud es de 0,64 o múltiplos de este valor según cuáles sean las unidades elegidas, es decir que:

$$TDS(mg/l) = CE(\mu S/cm) * 0,64 = CE \frac{mS}{cm} * 640$$

Pero esta relación es algo distinta en otros tipos de aguas, en función de la composición química de estas.

Por ejemplo en las aguas desaladas por ósmosis inversa, como dichas aguas contienen más sodio y cloruros que calcio, manganeso, y sulfatos, al rechazar mejor las membranas los iones divalentes o trivalentes que los monovalentes, las concentraciones de aquellos suelen ser de 2,13 y 2,14 $\mu S/cm$.

Por esta razón, de forma aproximada, puede obtenerse el TDS de un agua producto dividiendo su conductividad por 2, o multiplicando por 0,5 (valores de 0,51 a 0,53 son más exactos).

La forma más exacta de determinar esta relación consiste lógicamente en tomar una muestra de agua y determinar tanto la salinidad total en laboratorio, como la conductividad instantánea, estableciendo entre ambos resultados el coeficiente de paso adecuado.

2.3. Composición química del agua

Dada la variedad de elementos que pueden encontrarse en el agua y que son los causantes de la salinidad, conviene representar cuáles son estos elementos, su origen o las causas que provocan su presencia en el agua, sus efectos en el usuario final del agua, principalmente la agricultura y el consumo humano y por último la importancia de su contenido en relación con su posible efecto sobre las membranas.

No todos los elementos se encuentran en las mismas proporciones por lo que debe hacerse una primera separación entre elementos principales, que son los más abundantes, y los elementos secundarios o micro-elementos, que aún encontrándose

en pequeña proporción pueden ser negativo para la salud humana, las plantas o las propias membranas de desalación por los precipitados que pueden provocar sobre las misma. Entre los primeros se encuentra:

2.3.1. Sodio

Es el metal alcalino más frecuente en la composición de las aguas y además el único presente en cantidades significativas en las aguas naturales. Todos los compuestos sódicos son solubles, por lo que el sodio lavado de rocas y suelos permanece siempre en solución. Esto significa que los compuestos de sodio no precipitan sobre las membranas.

En el agua de mar es con mucha diferencia el ión metálico más abundante, en concentraciones de alrededor de 10.000 mg/l. En otras aguas, en cambio, pueden existir otros iones metálicos como calcio o incluso magnesio que predominen. El sodio se encuentra en el agua en forma de cloruro, carbonato o bicarbonato sódico. No contribuye a la dureza del agua, sin embargo las aguas subterráneas que contienen cantidades importantes de carbonato y bicarbonato sódico son alcalinas y pueden tener pH de 9 o superiores.

Según que el uso que vaya a darse del agua desalada sea el abastecimiento humano o la agricultura, existen unos contenidos máximos que no deben rebasarse y que vienen determinados por la influencia del sodio en los problemas cardiovasculares, para el primero, y su contribución al deterioro e impermeabilidad de la estructura del suelo, en el segundo.

En cuanto a su incidencia agrícola, aunque la mayoría de los cultivos arbóreos y plantas leñosas, como cítricos, etc., son sensibles al sodio, existen diversos criterios que en general analizan el contenido del sodio en relación con otros iones que pueden estar presentes en el agua.

2.3.2. Calcio y Magnesio

Se encuentran en todas las aguas y son especialmente abundantes en las aguas subterráneas. Forman parte de numerosas sales por lo que su influencia en las características depende del tipo de sales en que estén presentes.

Contribuyen conjuntamente al establecimiento de la Dureza del agua, que está causada fundamentalmente por las sales que forman estos dos elementos con los bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos.

Ambos son responsables en gran medida de las incrustaciones que se produce cuando el agua experimenta cambios en la temperatura, pH y presión.

Las precipitaciones se desarrollan cuando se rebasan los límites de solubilidad de las citadas sales, rompiéndose el equilibrio de la solución y dando lugar a la formación de carbonato insoluble de estos metales y en ocasiones de sus sulfatos. Los iones bicarbonato se encuentra en el agua subterránea como resultado del dióxido de carbono disuelto (CO_2), que ayuda a la disolución de la cal y dolomita.

El CO_2 está ligeramente unido al ión bicarbonato, perdiéndose parte del mismo al calentar el agua, en forma de gas. Cuando esto ocurre parte de los bicarbonatos pasan a carbonatos. Estos a su vez reaccionan con el Calcio y Magnesio y precipitan. Primero lo hace el carbonato cálcico que es más insoluble y posteriormente el de Magnesio.

El contenido máximo de magnesio de un agua destinada al consumo humano no debe sobrepasar los 50 mg/l, pero para que el calcio no existe límites claros, aunque niveles de 1000 mg/l se han encontrado problemas.

Desde el punto de vista agrícola los problemas que generan el calcio y magnesio en el riego son indirectos, puesto que bloquea la absorción de otros elementos por la planta y favorecen las incrustaciones de carbonatos en los elementos de riego como aspersores y goteros.

2.3.3. Cloro

El elemento más abundante en el agua de mar, donde alcanzan concentraciones media de unos 20.000 mg/l.

Su origen es difícil explicar, aunque algunas teorías sostienen que procede del ácido clorhídrico o de las sales volátiles de cloruro precedente de las erupciones volcánicas, géiseres o aguas termales.

El contenido de cloro de las aguas subterráneas de las regiones húmedas suele ser bajo, inferior a 5 ppm, a menos que las aguas hayan sido contaminada por agua de mar.

Respecto a los niveles de cloro deseable en un agua, son bastante variables en función del destino final que se vaya a dar a la misma, aunque en general valores de unos 250 ppm se consideran adecuados para la mayor parte de usos.

Respecto al agua para uso agrícola, el cloruro produce quemaduras en las hojas de las plantas, por lo que los niveles que se consideran tolerables son muy distintos según se trate de sistemas de riego que mojen o no las hojas. En el primer caso 100 mg/l son valores a excesivos mientras que en el segundo puedes llegar hasta 350mg/l.

2.3.4. Sulfatos

Proceden fundamentalmente del yeso o anhidrita, siendo lo más frecuente es el sulfato sódico y el magnésico. Contribuyen a la salinidad de las aguas y a veces alcanzan concentraciones tan elevadas como 2000 mg/l.

Desde el punto de vista sanitario su contenido no debe sobrepasar los 400 mg/l. Los contenidos elevados pueden provocar problemas intestinales. En cuanto a usos agrícolas, concentraciones superiores a 1,2 g/l se consideran negativas. El principal problema de los sulfatos en cuanto a la desalación por ósmosis inversa es, como ya se ha dicho anteriormente, su posibilidad de formar precipitados de calcio y magnesio sobre las membranas cuando se rebasan ciertos niveles, por lo que debe vigilarse.

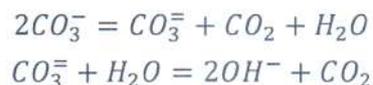
2.3.5. Carbonatos y Bicarbonatos

Ya hemos explicado su relación con el calcio (Ca) y magnesio (Mg). Se encuentran en todas las aguas y a veces en proporciones muy elevadas. También son frecuentes los carbonatos en función del pH de ésta.

Como las membranas de OI tienen un elevado rechazo de estos iones, se concentran en el rechazo y pueden precipitar.

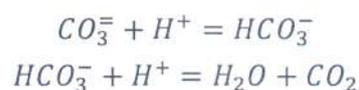
Incluso en el caso de las membranas de acetato de celulosa, la elevada concentración de bicarbonato en las proximidades de la superficie de esta puede elevar el pH hasta cerca de 10, favoreciendo la hidrólisis² de las citadas membranas.

El agua de mar contiene iones bicarbonato que están en equilibrio con iones carbonato e hidroxilo.



Alta temperatura o elevado pH desplazan el equilibrio hacia la producción de iones carbonato e hidroxilo y cuando esto ocurre precipitan el calcio y/o el magnesio en forma de hidróxidos.

Para evitar esto se trata el agua con ácido para mantener la reacción de equilibrio hacia la izquierda, y con más ácido para eliminar los bicarbonatos.



² Hidrólisis, descomposición de un cuerpo o una sustancia con el agua.

Sin embargo incluso en el caso de la acidificación del agua³, debe tenerse cuidado para evitar la formación de sulfato cálcico, que no es afectado por el tratamiento ácido.

Un aspecto importante a considerar desde el punto de vista de la ósmosis inversa es lo que se conoce como efecto de ión común, que no es otra cosa que el cambio de la solubilidad de una sal como consecuencia de la presencia en la solución de otras sales que no tienen iones comunes con ella y que se encuentran en altas concentraciones.

Este efecto que se emplea por ejemplo en el ablandamiento o suavización de aguas, mediante la dosificación de un exceso de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para eliminar el Mg^{++} como hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), hace que en el caso del agua de mar el carbonato cálcico sea varias veces más soluble que en agua dulce, reduciéndose por tanto los riesgos de precipitación sobre las membranas.

2.3.6. Nitratos

La variación del contenido de nitratos en el agua es grande y en muchas aguas subterráneas no tienen relación con ninguna formación geológica.

Los nitratos del agua proceden de distintas fuentes. En algunos casos, de planta leguminosas, en otros, de residuos de plantas o animales y de fertilizantes añadidos al suelo. En otro, de las propias aguas residuales.

Generalmente un contenido elevado de nitratos en un agua subterránea tiene una relación directa con el agua superficial, que contamina por percolación⁴ el acuífero.

Un alto contenido de nitrato puede indicar contaminación y ser considerado como un indicador y un aviso que debe ser tenido en cuenta para comprobar la presencia de bacterias peligrosas.

Los nitratos en concentraciones mayores de 45 ppm son indeseables en aguas para usos domésticos por el posible efecto tóxico sobre los niños. Esto se conoce como cianosis⁵.

Es importante hacer notar que los nitratos no son eliminados del agua por ebullición, debiéndose recurrir a la desmineralización o a la separación por membranas.

³ Acidificación del agua, es la alteración del pH del agua hasta valores considerados ácidos, las aguas con pH menor a 5,5 se consideran ácidas y contaminadas.

Consecuencias:

- Muchos organismos no son capaces de sobrevivir en un ambiente ácido ($\text{pH} \downarrow$)
- Hay mayor capacidad de disolución de metales peligrosos como el mercurio, aluminio o el zinc.

⁴ Percolación, se refiere al paso lento de fluidos a través de materiales porosos, o sea la filtración de líquidos hacia el agua.

⁵ Cianosis, se caracteriza por una coloración azul en la piel o en las membranas mucosas como consecuencia de la deficiencia de oxígeno en la sangre o en los tejidos de una persona.

2.3.7. Hierro

Prácticamente todas las aguas contienen hierro en mayor o menor cantidad, cuyo contenido puede ser problemático para determinados usos, domésticos o industriales.

Contenidos de 0,5 ppm son normalmente perjudiciales, e incluso algunos procesos industriales no permiten contenidos superiores a 0,1 ppm.

La química del hierro en el agua es bastante compleja. Hay dos tipos de iones de hierro, el ferroso y el férrico. El primero es inestable en presencia de aire y cambia al estado férrico.

El ión ferroso puede ser disuelto en cantidades que hasta 50 ppm en aguas que son casi neutras e incluso en cantidades mayores en agua ligeramente ácidas. En contraste con el ión férrico es casi completamente insoluble en agua alcalina o débilmente ácida. En las aguas subterráneas son normalmente concentraciones de 1 a 5 ppm. Para la eliminación del hierro, puede procederse a la aireación del agua, con la que se consigue bajar dicho contenido hasta 0,1 ppm.

Las aguas con hierro también favorecen el crecimiento de bacterias de hierro, como la crenothrix⁶.

Los organismos pueden cambiar ciertas formas de hierro disuelto al estado férrico insoluble. El hierro insoluble se deposita en la capa de los organismos o en los huecos de la arena.

Las bacterias de hierro se desarrolla mejor en la oscuridad y se encuentra más frecuentemente en agua conteniendo poco o ningún oxígeno y una considerable cantidad de dióxido de carbono junto con hierro disuelto.

Con el hierro y los carbonatos forman precipitados sobre las membranas, que reducen la eficiencia de las instalaciones aunque se elimina fácilmente.

2.3.8. Manganeseo

Tiene un comportamiento químico similar al hierro y se presenta en las mismas condiciones que éste. Aparece como un bicarbonato manganeso soluble que cambia al hidróxido de manganeso insoluble cuando reacciona con el oxígeno del aire. Las manchas causadas por el manganeso son más intensas y difíciles de eliminar que las ocasionadas por el hierro.

El mejor pretratamiento para ambos elemento consiste en evitar su oxidación utilizando bombas sumergibles, que impulsan directamente el agua a tratar, desde el

⁶Crenothrix, utilizan el hierro existente en el agua y lo depositan en forma de hidróxido férrico y a partir de su capsula se desarrollan en forma de masa aglutinadas o viscosas capaces de adherirse a cualquier superficie. Transforman compuestos solubles de hierro en compuestos insolubles de hierro, dan a lugar a problemas de olor y color de agua.

punto de la captación hasta la aspiración de la bomba de alta presión, sin exponerla al aire.

Cuando los iones Fe^{+3} y Mg^{+2} aparecen simultáneamente en el agua, el primero puede catalizar la oxidación del segundo por lo que es muy conveniente la utilización de antiincrustantes. El hexametáfosfato sódico, utilizado como antiincrustante del sulfato cálcico, retarda también la oxidación y subsiguiente precipitación del hierro y el manganeso.

Cuando se producen precipitados de hierro y manganeso sobre las membranas, se consiguen buenos resultados en su limpieza bajando el pH por debajo de 3. Los ácidos cítrico y acético resultan muy adecuados para estos casos, pudiendo utilizarse también el ácido nítrico.

2.3.9. Sílice

El silicio es junto con el oxígeno el elemento más abundante en la corteza terrestre. La combinación de ambos forma el dióxido de silicio (SiO_2), que se denomina comúnmente sílice.

Se puede encontrar en algunas aguas subterráneas en cantidades de hasta 100 ppm y contenidos de 20 ppm son bastante normales.

No contribuye a la dureza del agua, pero es una parte importante de las incrustaciones formadas por muchas aguas.

La solubilidad de la sílice en agua es de unos 110-125 mg/l, pero esta solubilidad está bastante relacionada con la temperatura del agua.

Como la sílice es rechazada en un porcentaje superior al 99% por las membranas, se concentra en el rechazo.

Cuando las concentraciones superan estos valores pueden producirse precipitados, normalmente silicatos de calcio y magnesio, que no son fácilmente disueltos por los ácidos por lo que presentan problemas insolubles. No conviene superar concentraciones en el rechazo superiores a 150 mg/l.

2.3.10. Flúor

Aparece sólo en pequeñas concentraciones en el agua subterránea. Puede proceder de la fluorita, el principal mineral fluorado de rocas ígneas⁷.

El rechazo de este elemento por las membranas de ósmosis inversa es variable en función de la composición completa del agua.

⁷ Rocas ígneas, se forma cuando la magna (roca fundida), se enfría y se solidifica.

Es uno de los componentes más problemático del agua en los procesos de desalación, ya que su rechazo por las membranas es elevado y la solubilidad de sus sales que se concentran en la salmuera muy baja, siendo los riesgos de precipitación altos. Contenidos en el agua tan bajos como 5-7 ppm pueden resultar peligrosos.

2.3.11. Arsénico

La presencia de arsénico en el agua puede ser el resultado de la disolución del mineral presente naturalmente en el suelo por donde fluye el agua antes de su captación; o bien, por contaminación industrial o por pesticidas.

La ingestión de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su acumulación en el organismo. Envenenamientos graves pueden ocurrir cuando la cantidad tomada es de 100 mg. Se ha atribuido al arsénico propiedades cancerígenas.

Algunos estudios de toxicidad del arsénico indican que muchas de las normas actuales basadas en las guías de la OMS señalan concentraciones muy altas y plantean la necesidad de reevaluar los valores límites basándose en estudios epidemiológicos.

2.3.12. Bario y Estroncio

Aunque no son elementos abundantes, su presencia se detecta en determinadas aguas subterráneas.

Los sulfatos de estos dos elementos son mucho menos solubles que los del calcio por lo que pueden precipitar. El hexametáfosfato sódico actúa eficazmente como inhibidor o antiincrustantes de ambos.

2.3.13. Aluminio

No se encuentra normalmente en aguas subterráneas ni superficiales, a no ser que se haya producido una contaminación de tipo industrial o vertido.

El hidróxido de aluminio tiene una solubilidad variable en función del pH, siendo menor a un pH de 5.

Los valores de pH a que se trabaja más frecuentemente en ósmosis inversa, entre 6,5 y 7,5, no representan por lo tanto un peligro.

Únicamente en el caso de utilizar membranas de acetato de celulosa cuyo pH de funcionamiento suele estar entre 5 y 6 es más fácil dicha precipitación.

Los precipitados, en el caso de producirse, se eliminan mediante acidificación y el hidróxido de aluminio puede eliminarse por filtración.

2.4. Gases disueltos

Pero además de sus iones constituyentes, las aguas de distinto origen pueden tener también gases disueltos.

Aunque su contenido no se determina en los análisis rutinarios, su presencia en cantidades importantes tiene un especial significado en el uso de agua en ciertos sectores.

Los gases disueltos más comunes son oxígeno, sulfhídrico, dióxido de carbono, nitrógeno, anhídrido sulfuroso y amonio.

Como la solubilidad de los gases es inversamente proporcional a la temperatura y aumenta con la presión, los gases disueltos intervienen frecuentemente en problemas de corrosión y de precipitación.

2.4.1. Oxígeno disuelto

Su contenido en aguas subterráneas profundas es generalmente bajo. Se supone que la mayor parte del aire contenido en el agua que percola en el suelo se emplea en los procesos de oxidación de los materiales orgánicos, aunque una pequeña cantidad puede estar presente incluso a grandes profundidades.

Las aguas superficiales de buena calidad, por el contrario, están casi saturadas de oxígeno disuelto. El contenido de oxígeno de un agua varía además de forma inversa con la temperatura es decir, cuanto más elevada es esta, menor será su contenido en oxígeno.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua es un índice significativo de su calidad sanitaria. Los tests de oxígeno disuelto indican la cantidad de oxígeno molecular disuelto en agua.

El oxígeno disuelto acelera el ataque corrosivo sobre el hierro, acero y otros metales. Si la temperatura aumenta, también lo hace la corrosión, pero como hemos indicado, la cantidad de oxígeno en una solución desciende y esto contrarresta el otro efecto, a menos que el agua calentada esté bajo presión.

El agua que contiene oxígeno disuelto corroe los metales más rápidamente cuando el pH es bajo. El pH tiene una importante influencia en la velocidad del ataque, sin embargo un agua con una conductividad eléctrica relativamente alta y que también contiene oxígeno disuelto, será agresiva, aunque el pH sea 8 o más.

Pero además de la presencia de O_2 en el agua de alimentación favorece la proliferación de bacterias aerobias⁸ y por tanto la contaminación de las membranas.

2.4.2. Sulfhídrico

Proporciona un olor característico. Cantidades tan pequeñas como 0,5 ppm forman un ácido débil y el agua es generalmente corrosiva.

Está presente en algunas aguas subterráneas y su exposición al aire produce finos precipitados de azufre que ocasionan importantes ensuciamientos de las membranas difíciles de eliminar. Para evitarlos hay que aislar las aguas que lo contienen. Como gas pasa a través de las membranas y puede eliminarse mediante torres de desgasificación o por cloración.

El gas sulfhídrico (SH_2) también puede aparecer como resultado de la acción de bacterias sulfato reductoras, que ven favorecido su crecimiento en aguas con ausencia de oxígeno y con un elevado contenido de sulfato. Estas bacterias cambian los sulfatos a sulfhídrico.

2.4.3. Dióxido de carbono

Su presencia en distintas aguas está en relación con los contenidos en materia orgánica, de forma que si existe una importante actividad biológica en el suelo, el agua en contacto con él experimenta un aumento en la concentración de dióxido de carbono (CO_2), pero un descenso en el O_2 .

Pero además es un gas que se libera en las aguas carbonatadas como consecuencia de la regulación del pH que se realiza en la presencia de ósmosis inversa.

La liberación de CO_2 ocasiona un descenso del pH del agua y la hace más corrosiva. Como gas atraviesa las membranas de OI y por tanto aparece en el agua producto, a las que confiere agresividad y por tanto exigencia de post-tratamientos para evitar daños a la red de conducción o distribución posterior.

La liberación de CO_2 de las aguas freáticas⁹ puede provocar la precipitación de los carbonatos, por lo que cuando se han de desalar estas aguas es recomendable la utilización de un depósito intermedio.

⁸ Bacterias aerobias, organismos que solo puede desarrollarse en presencia de oxígeno atmosférico, del que precisa para la respiración.

⁹ Aguas freáticas, las aguas que encontramos cuando el suelo está saturada, y están por debajo de este nivel Freático, el nivel Freático es cuando el contenido de aire es totalmente ocupado por el agua, en este punto donde hallamos solo parte sólida, y parte de agua.

2.5. Temperatura

La temperatura del agua varía bastante no sólo en función de la zona, sino también según se trate de aguas subterráneas o superficiales, o aguas del mar, e incluso de la época del año de que se trate.

La influencia de las temperaturas en funcionamiento de las membranas es importante desde tres puntos de vista, por lo que deben ser tenidas en cuenta:

- De un lado, la solubilidad de determinadas sales aumenta con la temperatura y por tanto a temperaturas más elevadas se reducen sus riesgos de precipitación.
- También, la temperatura influye en la viscosidad del agua y en la dilatación de los materiales que constituyen las membranas, por lo que tal como veremos más adelante deben tenerse en cuenta en el diseño y a partir de aquellas que son más perjudiciales para el proceso.
- Por último, la elevación de la temperatura favorece la actividad biológica de los microorganismos que ocasionan el ensuciamiento de las membranas.

2.6. Otros parámetros característicos del agua

Pero además de los iones que hemos analizado de forma individual hay otros parámetros que deben ser tenidos en cuenta desde el punto de vista global.

Nos referimos al pH y otros índices.

2.6.1. pH

Es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno del agua y es consecuencia de las sales que lleva en solución. Su valor es un índice indicativo de las características del agua.

Desde el punto de vista de la desalación por membranas, ejerce dos tipos de acciones:

- Influye en la solubilidad de los carbonato y regula por tanto su precipitación.
- Limita el empleo de las membranas de acetato de celulosa que a valores inferiores a 5 o superiores a 5, pueden experimentar hidrólisis.

La Reglamentación considera que las aguas para consumo humano deben tener un pH entre 6,5 y 8,5.

2.6.2. Alcalinidad

Es la capacidad de un agua para neutralizar un ácido. Un agua con un pH ligeramente inferior a 7 puede tener al mismo tiempo algunas sales que neutralizar el ácido y manifestar por tanto una alcalinidad que se puede medir.

Los iones carbonato y bicarbonato contribuyen a la alcalinidad, pero los iones cloruro, sulfato y nitrato no. Los iones OH afectan la alcalinidad, pero normalmente las aguas presentan valores tan bajos que este ión que apenas tiene importancia.

2.6.3. Dureza

La dureza puede ser de dos formas:

- a. Carbonatada, causada por los carbonatos, que incluye la porción de Calcio y Magnesio que se combina con el bicarbonato y las pequeñas cantidades de carbonato presente. Se llama también temporal porque desaparece al hervir el agua.
- b. No carbonatada o permanente, causada por los nitratos, cloruros y sulfatos de Ca y Mg, y que es la diferencia entre la dureza total y la dureza carbonatada.

2.7. Características generales del agua en relación con las membranas

El agua es una solución de diversas sales, cuyo conjunto determina las características de la misma.

Es importante conocer su composición, cuando se trata de someterla a un tratamiento de separación o desalación mediante membranas, por cuatro razones principales, a saber:

- a. No todas las membranas tienen el mismo rechazo de sales.
- b. Una misma membrana rechaza los distintos iones de forma también distinta.
- c. Existen iones específicos que presentan limitaciones a su separación.
- d. El pH óptimo, tanto de funcionamiento como de rechazo de sales de una membrana, está claramente determinado.

Para ello conviene hacer un breve repaso de los distintos componentes químicos que se encuentra tanto en el agua salobre como en el agua de mar, en relación con la desalación.

Como se ha dicho, las sales se encuentran disociadas en el agua en forma de iones positivos y negativos.

Los principales cationes que se encuentran el agua son Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+) y Potasio (K^+), mientras los aniones más abundantes son el cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{--}), carbonato (CO_3^{--}) y bicarbonato (CO_3H^-).

En menor cuantía aparecen otros como hierro, manganeso, aluminio, nitrato, fosfato, fluoruro, etc.

El predominio o abundancia de unos sobre otros hace que el agua pueda ser utilizada directamente o que requiera algún tratamiento previo.

Las propiedades químicas de un agua salada dependen de su concentración total y sólo en menor cuantía de la proporción relativa de unos iones sobre otros. Sin embargo en los procesos de desalación por ósmosis inversa, estas proporciones son importantes para su incidencia en la precipitación o incrustación de sales sobre la membrana.

2.7.1. Agua salobre

La composición de las aguas salobres es muy diferente según se trate de aguas superficiales, ríos o lagos, o de aguas subterráneas, siendo generalmente las primeras de mejor calidad y más equilibradas desde el punto de vista iónico.

Sin embargo, pueden encontrarse variaciones importantes y significativas que es conveniente comentar.

- *Aguas superficiales de ríos*

Aunque existe la creencia de que las aguas de los principales ríos conocidos son de buena calidad, esto no es completamente seguro.

Generalmente sus salinidades son bajas, pero en determinados tramos de los ríos pueden producirse aumentos importantes de la misma.

En general la salinidad de los ríos se incrementa desde su nacimiento a su desembocadura, aunque el tipo de sales que crean esa salinidad puede variar.

Esta salinidad inducida está relacionada con el tipo de terreno que atraviesa el río a lo largo de su recorrido.

No son raros los ejemplos en que en los cursos altos y medio de un río predominan los carbonatos y posteriormente aumentan los sulfatos y cloruros.

Pero incluso a lo largo de un año las salinidades pueden variar bastante, dado que las sales procedentes de una zona determinada quedan diluidas por el arrastre de las aguas de lluvia que se produce en determinados meses.

Sin embargo no es ésta la única causa del incremento de la salinidad de los ríos, pues además, en tramos puntuales, el río puede tener una elevada salinidad producida por causas exógenas, como pueden ser determinados vertidos industriales.

- *Aguas superficiales de lagos, presas o depósitos*

En los lagos y embalses los problemas de salinidades no son preocupantes en general, y suelen estar limitados a pequeños depósitos, pero los problemas de eutrofización¹⁰ que, aunque no es propiamente una salinización, incrementa los contenidos de nutrientes como nitratos y fósforo, sí son dignos de consideración.

Las causas de estas salinidades son muy variadas y van desde fuertes evaporaciones a características del terreno en que se han ubicado, o incluso a filtraciones desde algunas zonas o riachuelos próximos de elevada salinidad.

- *Aguas subterráneas*

Constituyen la tercera fuente importante de aportación de aguas en general y consecuentemente de aguas salinas en particular.

Las causas de la contaminación por sales de las aguas subterráneas son mejor conocidas. Se trata de procesos físico-químicos y hasta biológicos de alteración de los materiales que forman el terreno y en los que el agua queda almacenada hasta que es extraída.

La composición de las aguas subterráneas es más variable que la de los ríos y además de los iones normales como Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Cl^- , CO_3^{--} , CO_3H^- ó SO_4^{--} , aparecen en mayores cantidades PO_4^{3-} o NO_3^- y algunos microelementos como B, Fe^{+++} , SiO_2 ó F^- que pueden ser importantes en función del posterior uso o tratamiento que se quiera hacer de esa agua.

Pero además de este incremento de la salinidad de las aguas subterráneas por causa más o menos naturales, también se produce con frecuencia por causas inducidas externamente y generalmente ligadas a un bombeo excesivo.

¹⁰ Eutrofización, incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton.

Esta contaminación por intrusión es más frecuente en las zonas costeras, pues una extracción excesiva en pozos playeros crea una depresión en el cono de agua dulce, que es reemplazada por agua de mar (intrusión marina).

En zonas del interior el incremento se produce al tener que profundizar cada vez más el pozo para poder seguir manteniendo la producción, alcanzándose aguas fósiles o movilizándose reservas subterráneas de otras zonas de peor calidad.

Sin embargo, así como en el primer caso el empeoramiento de la calidad va ligada a un aumento importante del contenido de sodio y cloruros, en el segundo puede estarlo al de sulfatos, carbonatos, Calcio y Magnesio.

2.7.2. Agua de mar

La salinidad total y el contenido de sales concretas de un agua de mar es menos variable que el de un agua salobre.

Las variaciones se producen fundamentalmente en el contenido total de sales entre unas y otras zonas de nuestro planeta aunque no en el tipo de iones, con especial significación en los mares cerrados de las regiones cálidas, sin embargo para un lugar determinado las características del agua de mar varían muy poco no sólo según la época del año, sino a lo largo de los años.

2.8. Formas de expresar un análisis

Los resultados de los análisis que caracterizan un agua viene expresado en distintas unidades, según cuál sea la salinidad de la misma o el laboratorio que realice el análisis.

Con el fin de no crear equívocos es conveniente conocer pues las relaciones o conversión de un tipo de unidades en otras.

Así como ya se ha indicado que el contenido total de sales de una solución se expresa en TDS o conductividad, la concentración individual de cada ión viene expresada generalmente en mg/l o sus equivalentes g/m^3 o ppm, y también en meq/l.

Respecto a las primeras unidades dichos contenidos se expresan en cuanto al total de sales o en cuanto a la concentración en CO_3Ca (Carbonato de Calcio).

Una ventaja de expresar los análisis en mg/l como CO_3Ca , es que cuando las concentraciones que dos sustancias se expresan en esta unidad, un mg/l de una sustancia determinada reacciona completamente con otro mg/l de otra sustancia y por tanto no se necesita establecer constantemente el balance de la correspondiente ecuación química.

Para poder realizar la conversión entre unas unidades y otras es preciso conocer además de los pesos atómicos o moleculares y sus valencias (Tabla 2.1).

Pesos atómicos de los principales iones del agua

Ión	Peso atómico	Valencia	Peso equivalente
Ca^{++}	40,08	2	20,04
Mg^{++}	24,32	2	12,15
Na^{+}	23,00	1	23
K^{+}	39,07	1	39,1
Sr^{++}	87,63	2	43,81
NH_4^{+}	18,04	1	18,04
CO_3^{-}	60,00	2	30
CO_3H^{-}	61,01	1	61,01
SO_4^{-}	96,06	2	48,03
NO_3^{-}	62,00	1	62
F^{-}	19,00	1	19
Cl^{-}	35,46	1	35,46
PO_4^{3-}	94,98	3	31,66
SiO_2	60,00	2	30
FE^{3+}	55,85	3	18,61
AL^{3+}	26,98	3	9
Ba^{++}	137,36	2	68,68
B^{+3}	10,82	3	3,6
MN^{3+}	54,94	3	18,31

Tabla 2.1

- Peso equivalente es el peso atómico o molecular del compuesto dividido por la valencia.
- Equivalente gramo es el peso equivalente expresado en gramos.

Al ser los contenidos en esta unidad muy pequeño se emplea su submúltiplo meq/l.

$$ppm = \frac{mg}{l} = \frac{g}{m^3} = \frac{meq}{l} * \text{peso equivalente}$$

$$\frac{\mu S}{cm} = \frac{10^3 mS}{cm} = \frac{10^3 dS}{m} = 10^{-4}$$

$$\frac{S}{m} = 10 mS/cm$$

$$CE = \frac{meq}{l} / 12$$

2.9. Solubilidad de las sales

Aunque la solubilidad de las sales depende como hemos indicado a lo largo de este capítulo de una serie de factores, es necesario conocer a título al menos orientativo y las solubilidades aproximadas de las principales sales con las que nos vamos a encontrar en el agua (Tabla 2.2).

Como las sales encuentran en el rechazo pueden precipitar, podemos actuar en el diseño mecánica o químicamente para evitarlo.

Solubilidad de sales		
Sal	Mg/l	T °C
Cl_2Mg	353	
$CO_3Ca + CO_3Mg$	10 meq/l	
$SO_4Ca.H_2O$	2,04	
CO_3Na_2	122-371	10° - 30°
CO_3HNa	80-104	10° - 30°
SO_4Mg	262	
SO_4Na_2	90-373	10° - 30°
$ClNa$	318	
NO_3Na	686	
NO_3K	279	-

Tabla 2.2

2.10. Análisis físico-químico del agua a tratar

Tomando el análisis realizado al agua de General Villegas (Anexo 2-A), vemos en la tabla 2.4 los siguientes valores que exceden el CAA.

Tabla 2.4

	Límites permitidos CAA	% de exceso
Cloruros	Máx. 350 mg/l	828 %
Dureza	Máx. 400 mg/l	238%
Sulfatos	Máx. 400 mg/l	320%
Sólidos disueltos totales	Máx. 1500 mg/l	600 %

Estos excesos afectan la salud alterando el normal funcionamiento de algunos órganos, y también afecta en forma secundaria a cañerías y equipos que utilizan agua a alta temperatura, produciendo obstrucciones.

CAPITULO 3

3. Tipos de tratamientos del agua

Sistemas de tratamiento de agua

En este capítulo se describirán los tipos de tratamiento que son utilizados para la potabilización del agua, esto incluye desde la toma hasta obtener la calidad de agua requerida.

3.1. Toma de agua:

3.1.1. Toma cerrada.

La toma de pozo es una de las más favorables y la que siempre hay que intentar construir. Sin embargo ello implica la permeación de caudales a veces importante, lo que no siempre, dependiendo del terreno, se puede lograr.

Teniendo como ventajas:

- Limpieza del agua como consecuencia de su filtrado en el terreno, lo que se traduce en índice de turbidez (NTU) y colmatación (SDI) bajos.
- Ausencia de actividad orgánica y biológica.
- Bajo contenido de oxígeno disuelto.
- Baja contaminación.
- Temperaturas estables.

Teniendo como desventaja:

- Contenido de algunos elementos secundarios como hierro, aluminio, sílice, flúor u otros, esto implica un tratamiento previo antes del ingreso a las membranas de la OI.
- Contaminación por nitratos, pesticidas, etc.
- Variaciones en su composición química según el tiempo o época del año.

3.1.2. Toma abierta

Dichas toma tienen las características contrarias a las anteriores, es decir:

- Actividad orgánica y bacteriológica importante.
- Contenido en sólidos en suspensión importantes.
- Mayor exposición a la contaminación.

- Contenido más elevado de oxígeno disuelto.
- Variaciones importantes de temperatura.
- Composición química más homogénea.

Estas tomas abiertas se realizan cuando los terrenos no permean lo suficiente. Pudiendo extraerse desde el cauce mismo o mediante un emisario submarino.

3.2. Pre tratamiento físico

3.2.1. Filtro de arena

Estos filtros son recipientes que contienen medios filtrantes donde atrapan las partículas en suspensión, el tamaño de separación de dichas partículas dependerá del medio filtrante empleado, siendo del orden de los 200 μm .

Estos recipientes pueden colocarse en forma horizontal y vertical (Figura 3.1), trabajando como elemento de presión y su construcción depende del tipo de agua a tratar y a la presión que será sometido. Pudiendo encontrarse desde chapa galvanizadas, hasta aceros inoxidable; y también se pueden construir con acero al carbono revestidas en pintura epoxi o ebonitado, entre otros.

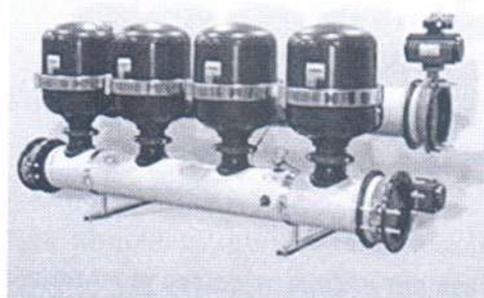


Figura 3.1

3.2.2. Filtro de cartucho

Se utilizan en las instalaciones para poder garantizar un nivel de filtración de 5 a 20 μm .

Constructivamente son recipientes plásticos o metálicos, por lo general son de disposición vertical y se utiliza como medio filtrante cartuchos o bujías constituidos por un eje hueco provisto de orificios, sobre el que se enrolla un hilo de polipropileno (PP)

u otro material plástico a una cierta tensión, la cual determina el tamaño de la partícula a filtrar.

El flujo de agua en los cartuchos se realiza desde la parte exterior hacia el eje del mismo, donde se recoge el agua filtrada, pasando a través del hilo de PP.

En la figura 3.2 se puede observar las secciones del filtro de cartucho.

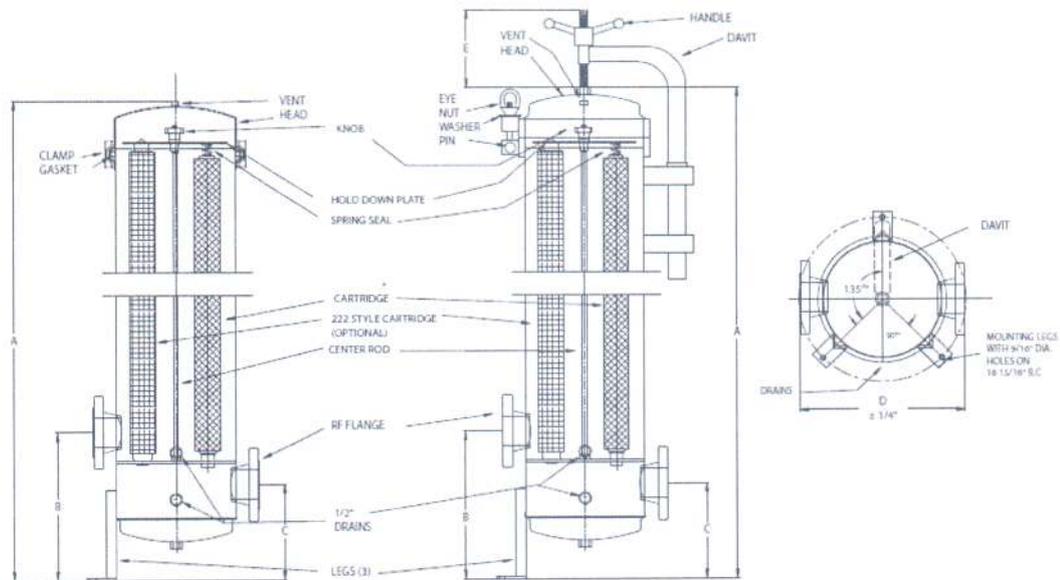


Figura 3.2

3.2.3. Filtro multimedia o precapa

Son filtros de mayor costo y mantenimiento que los anteriores por contener mayor cantidad de cañerías y válvulas; incluyendo en el proceso el retrolavado del filtro.

En la parte inferior se encuentra un soporte para el medio filtrante, por lo general se utiliza grava; y por encima se coloca el material filtrante muy fino, pudiendo ser estos de varias capas de diferentes materiales filtrantes o un solo material (Figura 3.3), de forma tal que el agua para atravesar el filtro debe pasar por el medio filtrante.

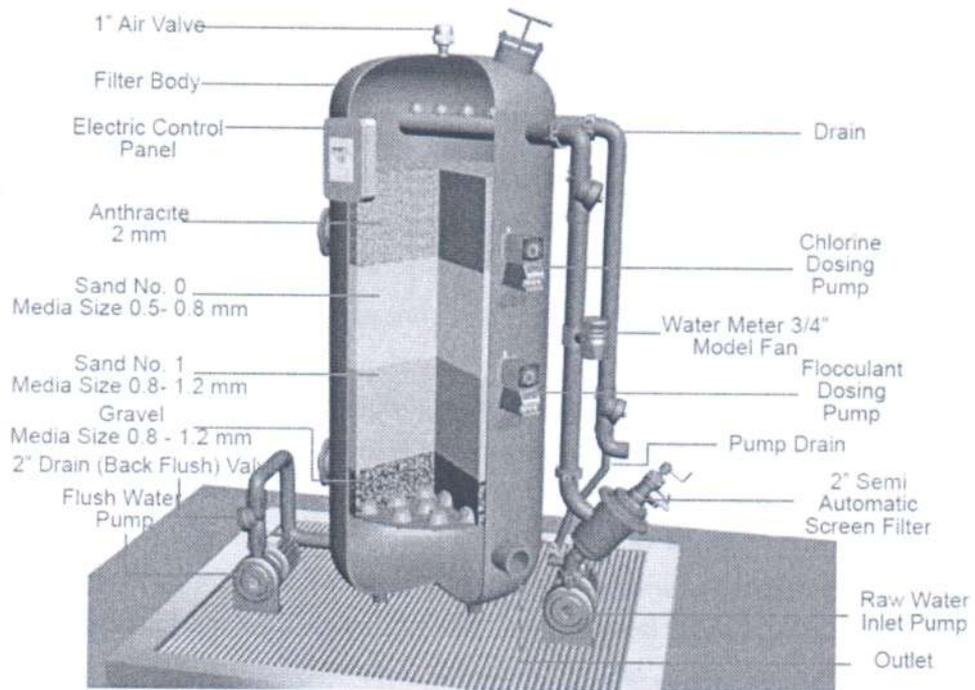


Figura 3.3

3.2.4. Microfiltración

Son utilizadas para poder separar partículas de hasta $0.1 \mu\text{m}$. Tecnológicamente son muy diferentes a los anteriores, utilizando como medio filtrante una membrana de mayor poder selectivo y por lo tanto son muy susceptibles al ensuciamiento (Figura 3.4), lo que va a requerir de lavados automatizados en forma periódica.

Se utilizan, al igual que en la osmosis inversa, membranas de fibra hueca. Están constituidas por un haz de fibras huecas de 2mm de diámetro. El flujo es de afuera hacia el centro de las membranas, recogiendo en esta parte el agua producto. El pequeño tamaño de los poros de estas membranas permite además la retención de bacterias y parte de los virus.

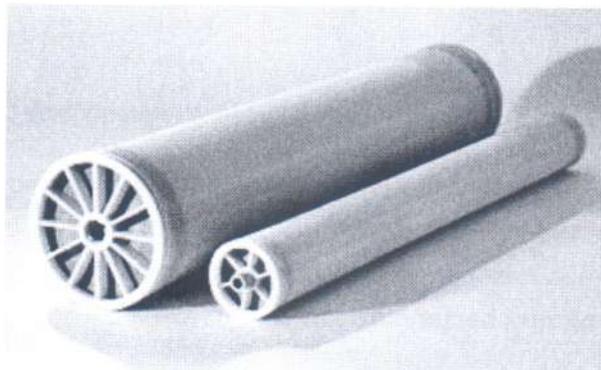


Figura 3.4

3.2.5. Osmosis Inversa

La Osmosis Inversa (Figura 3.5) consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable, las mismas suelen comercializarse principalmente arrollada en forma de espiral y en forma de cartucho de fibra. Su nombre proviene de "osmosis", el fenómeno natural por el cual se proveen de agua las células vegetales y animales para mantener la vida.

Retiene prácticamente todos los contaminantes del agua con una eficiencia entre 92 y el 99%.

Ideal para instalar en locaciones donde existe contaminación con metales pesados (Arsénico, Plomo, Mercurio, Cromo, Aluminio, Plata, etc.) u otros contaminantes que no pueden ser retenidos con los tratamientos convencionales, o simplemente si se desea agua de máxima pureza.

El principio de funcionamiento es una membrana con un tamaño de poro muy reducido que deja pasar las moléculas de agua pero no las moléculas de mayor tamaño como los contaminantes, que son enviados al rechazo.

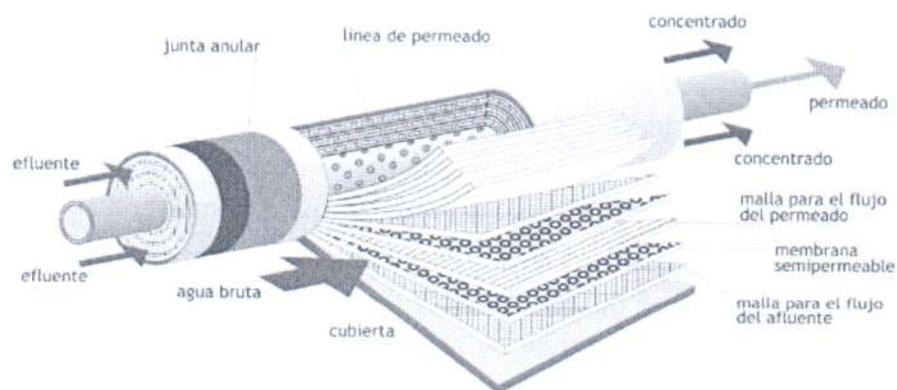


Figura 3.5

3.2.6. Ultrafiltración

Es un sistema que también utiliza membranas, teniendo como diferencia el uso de dos tipos de membranas distintas, arrollamiento en espiral y fibra hueca (Figura 3.6). Estas membranas tienen una selectividad de $0.01 \mu\text{m}$. por lo tanto es muy eficiente como barrera bacteriológica.

El material utilizado en la construcción de estas membranas es Polivinilideno fluoruro (PVDF), haciéndolo resistente al cloro, lo que no ocurre con las otras membranas.

Teniendo como desventaja el alto costo de las membranas y una mayor frecuencia de retrolavados.

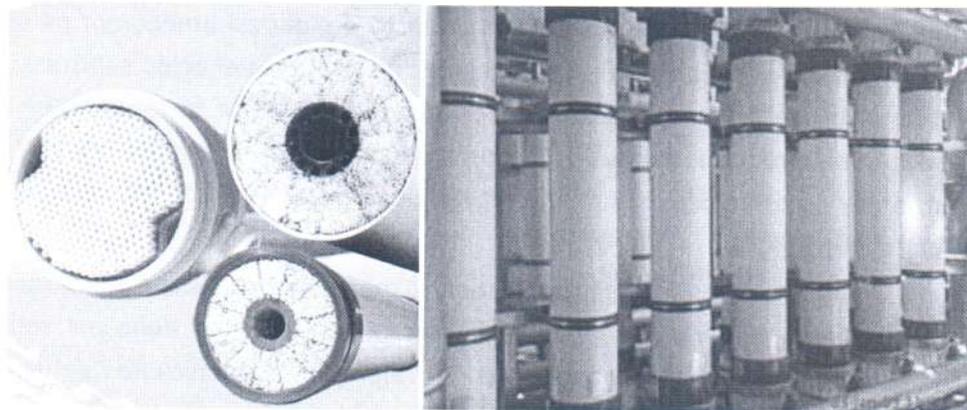


Figura 3.6

3.3. Pre tratamiento químico

3.3.1. Desinfección

El hipoclorito sódico o hipoclorito de sodio (NaClO), es el producto más empleado en la desinfección, para su aplicación es necesaria contar con un depósito de almacenamiento, ya que es líquido y una bomba dosificadora.

La inyección de este producto se realiza en el colector que conduce el agua a los filtros, antes de su entrada a estos. Este tipo de dosificación permite actuar al NaClO como coagulante o ayuda del mismo.

Un coagulante es una sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación. El coagulante es un compuesto químico que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales. Coagulantes típicos son las sales de hierro y aluminio.

Un coloide, suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema físico-químico formado por dos o más fases, principalmente éstas son: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas. La fase dispersa es la que se halla en menor proporción.

El nombre de coloide proviene de la raíz griega kolas que significa que puede pegarse. Este nombre hace referencia a una de las principales propiedades de los coloides: su tendencia espontánea a agregar o formar coágulos.

3.3.2. Equipo de regulación de pH

Este equipo consta de un tanque reservorio, una bomba dosificadora y sus cañerías se fabricaran en acero al carbono provisto de un deshumectador de silicagel; el producto usualmente utilizado para la regulación del pH es el acido sulfúrico (H_2SO_4) el cual tiene una elevada concentración, entre el 96-98%, por lo tanto es un liquido altamente corrosivo y peligroso. Por lo que se recomienda en instalaciones pequeñas sustituirlo por otros ácidos más débiles como pueden ser el acido nítrico (HNO_3) o el acido clorhídrico (HCl).

La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8.

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia.

La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones (iones H^+) y el número de iones hidroxilo (OH^-). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el agua es neutra. Tendrá entonces un pH alrededor de 7.

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución.

El pH es un factor logarítmico; cuando una solución se vuelve diez veces más ácida, el pH disminuirá en una unidad. Cuando una solución se vuelve cien veces más ácida, el pH disminuirá en dos unidades. El término común para referirse al pH es la alcalinidad.

3.3.3. Equipo dosificador de coagulante

Consta de los mismos elementos que el equipo anterior, y el coagulante de uso más frecuente es el cloruro férrico (FeCl_3), los mismos se dosifican en cantidades muy inferiores a los productos anteriores, excepto excepcionalmente en el caso del primero.

Los equipos son por lo tanto menores, y la dosificación del producto se realiza antes de los filtros de arena de la planta.

3.3.4. Dosificación del reductor

El producto generalmente empleado es el bisulfito o meta-bisulfito sódico, producto sólido que debe prepararse mediante su disolución en agua.

Se colocan dos depósitos en paralelo provistos de sus correspondientes agitadores, que permitan la preparación del producto en uno de ellos cuando en el otro empieza a agotarse. El equipo debe ser similar al descrito para los coagulantes poliméricos o al que se describe a continuación para los antiincrustantes.

Las conducciones para la aplicación del producto deben permitir la inyección entre los filtros de arena y de cartuchos, como a la salida de estos últimos filtros.

3.3.5. Aplicación de estabilizantes

Todas las instalaciones de agua salobre deben constar de equipos para la aplicación de inhibidores o antiincrustantes.

Son equipos de bajo costo, contara de bombas y protecciones correspondientes y se instalaran dos depósitos de capacidad adecuada, dado de que según el tipo de producto se utilice, su efectividad suele ser limitada en el tiempo entre tres días y una semana. De esta forma se dosificará siempre un producto recién preparado desde un depósito, mientras en el otro se estará preparando el producto nuevo cuando esté próximo a terminarse el anterior.

Para facilitar la disolución del producto es necesaria la colocación de varillas agitadoras o electro-agitadores en cada depósito.

El mismo se coloca después del filtro de arena y antes de los filtros de cartucho, de esta forma se evita que el primero retenga parte del producto y los segundos impiden que, si una parte del producto no se ha disuelto bien, pueda pasar a las membranas.

3.3.6. Sistema de disolución

Cuando las instalaciones son de gran capacidad, los caudales de reactivos que se dosifican son muy pequeños en relación con el caudal total de agua tratada.

En estos casos, para lograr un efecto más rápido en la corriente de agua, el producto químico no se inyecta directamente en el colector general, sino que se instala otro circuito auxiliar de mayor diámetro 2"-2,5" por el que se hace circular agua filtrada.

Los reactivos se dosifican en esta corriente de agua y a esa disolución es cómo se hace la inyección definitiva en el colector principal.

En el caso de la dosificación de sulfúrico debe tenerse en cuenta la elevación de temperatura que se produce al mezclarse con el agua y construir dichos colectores o circuitos con materiales apropiados.

Para estas circunstancias es adecuada la ya citada Té de mezcla, construida en materiales resistentes como teflón.

3.3.7. Mezcladores

Tienen por objeto provocar un movimiento turbulento en el flujo regular del agua a tratar que permita actuar a modo de agitador (Figura 3.7) y garantice una completa y homogénea disolución del reactivo que se dosifica.

En principio puede servir cualquier dispositivo que suponga un obstáculo o irregularidad en la circulación del agua a tratar.

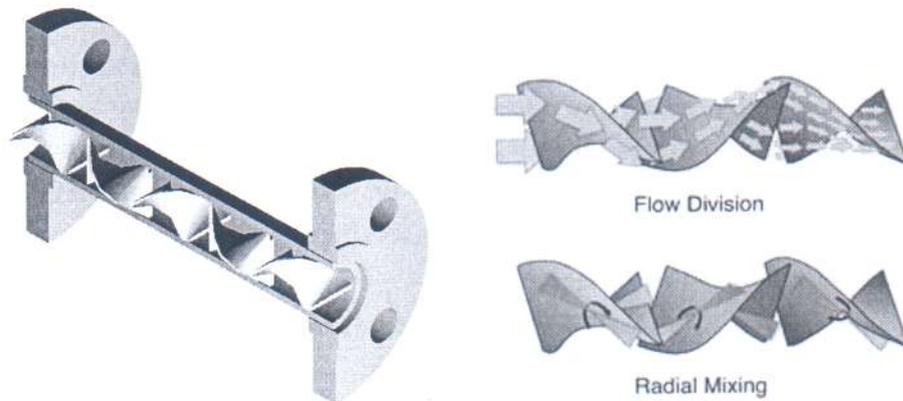


Figura 3.7

3.3.8. Agitadores

Al igual que los anteriores se utilizan para garantizar una completa disolución del reactivo que se va a dosificar, con el agua del depósito en que se prepara o mezcla.

Están formados por una varilla metálica recubierta o no por algún producto resistente a la corrosión, en función de las características del reactivo que se va a disolver, que se hace girar mediante un motor situado en la parte superior de la misma (Figura 3.8). Asimismo se colocan sobre una estructura soporte determinada para asegurar su anclaje e inmovilidad sobre el depósito en el que se coloca.

Las varillas agitadoras se colocan normalmente en los depósitos de preparación de los coagulantes poliméricos, el reductor, el antiincrustantes, la cal, y cuando existen posibilidades como en los filtros abiertos en la entrada del agua a los mismos, para lo cual se construye una cámara de homogeneización apropiada.

Para algunos productos como la cual es conveniente utilizar agitadores de dos velocidades o instalar un variador de velocidad que permite una velocidad rápida para la disolución inicial y otra más lenta para el mantenimiento de la solución.



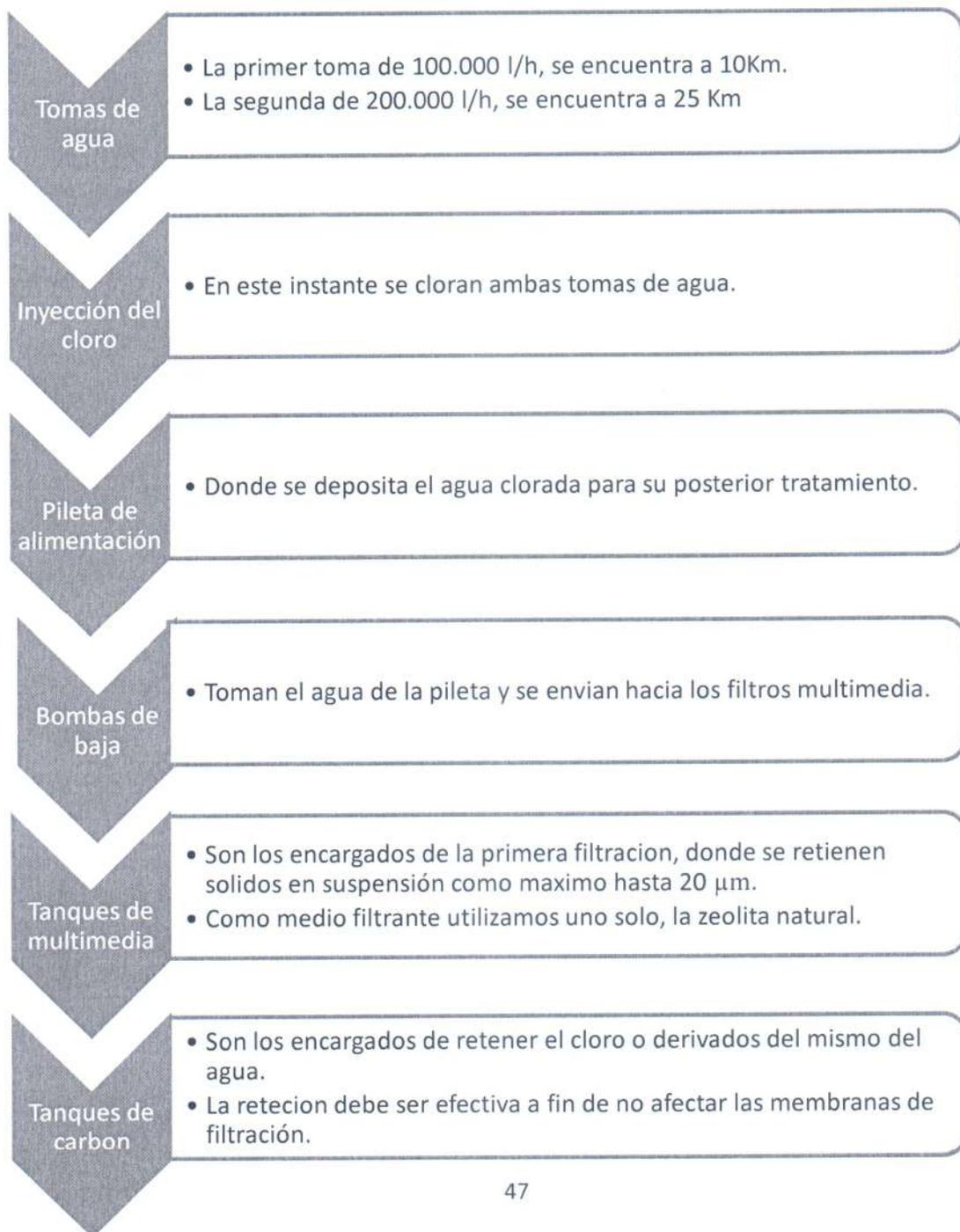
Figura 3.8

CAPITULO 4

4. Definición de las instalaciones necesarias

4.1. Etapas del proceso propuesto.

En este capítulo definimos los diferentes procesos y equipamientos necesarios para la Planta de Tratamiento de Agua. Teniendo en cuenta los equipos existentes y los necesarios que son necesarios agregar para su correcto funcionamiento, el diagrama funcional de las instalaciones queda como se esquematiza en el diagrama a continuación (Figura 4.1).



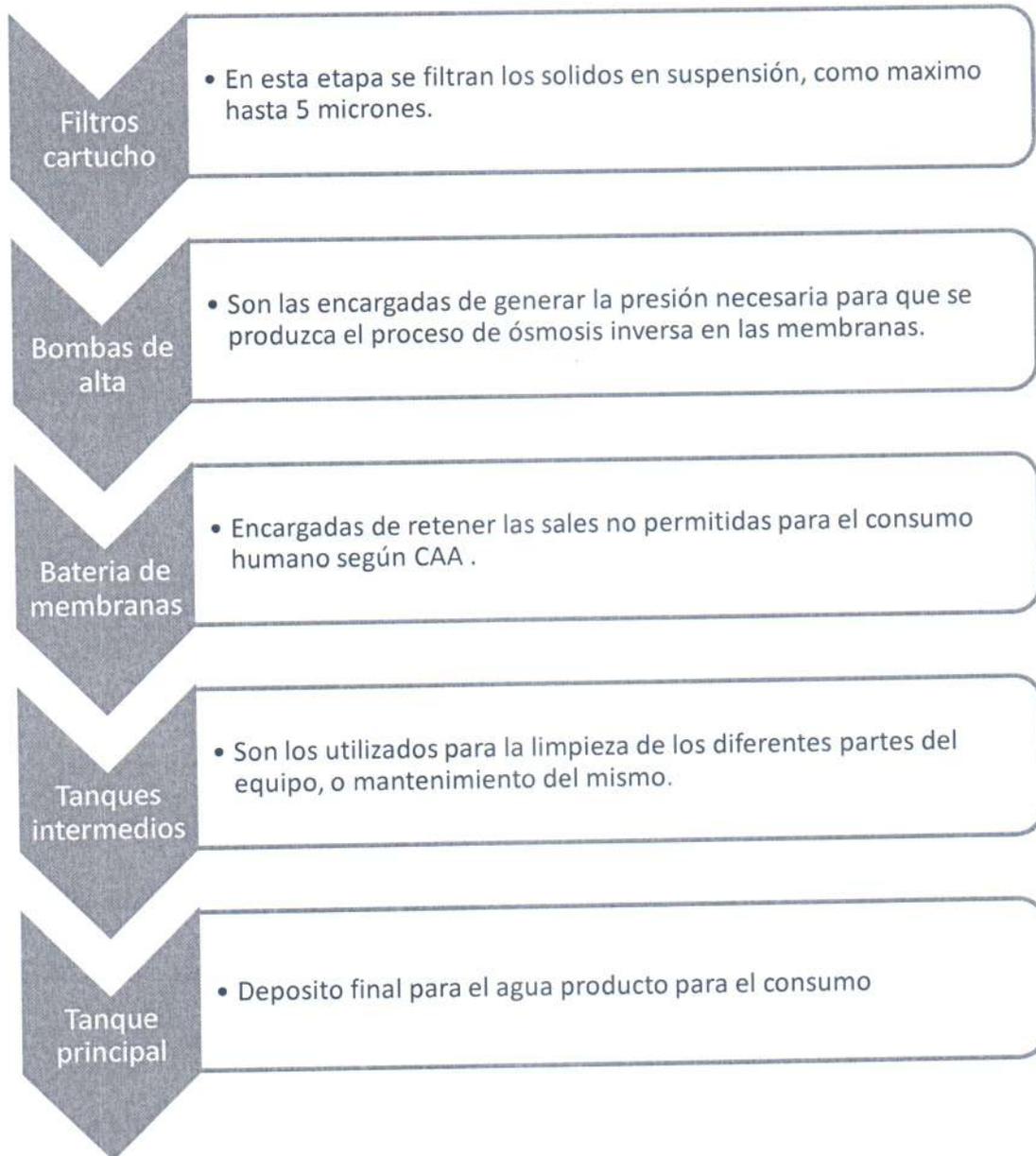


Figura 4.1

El agua que ingresa a la planta proviene de dos napas. Una de la líneas es clorada a la salida del pozo, mientras que la restante no, por tal motivo se juntan en una pileta y se cloran ambas (dicho proceso se realiza para la desinfección química, donde se utiliza el hipoclorito de sodio, NaClO), figura 4.2.

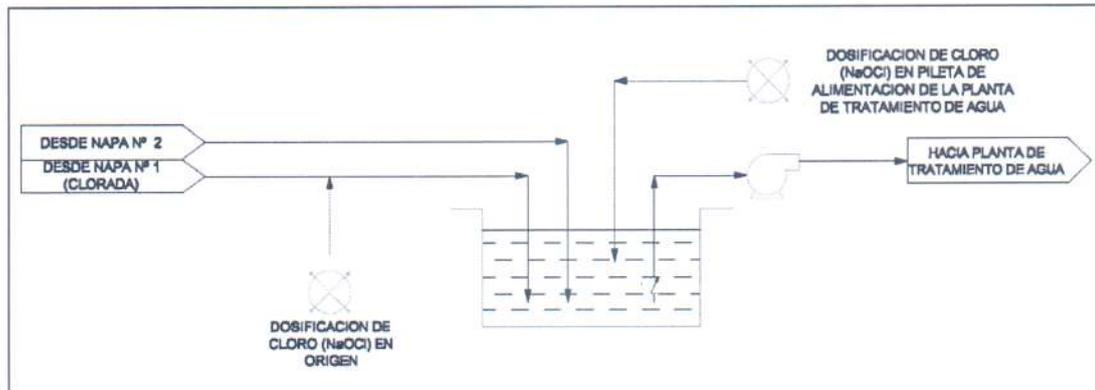


Figura 4.2

El agua clorada ingresa a la planta de tratamiento por un sistema de bombeo de 4 kg/cm^2 (considerado de baja presión comparada con la necesaria en las membranas para vencer la presión osmótica). Luego pasa por una batería de filtros de partículas, reteniendo aquellas superiores al orden de los $20 \mu\text{m}$, posteriormente, el agua filtrada, ingresa a los filtros de carbón activado, donde se produce la eliminación del cloro libre presente en el agua, al salir de ellos y antes de ingresar a la osmosis inversa hay un sensor, denominado sensor Oxido-Reducción (ORP), que mide la presencia de cloro en el agua, el cual debe ser nulo, ya que las membranas de la osmosis inversa se dañan rápidamente con este compuesto.

Luego ingresa al sistema de osmosis inversa, llegando a la bomba de alta presión previo paso por un filtro de partículas de $5 \mu\text{m}$, ingresando posteriormente a las membranas donde se produce el proceso de osmosis inversa, del cual derivan dos corrientes, una la de agua producto o permeado y la otra, denominada rechazo o concentrado, este último nombre se debe a la cantidad de sales que arrastra la misma.

Para un entendimiento del proceso en la sección anexo 5-B se encuentra el diagrama de proceso e instrumentación.

4.2. Descripción de los procesos principales de la Planta de Tratamiento de Agua.

Por diseño de la osmosis inversa tenemos un caudal de $150 \text{ m}^3/\text{h}$, que se va a dividir en dos, por ser dos equipos, donde cada uno va a tener un rendimiento de un 66%, teniendo como volumen final de agua tratada $100 \text{ m}^3/\text{h}$. Y los restantes $50 \text{ m}^3/\text{h}$

van a ser desechados a un ducto preparado para tal fin, donde se va a diluir, como se indicará más adelante.

Para ingresar el caudal necesario se cuenta con cuatro bombas centrifugas horizontales, donde cada una de ellas nos da un caudal de 60 m³/h. De todas maneras habrá instaladas cinco para tener una de rápido reemplazo en el caso de alguna falla.

Al ingreso tenemos una batería de nueve filtros multimedia, que pertenecen a la planta existente, donde siempre uno de ellos va a estar en proceso de retrolavado por un tiempo determinado, esto requerirá un caudal mayor al de filtrado normal. Un Filtro multimedia debe ser retrolavado por dos motivos, el principal es para sacar todas las partículas que quedaron en el medio filtrante y el segundo, es para remover el lecho ya que al circular el agua en el mismo sentido va a ir compactándolo y generando canales, con lo cual dejaría de filtrarla. La filtración es muy importante para evitar incrustaciones en la membrana, que la dejaría fuera de servicio

La frecuencia con la cual se retrolavará cada filtro se definirá en la planta en el momento de la puesta en marcha del equipo, este ajuste se realiza analizando las partículas en la salida de agua del retrolavado, y se setea el nuevo tiempo en caso de ser necesario.

El agua que se obtiene del retrolavado también irá, junto a la que se obtiene del rechazo de la osmosis, al desagüe, de este modo se diluirá un poco la concentración de sales en esta cañería.

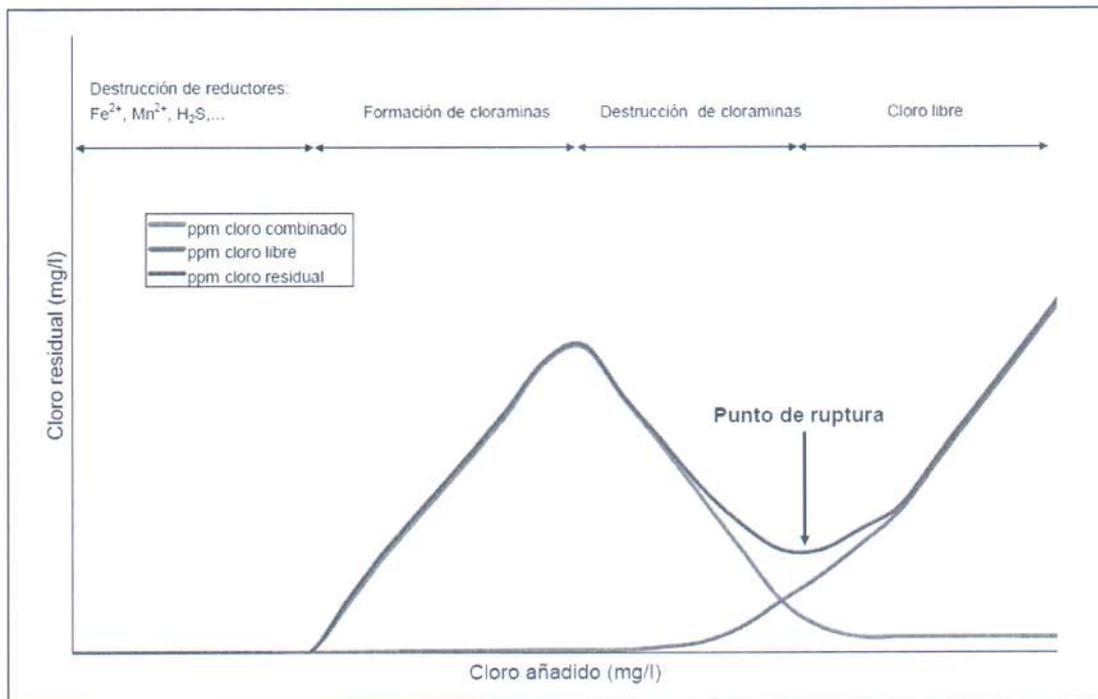
De este modo como siempre va a ver un filtro retrolavandose, el caudal de ingreso al sistema será mayor a 150 m³/h ya que necesitamos un caudal extra para realizar el retrolavado.

4.2.1. Cloración

El hipoclorito de sodio es un oxidante muy potente e inestable. El cloro además de reaccionar con los microorganismos, también lo hace con otra materia disuelta en el medio: hierro, manganeso, etc. Una característica del cloro para su uso como desinfectante es su presencia en el agua como cloro residual. Por este motivo, para tener un cierto nivel de cloro residual la cantidad necesaria que se ha de añadir es bastante superior al residual obtenido.

Por todo ello, antes de decidir la dosis de cloro que se ha de utilizar para desinfectar, se ha de determinar la demanda de cloro, es decir, la cantidad de cloro que se consume hasta la aparición del residual.

En la figura siguiente se muestra la variación de la cantidad de cloro residual en función del cloro añadido para un caso hipotético general.



Donde:

Cloro residual: fracción de cloro añadido que conserva sus propiedades desinfectantes, ya sea como cloro libre o combinado.

Cloro residual libre: cantidad de cloro presente en el agua en forma de ácido hipocloroso o hipoclorito.

Cloro residual combinado: la cantidad de cloro presente en el agua en forma de cloraminas u otros compuestos orgánicos de cloro.

- En una primera etapa, se produce la oxidación de sustancias reductoras, principalmente inorgánicas: Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S . Todo el hipoclorito que se añade se consume, con lo cual no hay cloro disponible.
- Una vez destruidas estas sustancias, se iniciaría una etapa en la que se formarían compuestos clorados, principalmente cloraminas, que surgen de la reacción del hipoclorito de sodio con los amonios que contiene el agua. Estos compuestos actuarían como cloro residual combinado, otorgando un cierto carácter desinfectante al sistema.
- Cuando todo el amoniaco y las aminas orgánicas ha reaccionado con el cloro, después del máximo de la curva, se inicia una etapa de destrucción de estos compuestos clorados formados en la etapa anterior. A pesar de añadir más hipoclorito de sodio, no se observa un aumento de la cantidad de cloro residual disponible sino una disminución, ya que se consume tanto el cloro residual combinado que se había

formado, como gran parte del hipoclorito que se añade. En la ecuación siguiente se puede observar este efecto:



La capacidad desinfectante del sistema, disminuye en esta etapa. Comienza en esta etapa a generarse cloro residual libre.

- Después del punto de ruptura (breakpoint), todo el cloro que se añade se mantiene como cloro libre, ya que se han destruido las cloraminas anteriormente formadas. Así pues, se considera que a partir de este punto tanto la desinfección como la eliminación de materia orgánica oxidable por cloro, se ha llevado a cabo y el agua tiene un cierto valor de cloro libre residual.

La demanda de cloro es la diferencia existente entre la cantidad de cloro aplicada al agua y la de cloro residual libre al finalizar este proceso. Así pues, podemos considerar que la demanda de cloro aproximadamente coincide con la dosis a la que se alcanza el punto de ruptura.

El cloro libre residual puede presentarse en forma de Cl_2 , HClO y/o ClO^- , dependiendo del pH de trabajo y por lo tanto corresponde a la suma de estas tres especies.

Habitualmente la determinación de cloro residual en aguas se realiza por reacción con o-tolidina o bien N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD). La primera de ellas se realiza de forma simple, pero presenta el inconveniente de que no permite una buena diferenciación entre el cloro residual libre y el combinado. La o-tolidina reacciona rápidamente con el cloro libre, pero a partir de los 5 segundos también reacciona con el combinado, de forma que no se puede cuantificar ambos por separado, ya que es casi imposible realizar el análisis por separado en una escala tan corta de tiempo. Al no poder determinar si realmente existe cloro libre (y en qué cantidad), podemos tener un agua mal clorada: alto contenido en cloro combinado, pero ausencia de cloro libre (es decir, estaríamos clorando por debajo del punto de ruptura).

Por lo anteriormente expuesto, es más recomendable el uso de DPD, que si permite distinguir entre cloro libre y combinado. La DPD, a pH entre 6.2 y 6.5 da lugar a una coloración rojiza que es proporcional a la cantidad de cloro libre presente en el medio. Por comparación con una escala de color se puede determinar la cantidad de cloro libre. Sobre la misma muestra, se añade yoduro potásico, que libera el cloro

combinado y hace que éste reaccione con la DPD, con lo que finalmente tenemos la lectura de cloro residual total. Por diferencia entre ambos valores, podemos determinar el cloro residual combinado.

Una forma más precisa de realizar esta determinación es utilizando un fotómetro, que es un instrumento que realiza la lectura de la intensidad de color y permite relacionarla directamente con la concentración de los productos. La determinación colorimétrica de cloro por reacción con DPD está reconocido como el método estándar de la EPA 4500-Cl G. Otro sistema de determinación de cloro es el método amperométrico. En él, se produce la reducción del cloro en solución, lo que genera una intensidad de corriente que es proporcional a la concentración de cloro. Existen versiones para determinar sólo cloro libre o para determinar cloro total. La gran ventaja de este método es la posibilidad de realizar lecturas en continuo lo que permite un control en línea de la cloración

Las cantidades de cloro libre residual recomendadas por los organismos competentes para aguas potables oscilan entre 0.5 y 1.0 ppm. No obstante, se trata de cloro libre, es decir, esta cantidad no es el cloro añadido, puesto que parte de éste se ha consumido por sustancias presentes en el agua (demanda de cloro).

Hasta este momento no hemos tenido en cuenta en ningún momento la velocidad de reacción del cloro (hipoclorito) con los microorganismos. En este aspecto, conviene definir el concepto Ct, que es el producto de la concentración de hipoclorito dosificada por el tiempo de contacto entre el cloro y el microorganismo, para asegurar la desinfección deseada. El valor de Ct depende del microorganismo en cuestión y la temperatura del agua. Además, tal y como se ha podido ver anteriormente, la actividad del hipoclorito está muy influenciada por el pH; es decir, en términos de desinfección no es lo mismo tener 5 ppm a pH 7 que tenerlos a pH 8. Por este motivo, Ct también depende del pH del agua. En la tabla siguiente se muestra un ejemplo de Ct. Se puede observar que estos valores también dependen de la concentración de cloro disponible. El producto Ct se expresa como mg·min/l, es decir, tiene dimensiones de concentración por tiempo.

Concentración Cloro (mg/l)	pH 6.5			pH 7.5			pH 8.5		
	90%	99%	99.9%	90%	99%	99.9%	90%	99%	99.9%
0.6	15	30	45	21	43	64	31	61	92
1.0	16	31	47	22	45	67	33	65	98
1.4	16	33	49	23	47	70	34	69	103

1.8	17	34	51	25	49	74	36	72	108
2.2	18	35	53	26	51	77	38	75	113
2.6	18	37	55	27	53	80	39	78	117
3.0	19	38	57	28	55	83	41	81	122

4.2.2. Proceso de filtración:

La filtración es un proceso físico químico que consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una solución acuosa que fluye a través de un medio filtrante. El proceso de filtración es considerado como el resultado de dos mecanismos complementarios: transporte y adherencia. Las partículas a filtrar deben ser transportadas desde la solución a la superficie de los granos que componen el medio filtrante, y entonces deberán quedar adheridas a dicha superficie a través de fuerzas de atracción. Luego de que el filtro haya quedado cargado de impurezas, se debe realizar un contralavado o retrolavado con una duración que varía entre 15 y 60 minutos, permitiendo la remoción de impurezas adheridas y posterior reacomodo del lecho mediante la expansión.

La filtración con zeolita, es una tecnología de filtración relativamente nueva, con una capacidad muy superior a la lograda por los filtros convencionales (filtro multicapas). Las zeolitas son minerales naturales, pertenecientes a la familia de los aluminosilicatos, altamente cristalinos, de superficie muy irregular y gran porosidad que le confiere propiedades notables de filtración. La mayor capacidad, genera la posibilidad de utilizar caudales más altos y por lo tanto, equipamientos menos costosos respecto a los necesarios en filtros tradicionales. Además, la capacidad de carga es muy superior a los filtros multicapas (1,5 veces) y a los filtros de arena (2,8 veces), lo que permite carreras de filtración más largas y contralavados menos frecuentes.

Luego de que el agua cruda haya sido filtrada es ingresada a los filtros de carbón activado, que como dijimos se compone de una batería de 12 filtros con cabezales automáticos, en este sistema se retrolavará de a un filtro también, pero cada uno con una frecuencia no inferior a las 24 hs, y el agua como producto de ese contralavado se devolverá a las piletas de alimentación del sistema, por ser un a calidad de agua muy buena con un pequeño arrastre de polvillo del carbón activado. Todo esto con la misma presión del sistema de bombas de baja presión.

4.2.3. Descripción del carbón activado:

Es un material que se obtiene por carbonización de distintos tipos de maderas o productos vegetales, que luego son molidos hasta el tamaño deseado y finalmente activados mediante procesos de alta temperatura en atmósfera libre de oxígeno para evitar la combustión del carbón.

De esta forma se habla de carbones activados de origen bituminoso, de lignita, de cáscara de coco, de turba, etc.

Una de las características principales de los carbones activados es su gran superficie de contacto en relación al volumen o a la masa del mismo. Esto favorece aquellas reacciones químicas o fenómenos de superficie, tal como la adsorción.

Si bien en distintas aplicaciones es posible encontrar carbones activados de muy distinta granulometría, en el tratamiento del agua se usa habitualmente el carbón activado granular, con tamaños de partículas comprendidos entre 0,5 y 1,5 mm.

La aplicación más común del carbón activado es para la deoloración del agua. La cloración del agua es uno de los procesos más utilizados para la desinfección de la misma en los procesos de potabilización. En otros procesos industriales también se utiliza para eliminar la materia orgánica. El problema aparece cuando existen procesos donde el cloro resulta inaceptable (el cloro es un oxidante fuerte), ya sea por que produce un mal gusto, ataca componentes del producto, o ataca materiales tales como las resinas de intercambio iónico o las membranas de ósmosis inversa o electrodiálisis.

La deoloración consiste en un mecanismo complicado que puede seguir distintos caminos de reacción en los que el carbón activado puede intervenir como reactivo o como catalizador.

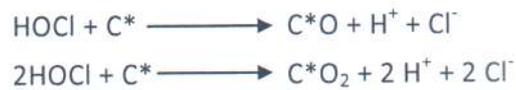
El cloro libre puede adicionarse al agua en forma de cloro gas, solución de hipoclorito de sodio, o tabletas -gránulos- de hipoclorito de calcio. En cualquiera de estos casos, el resultado es el mismo, quedando el cloro disuelto en forma de ácido hipocloroso (HOCl), un ácido débil que tiende a disociarse parcialmente, como sigue:



Es necesario eliminar el cloro libre residual, mediante carbón activado granular.

Cuando el carbón se expone al cloro libre, se llevan a cabo reacciones en las que el ácido HOCl o el OCl^- se reducen a ión cloruro (Cl^-). Dicha reducción es el

resultado de distintos caminos de reacción posibles. En dos de los más comunes, el carbón activado granular actúa como un agente reductor, de acuerdo con las siguientes reacciones:



Donde C^* representa al carbón activado. C^*O y C^*O_2 son óxidos superficiales, que poco a poco van ocupando espacios, que al quedar bloqueados, ya no participan en la reacción. Algunos de estos óxidos se liberan hacia la solución como CO y CO_2 . Esto vuelve a dejar espacios disponibles que por lo tanto aumentan la capacidad del carbón activado granular para esta reacción de reducción. En cuanto al Cl^- , también se acumula en la superficie del carbón durante los primeros momentos de operación. Al seguir llegando HOCl ó OCl^- a la superficie del carbón, la reacción se hace un poco más lenta, y entonces se empieza a liberar el Cl^- . Esta disminución de velocidad se debe al envenenamiento del carbón con los óxidos superficiales. Dicho envenenamiento continúa de manera gradual, mientras disminuye la capacidad, tanto de adsorción como de decoloración del carbón activado.

En las reacciones anteriores puede intervenir OCl^- en lugar de HOCl , con la diferencia que no se produce H^+ . Puede observarse que el CA reacciona y por lo tanto desaparece. Si no hubiera acumulación de óxidos superficiales, la reacción continuaría hasta la desaparición completa del carbón.

Otra aplicación frecuente es la eliminación de trazas de materia orgánica que puede transmitirle gustos desagradables al agua. Esta materia orgánica también puede producir problemas en las resinas de intercambio iónico, sobre todo en las aniónicas, y favorecer los desarrollos microbiológicos, lo que constituye un problema no solo desde el punto de vista sanitario, sino también por el ensuciamiento de membranas de ósmosis inversa, entre otros problemas.

La capacidad de un carbón activado para retener una sustancia determinada no sólo está dada por su área superficial, sino por la proporción de poros cuyo tamaño sea el adecuado, es decir, de una a cinco veces el diámetro de la molécula de dicha sustancia. Si se cumple esta condición, la capacidad de un carbón activado puede ser de entre el 20% y el 60% de su propio peso, es decir, 1 Kg de carbón retendrá entre 200 y 600 grs. del contaminante.

En contra de lo que suele creerse, la capacidad de un carbón activado no aumenta por más pequeño que sea su tamaño de partícula. Esto se debe a que, por más fino que se muele un carbón, su área superficial prácticamente no aumenta (el área superficial se da a un nivel molecular inafectable por métodos mecánicos). No obstante, la cinética (velocidad de adsorción) sí aumenta sustancialmente al disminuir el tamaño de partícula del carbón. Esto se traduce en que, mientras menor es el tamaño de partícula de un carbón, se requieren lechos más pequeños para lograr un determinado desempeño.

Por otro lado, mientras menor es el tamaño de partícula de un carbón granular, mayor es la caída de presión y, por lo tanto, aumenta el costo para lograr el flujo a través del mismo.

De lo anterior se concluye que en todos los casos debe usarse el menor tamaño de carbón, siempre y cuando sea mayor el beneficio de requerir un lecho menor el costo de hacer circular el fluido a través de la misma.

Cuando el agua a tratar ya está filtrada y no tiene sólidos en suspensión, el filtro de carbón activado puede trabajar mucho tiempo sin que la pérdida de carga aumente, exigiendo un contralavado del mismo. Sin embargo, trabajar mucho tiempo sin contralavarlo puede llevar a una compactación del manto, con producción de canalizaciones, que afecta seriamente el resultado del tratamiento. Por ello resulta conveniente contralavarlos periódicamente, independientemente de que no se eleve la pérdida de carga. En algunas industrias, como la de bebidas, es norma contralavarlos al menos una vez por día. En otras industrias este período se alarga. No es aconsejable dejar pasar más de una semana sin contralavar el equipo.

Otra cuestión importante es la sanitización de los filtros de carbón activado. En efecto, el carbón activado elimina el cloro, lo que permite los desarrollos microbiológicos, que se ven favorecidos por la gran superficie del material. Por ello, periódicamente es necesario sanitizarlos (eliminar los microorganismos que puedan haberse desarrollado).

La carrera de un filtro (tiempo entre sanitizaciones) depende del origen del agua, y varía mucho de una instalación a otra. Es posible encontrar instalaciones donde se sanitiza cada 15 días, o más, y otras donde hay que hacerlo día por medio, o aún más frecuentemente.

En nuestro caso tendremos 12 filtros de carbón activado, siendo los mismos totalmente comerciales, tanques de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) y cabezales automáticos. Este es el principal agregado al sistema de tratamiento de

agua, ya que como habíamos dicho que el equipo quedó fuera de servicio por el ingreso de agua clorada en las membranas. La elección de los 12 tanques tiene dos motivos, primero de mandar a fabricar los tanques los mismos deben ser de acero inoxidable calidad AISI 316, por la alta cantidad de cloruros que posee el agua, debiendo ser tres, ya que dos siempre estarán en servicio, y a parte del alto costo de la fabricación de los tanques se deben sobredimensionar las cañerías para el retrolavado del tercero mientras los otros dos están en operación.

Otro aspecto a considerar es que siendo los mismos comerciales, al igual que el cabezal o “multi-válvula”, se puede tener uno de repuesto para un rápido recambio en caso de ser necesario. También evitamos tener múltiples válvulas actuadas en los de acero inoxidable, ya que para poder poner en proceso en forma automática cada uno de los tres filtros de AISI 316 serán necesarias cinco válvulas actuadas, sumando un total de quince y que requerirán mayor mantenimiento y demanda de aire comprimido, además de cañerías de mayor diámetro, y en el caso de salir uno de servicio, por rotura o mantenimiento, de los dos que quedan al entrar uno en retrolavado, solo quedara uno operativo, teniendo que disminuir a la mitad la producción de agua permeada.

Con los doce filtros nos aseguramos de tener una respuesta rápida al momento de necesitar un recambio, si uno sale de servicio y otro entra en regeneración tenemos diez filtros operando, que luego de la memoria de cálculo se verá que seguirá siendo operativo el sistema, también tendremos cañerías de menor diámetro por lo que son de menor costo, y evitamos las válvulas actuadas ya que el cabezal es eléctrico y cada filtro contara sólo con válvulas de bloqueo a su entrada y salida para no detener la producción de agua en el caso de ser necesario un mantenimiento o recambio.

Como dijimos estos filtros también tienen la necesidad de ser retrolavados, aunque en este caso no es para remover sedimentos, ya que estando bien la batería de filtros multimedia el agua llegara en buenas condiciones, en lo que se refiere a partículas en suspensión. La finalidad es eliminar el polvillo del carbón, el cual se va generando por la abrasión entre el mismo carbón debido al pasaje del agua, y la descompactación del lecho para evitar la canalización. El retrolavado se recomienda realizarlo como mínimo cada 24 hs, de todos modos el intervalo como el tiempo se termina de ajustar siempre en campo. El agua como producto de retrolavado es devuelta a las piletas de alimentación.

4.2.4. Osmosis inversa

Luego de esto se ingresa al sistema de osmosis inversa, compuesto por dos equipos de 48 membranas cada uno, donde se alimenta con 75 m³/hs cada uno y produciendo unos 50 m³/hs cada uno, antes del ingreso a ambos colocamos un analizador de ORP, el cual mide el potencial REDOX [mV], ya que debe estar totalmente libre de cloro.

Cada sistema de osmosis inversa cuenta a la entrada con un filtro de partículas de 5 µm, una bomba de alta presión (está determinada por la simulación del fabricante de membranas con el análisis del agua a tratar), una vez elevada la presión ingresa a la membranas, dispuestas en tubos de presión, donde se divide en dos corrientes, una permeado que es de las dos terceras partes y la restante es la de concentrado o rechazo, la que se encuentra saturada en sales.

Luego el agua permeada por intermedio de una bomba (por cada sistema de osmosis) en línea es impulsada hacia el tanque de la planta, que se encuentra a unos 20 mts. de altura, también se aprovecha esta agua para llenar un tanque de 10 m³, que esto servirá para inundar el sistema si un equipo debe detenerse para evitar la corrosión, ya que va a quedar inundado con agua libre de sales.

CAPITULO 5

5. Calculo mecánico.

5.1. Introducción

Con el objeto de definir la presión de entrada a la Ósmosis Inversa, los caudales de agua producto y rechazo y la calidad de agua como producto, es que utilizamos una “Simulación”, que realizamos mediante un software de membranas de la firma Toray, el cual se encuentra disponible en su sitio web (www.toraywater.com).

En dicho programa se colocan los datos provenientes del análisis del agua realizadas en el laboratorio, y en nuestro caso como tenemos un equipo existente, que consta de dos Ósmosis Inversa en paralelo, y por eso ya contamos con la cantidad de membranas que vamos a utilizar como así también las etapas del cada equipo, que son dos etapas. Es decir con el agua de alimentación alimentamos ocho tubos de presión en paralelo donde obtenemos dos corrientes una es el agua permeada o producto y la restante el rechazo o concentrado, ésta última corriente es la utilizada para alimentar la segunda etapa compuesta por cuatro tubos de presión en paralelo, donde también se producen dos corrientes, permeado y concentrado. Cada tubo de presión contiene seis membranas por lo que en total utilizaremos 144 membranas.

A continuación se encuentra la simulación (Tabla 5.1) arrojada por el programa de donde obtenemos datos importantes como los caudales y la presión necesaria para el ingreso a las membranas.

Resultados obtenidos:

- Presión de alimentación: 15,19 bar
- Presión de concentrado: 13,45 bar
- Agua producto: 50 m³/h
- Agua rechazo: 26,92 m³/h

Tabla 5.1

*** TORAY MEMBRANE REVERSE OSMOSIS SYSTEM DESIGN *** page 1

Project name : G.Villegas Case: 1 Date: 28/06/2010 03:04
Project title:

Prog-Version: 1.1.66 * Update: 8-SEP-2009 ** El-Version: 2539 * Update: 19.Aug.2009

1. RO-SYSTEM DATA

Feed water type Brackish Well or Softened Tapwater
Feed temperature 18,00 deg.C (design)
RO feed pressure 15,19 bar after 3 years
Total diff.-pressure 1,74 bar feed - brine incl. dP manifolds+pipe
Brine pressure 13,45 bar at exit from last bank
Design period 3,00 years
Fouling Factor 0,85 after 3 years
Salt passage increase 33,00 % after 3 years (10% per year)
Silt density index 3,00 in RO-feed (SDI_15)
System recovery 65,00 %
System feed flow 76,92 m3/h = 1846,15 m3/d
Product flow 50,00 m3/h = 1200,00 m3/d
Average system flux 0,45 m/d = 18,69 l/m2/h = 11,01 GFD
Brine flow 26,92 m3/h = 646,15 m3/d
Feed salinity 7287,56 mg/l as ion
Product salinity 364,92 mg/l as ion after 3 years
Brine salinity 20142,27 mg/l as ion

2. BANK DATA

		1	2
Membrane Elements Type		TMG20- 400	TMG20- 400
Membrane Elements	pcs	48	24
Elements/Vessel	pcs	6	6
Pressure vessels	pcs	8	4
Recovery rate	%	55,14	22,00
Feed flow	m3/h	76,92	34,51
Product flow	m3/h	42,42	7,59
Average flux	l/m2/h	23,78	8,51
Brine flow	m3/h	34,51	26,92
Feed pressure	bar	15,19	14,40
dP elements	bar	0,80	0,95
dP manifolds+pipe	bar	0,00	0,00
Brine pressure	bar	14,40	13,45
Perm. pressure	bar	0,00	0,00
Lead element			
Feed flow	m3/h	9,62	8,63
Product flow	m3/h	1,25	0,46
Flux rate	l/m2/h	33,74	12,47
Last element			
Product flow	m3/h	0,52	0,20
Product:Brine ratio 1:		8,34	33,26
Brine	m3/h	4,31	6,73
Net driving press. bar		3,08	0,21

*** TORAY MEMBRANE REVERSE OSMOSIS SYSTEM DESIGN *** page 2

Project name : G.Villegas Case: 1 Date: 28/06/2010 03:04
Project title:

3. WATER ANALYSIS as mg/l ion	Orig feed	Treated feed	Conc. Brine	Exp. Permeate
Calcium	200,40	200,40	565,45	3,84
Magnesium	110,00	110,00	310,38	2,11
Sodium	2258,78	2258,78	6218,89	126,41
Chloride	2900,00	2900,00	7988,16	160,22
Sulfate	1280,00	1280,00	3590,20	36,05
Nitrate	11,80	11,80	31,20	1,35
Bicarbonate	524,69	524,14	1413,96	35,10
Carbonate	1,89	1,88	12,82	0,01
Free CO2	18,30	18,70	24,36	18,58
Total as ion	7287,56	7287,28	20142,27	364,92
Total as meq/l	117,30	117,30	324,25	5,86
EC uS/cm	10266,09	10265,89	25874,05	653,45
CO2 EC uS/cm	4,84	4,89	5,60	4,88
pH Value	7,60	7,60	7,87	6,50
Langelier Index	0,85	0,84	1,96	-3,06
Stiff Davis Index	0,55	0,54	1,23	-2,93

4. PRETREATMENT

Measure against CaCO₃-scale : None
SO₄- and CO₃-Scale inhibitor: None
Saturation index in brine : 0,0 max. (Stiff Davis Index)

5. RECOVERY LIMITS

for	IP_Brine	Saturation	Max.Recov.
CaSO ₄	5,27E-4	61,0%	72,7%
BaSO ₄	0,00E0	0,0%	95,0%
SrSO ₄	0,00E0	0,0%	95,0%
CaF ₂	0,00E0	0,0%	95,0%
Silica		0,0%	95,0%

6. POST-TREATMENT

Measure against permeate : None

5.2. Definiciones y formulas

Densidad del agua: Se la define como el cociente entre la masa y el volumen de una cantidad cualquiera de materia. En el caso del agua el valor es de 1 kg/l, y se la designa con la letra minúscula griega, ρ [$\frac{kg}{m^3}$].

$$densidad = \frac{masa}{volumen}$$

$$\rho = \frac{m}{vol}$$

Peso específico: Se la define como la densidad del agua, en nuestro caso de interés, por la gravedad, w [$\frac{N}{m^3}$]

$$w = \delta * g$$

Viscosidad: es una medida de la resistencia que tiene el fluido a fluir, se la denomina con la letra μ [$N * \frac{s}{m^2}$]

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dV}{dy}}$$

τ = tensión de corte [$\frac{N}{m^2}$]

dV/dy = gradiente de velocidad (Figura 5.2)

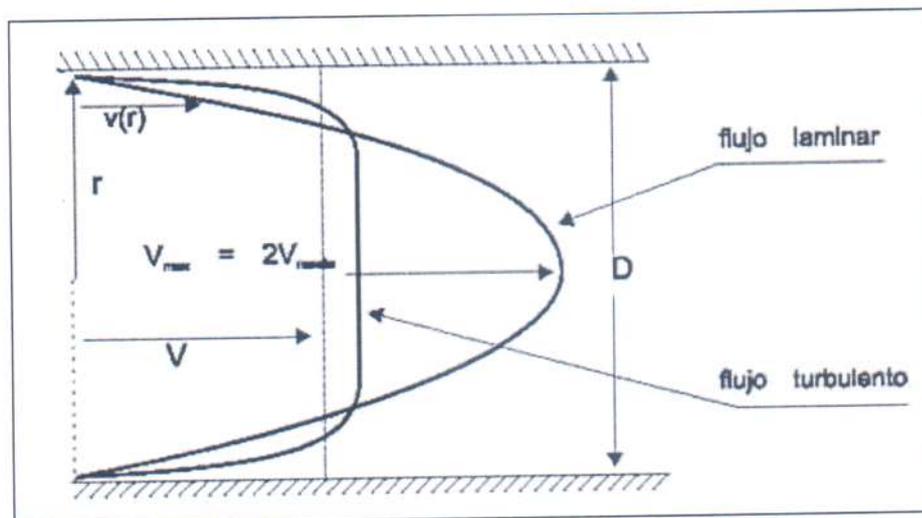


Figura 5.2 - Gradientes de velocidad para flujos Laminares y turbulentos

Velocidad: esta depende del tamaño de la cañería, más precisamente del diámetro interno y el caudal de agua, $V \left[\frac{m}{s} \right]$.

La velocidad a través de la cañería se considera como un valor constante, aunque hay una variación en la sección transversal de la cañería. La velocidad en la pared del caño será cero aumentando a un máximo al centro del caño.

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

Q: caudal $\left[\frac{m^3}{h} \right]$

A: area $[m^2]$

Para verificar las cañerías existentes y diseñar las nuevas consideraremos como velocidades mínimas y máximas las siguientes:

$V_{\min} = 0,5 \frac{m}{s}$, este valor es que en velocidades inferiores podemos empezar a tener deposiciones de sedimentos en el fondo de la cañería.

$V_{\max} = 2,5 \frac{m}{s}$, velocidades superiores a este valor a parte de producir grandes ruidos en la cañería, provocan erosión en las cañerías, aumenta la pérdida de carga ya que depende de la velocidad, al igual que la energía. Esta última es de especial interés ya que de haber un cambio brusco de energía en algunos tramos de la cañería puede llegar a producir cavitación y sufrir daños sobre todo en bombas y válvulas de regulación.

Energía: para expresar al energía transportada por un fluido empleamos la ecuación de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g}$$

- Z_1 = desnivel de un punto 1 cualquiera de un fluido sobre una cota de referencia, o cota cero $[m]$.
- Z_2 = desnivel de un punto del fluido corriente abajo sobre la misma cota cero $[m]$.
- P_1 = presión en el punto uno $[KPa]$.
- P_2 = presión en el punto dos $[KPa]$.
- w = peso específico del fluido $\left[\frac{N}{m^3} \right]$.
- V_1 = velocidad del fluido en el punto uno $\left[\frac{m}{s} \right]$.

- V_2 = velocidad del fluido en el punto dos $\left[\frac{m}{s}\right]$.
- g = aceleración de la gravedad = $9,81 \frac{m}{s^2}$.

El primer miembro de la ecuación expresa la energía total del fluido por unidad de peso en el punto uno; el segundo miembro expresa la energía total del fluido por unidad de peso en el punto dos. Dicha ecuación es válida para un fluido ideal. Por lo tanto para aplicarla hay que tener en cuenta la pérdida de carga total debido al rozamiento mediante el término llamado pérdida de carga (de presión) $[m]$. Éste término h_f se añade al segundo miembro de la ecuación de Bernoulli, quedando de esta manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

De esta manera la energía contenida en un volumen elemental de fluido es función de su altura, su velocidad y su presión.

La energía debida al desnivel es la energía potencial y vale WZ , siendo W el peso, $[M]$, del fluido contenido en el volumen elemental. La energía debida a la velocidad es la energía cinética y vale $WV_a^2/2g$, siendo V_a la velocidad. La energía piezométrica vale WP_a/w donde P_a es la presión.

Por lo tanto la energía total del volumen elemental de fluido es:

$$E = WZ_a + \frac{WP_a}{w} + \frac{WV_a^2}{2g}$$

Dividiendo por W ambos miembros obtenemos la energía por unidad de peso del fluido en movimiento, o altura de carga total $[m]$.

$$H = Z_a + \frac{P_a}{w} + \frac{V_a^2}{2g}$$

Una parte importante que nos será útil se refiere a los modelos y semejanzas físicas.

Un modelo físico es un sistema cuyo funcionamiento puede emplearse para predecir las características de un sistema similar, habitualmente más complejo o construido a una escala mucho mayor.

Los cocientes de la fuerza de gravedad, viscosidad y tensión superficial y la fuerza de inercia se conocen respectivamente como numero de Froude¹¹, numero de Reynolds y numero de Weber.

Igualando los números de Froude del modelo y el prototipo se asegura que las fuerzas gravitatorias e inerciales están en la misma proporción.

El número de Froude es:

$$F = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

- F = numero de Froude [adimensional]
- V = velocidad del fluido [$\frac{m}{s}$]
- L = dimensión lineal (característica tal como altura, diámetro)[m]
- g = aceleración de la gravedad = [$9,81 \frac{m}{s^2}$]

Análogamente, igualando los números de Reynolds del modelo y el prototipo se asegura que las fuerzas viscosas e inerciales están en la misma proporción.

$$R = \frac{VL}{\nu}$$

- R = numero de Reynolds [adimensional]
- ν = viscosidad cinemática del fluido [$\frac{m^2}{s}$]

Cuando predominan las fuerzas de viscosidad y las de inercia, se igualan los números de Reynolds del modelo y del prototipo. Las fuerzas de viscosidad suelen predominar cuando el flujo está confinado, como puede ser en el interior de una tubería sin superficie libre

Por último vamos a mencionar el número de Weber, donde tiene especial interés en estudio de fenómenos ondulatorios. De interés en canales abiertos y ríos en donde la pendiente del rozamiento es relativamente uniforme.

$$W = \frac{V^2 L \rho}{\sigma}$$

- σ = tensión superficial [$\frac{N}{m}$]
- ρ = densidad del fluido [$\frac{kg}{m^3}$]

¹¹Froude, número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.

Ahora vamos a ver directamente el flujo en cañerías.

Tenemos dos tipos de flujos laminar y turbulento.

Flujo laminar

Las partículas del fluido se mueven en capas paralelas en una misma dirección. La distribución parabólica de velocidades propias del flujo laminar crea una tensión cortante $\tau = \mu dV/dy$.

Conforme aumenta esta tensión cortante, las fuerzas de viscosidad dejan de ser capaces de amortiguar las perturbaciones y así se forma el flujo turbulento. La zona donde tiene lugar ese cambio depende de la velocidad, la densidad y la viscosidad del fluido.

Un criterio para determinar si un flujo es laminar o turbulento se basa en el valor de un parámetro adimensional llamado número de Reynolds, que es la fórmula definida anteriormente, con la diferencia que en lugar de dejarla expresada en su longitud L , lo haremos en su diámetro D .

$$R = \frac{VD}{\nu}$$

En tuberías circulares el flujo es laminar para números de Reynolds menores a 2000 y con números mayores a 2000 es inestable. Entonces cualquier perturbación es amplificada y se convierte en turbulento.

En el flujo laminar, considerando las fuerzas actuantes sobre un cilindro de fluido en una tubería, puede obtenerse la fórmula siguiente de la pérdida de carga:

$$h_f = 32\mu \frac{LV}{D^2\rho g} = 32\mu \frac{LV}{D^2w}$$

- h_f = pérdida de carga por rozamiento [m]
- w = peso específico del fluido [$\frac{N}{m^3}$]
- L = longitud del tramo de cañería considerado [m]
- g = aceleración de la gravedad = [$9,81 \frac{m}{s^2}$].

Introduciendo el número de Reynolds se obtiene:

$$h_f = 64 \frac{LV^2}{RD^2g}$$

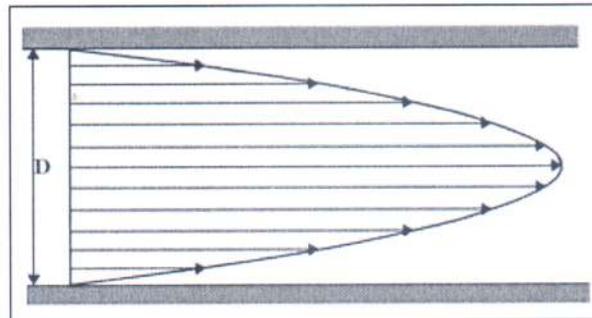


Figura 5.3

En un tubo circular, la distribución de velocidades en un flujo laminar es parabólica (Figura 5.3). La velocidad máxima es el doble que la velocidad media.

Flujo turbulento

En este flujo las fuerzas de inercia son tan grandes que las fuerzas de viscosidad no pueden amortiguar las perturbaciones causadas primordialmente por la rugosidad superficial. Estas perturbaciones crean remolinos, que poseen una velocidad tanto de rotación como de traslación. La traslación de esos remolinos ejerce una acción mezcladora cuyo efecto es un intercambio de cantidades de movimiento en toda la sección transversal del conducto. Como resultado, la distribución de velocidades es más uniforme (Figura 5.4). El flujo turbulento tiene como propiedades:

- La pérdida de carga varía directamente con la longitud del tubo
- La pérdida de carga varía muy aproximadamente con el cuadrado de la velocidad.
- La pérdida de carga varía casi inversamente con el diámetro
- La pérdida de carga depende de la rugosidad superficial de la pared del tubo
- La pérdida de carga depende de la densidad de y la viscosidad del fluido
- La pérdida de carga es independiente de la presión

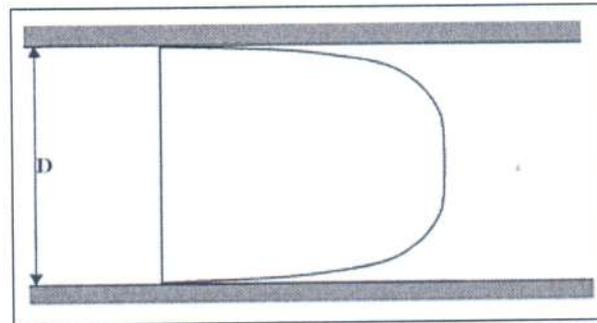


Figura 5.4

Otro parámetro importante proviene de la Fórmula de Darcy-Weissbach, es utilizada para flujo en tuberías y es válida para el flujo turbulento y laminar.

$$h_f = f \frac{LV^2}{D 2g}$$

- f = coeficiente de rozamiento [m]

Se emplea el diagrama para determinar el coeficiente de rozamiento de Darcy-Weissbach, Figura 5.5.

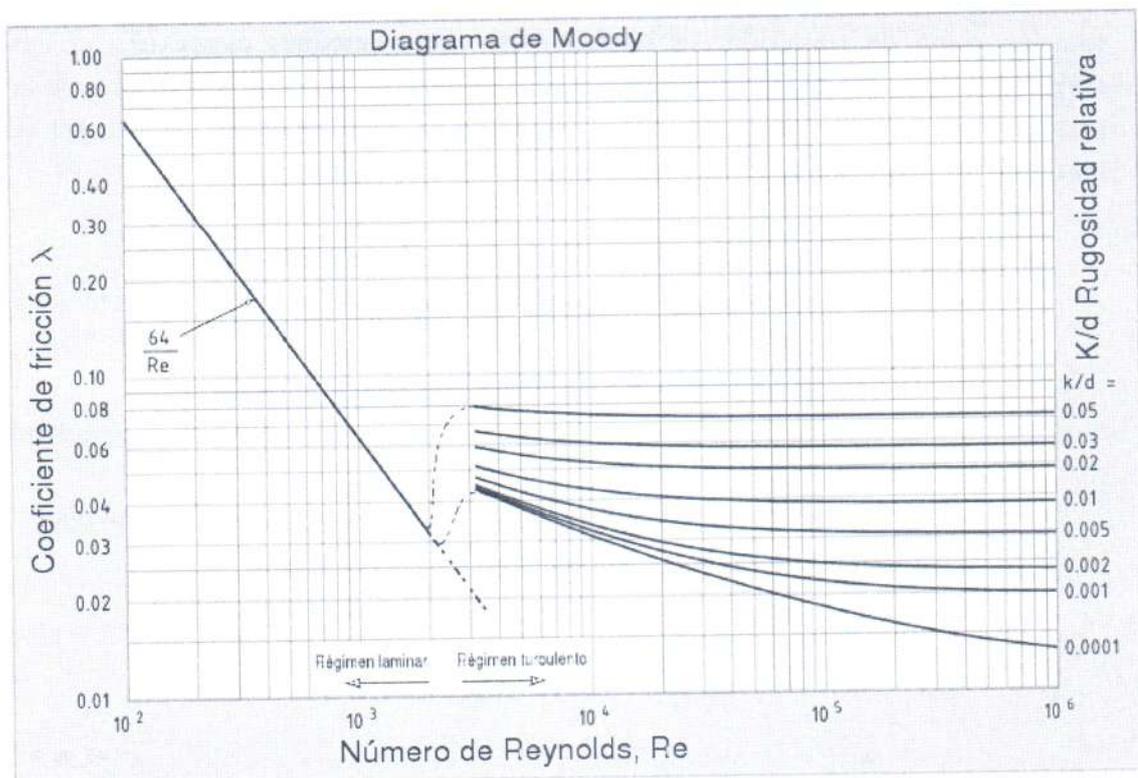


Figura 5.5

Cambios de Presión debido a variaciones en las dimensiones del tubo

En las reducciones, ensanchamientos, válvulas y demás lugares donde haya algún accesorio, se produce una pérdida de energía. En líneas cuya longitud supera 1500 veces el diámetro del tubo suele despreciarse. En nuestro caso es de interés por ser cañerías de tramos cortos y contar con varias válvulas y accesorios.

Formulas de interés para las pérdidas de carga:

Ensamchamientos bruscos

$$h_L = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

- h_L = pérdida de carga por ensanchamiento brusco [m]
- V_1 = velocidad antes del ensanchamiento [$\frac{m}{s}$]
- V_2 = velocidad después del ensanchamiento [$\frac{m}{s}$]
- g = aceleración de la gravedad = [$9,81 \frac{m}{s^2}$]

Ensamchamiento gradual

$$h_L = k \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Donde k es una constante que depende de la geometría del ensanchamiento.

Contracción brusca

$$h_L = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \frac{V^2}{2g}$$

Donde la constante C_c es la constante de contracción y esta se debe a la geometría de la reducción o contracción.

Perdidas de carga en codos y accesorios estándar.

$$h_L = \frac{K V^2}{2g}$$

Una vez más la constante k esta tabuladas en tablas dependiendo del tipo de accesorio o fitting.

Ariete hidráulico

Es la serie de choques cuyo sonido es igual al de los golpes de un martillo producidos por la repentina reducción del flujo de un fluido en un tubo.

Es una variación de presión originada por la variación de caudal, esto se origina por una onda, cuya velocidad es la siguiente.

$$U = \sqrt{\frac{E}{\rho} \sqrt{1 / \left(1 + \frac{ED}{E_p t}\right)}}$$

- U = velocidad de la onda de presión a lo largo del tubo [$\frac{m}{s}$].
- E = modulo de elasticidad del agua = $2,07 \times 10^6$ kPa]
- ρ = densidad del agua
- E_p = modulo de elasticidad del material del tubo [$\frac{N^2}{m}$]
- t = espesor de la pared del tubo[m.]

Esta variación de reducción repentina de flujo se debe al cierre de alguna válvula o a la detención de o arranque de alguna bomba. El tiempo para que una onda de presión recorra un tubo de longitud L y regrese es, $tiempo = 2L/U$, por lo que cualquier apertura y cierre de válvula o arranque o parada de bomba debería ser por lo menos igual o mayor al tiempo de la onda de presión.

5.3. Diseño y verificación del equipo existente.

5.3.1. Cálculo de equipo de bombeo baja presión

Contamos con dos bombas existentes, que son EBARA - 3M 50-200 / 9,2

La curva de la bomba por la cual nos referimos para saber el caudal y presión es la siguiente (Figura 5.6.):

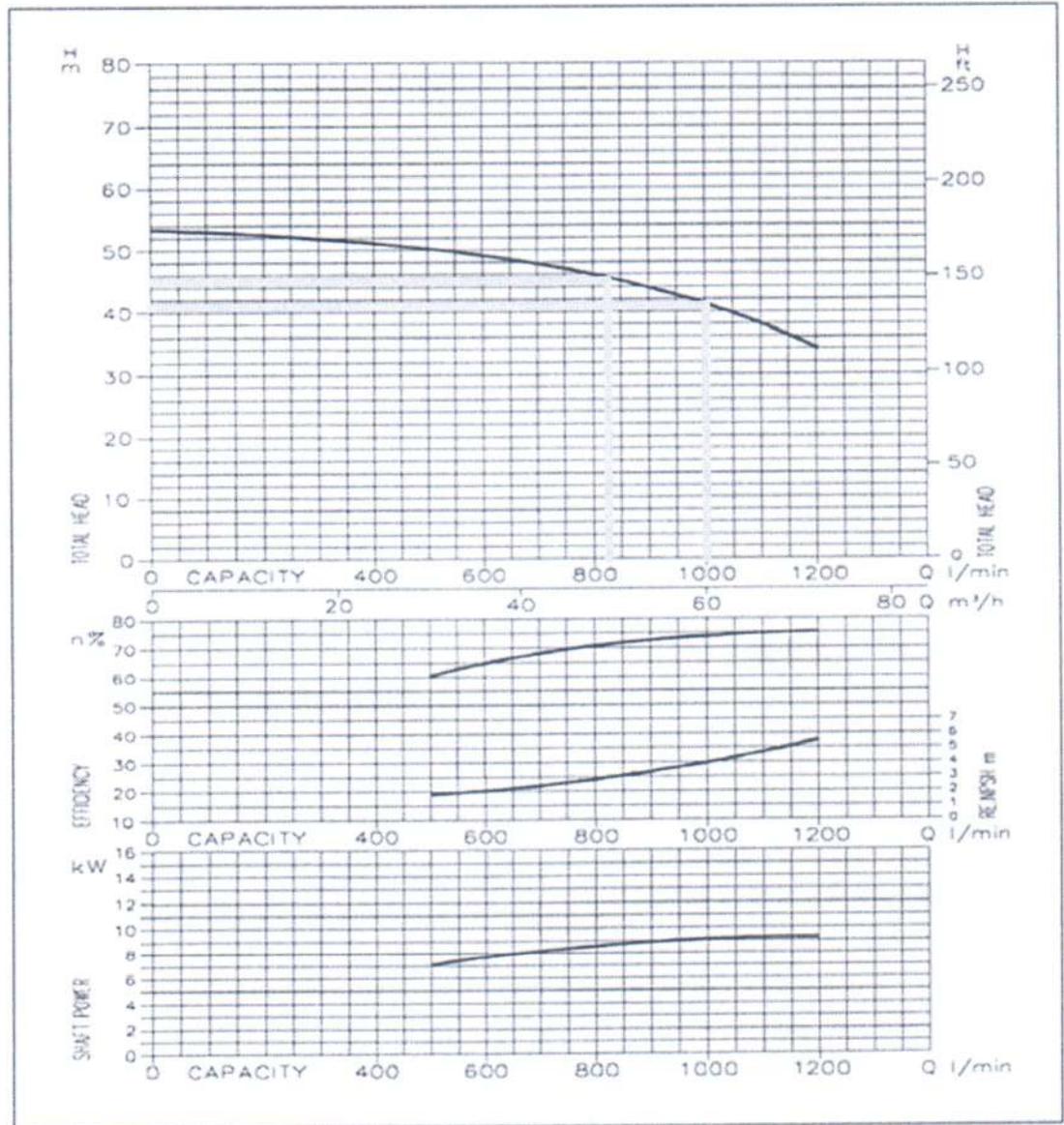


Figura 5.6

En dicho skid contamos con cinco bombas, pero una es de reserva, es decir sólo cuatro están en uso, las mismas van a impulsar un caudal total máximo $Q_{max} = 210 \text{ m}^3/h$, y un de un caudal mínimo $Q_{min} = 150 \text{ m}^3/h$, éste último suponiendo que ninguno de los dos equipos de ósmosis se encuentre detenido y además que ningún filtro multimedia o filtro de carbón activado se encuentre en proceso de retrolavado; ya que cuando ambos se encuentran en retrolavado el consumo se eleva a Q_{max} .

De acuerdo a todas las posibilidades de acuerdo a los caudales requeridos por el sistema tenemos que cada bomba va a impulsar entre $50 \text{ y } 60 \text{ m}^3/h$, eso nos

determina que trabajaremos a las siguientes presiones $P_{max} = 4,5 \text{ Kg} / \text{cm}^2$ y $P_{min} = 4 \text{ Kg} / \text{cm}^2$.

Para este skid requerimos hacer un manifold, o cañería principal que alimenta a las cinco bombas y luego las derivaciones para cada una de ellas. Para la cañería principal tenemos que el diámetro va a ser calculado en el peor de los casos que es cuando tenemos el caudal máximo, por lo tanto:

Para el cálculo del caudal partimos de la siguiente fórmula: $Q = A * V$

Donde:

- Q = caudal de agua que pasa por la cañería [m^3/h]
- A = área de la sección de la cañería [m^2]
- V = velocidad del agua [m/s]

Entonces teniendo en cuenta que el caudal máximo y sabiendo que no podemos excedernos de una velocidad de [$2,5 \text{ m}/\text{s}$], solo nos queda determinar el diámetro de la cañería. Eso lo determinamos con el área como incógnita, y como las cañerías son de sección circular el área es $A = \pi D r^2 / 4$, teniendo como única variable a determinar el diámetro.

Luego de probar con algunos valores determino que el diámetro de la cañería de PVC que vamos a utilizar es el siguiente:

$D = D200 = 8"$, y sabiendo que el espesor de la pared del tubo es de 6 mm, y al seleccionar un diámetro comercial volvemos a calcular la velocidad del agua, siendo la siguiente: $V = 2,1 \text{ m}/\text{s}$

Y para cada una de las bombas colocaremos una cañería:

$$D = D110 = 4"$$

$$V = 1,9 \text{ m}/\text{s}$$

Además cada bomba será aislada a la entrada y salida por válvulas bola y a la descarga de cada una colocaremos una válvula de retención a resorte también en PVC, abajo colocamos las curvas de dichas válvulas.

En la figura 5.7 tenemos las caídas de presión de diferentes diámetros de la válvula esférica de PVC:

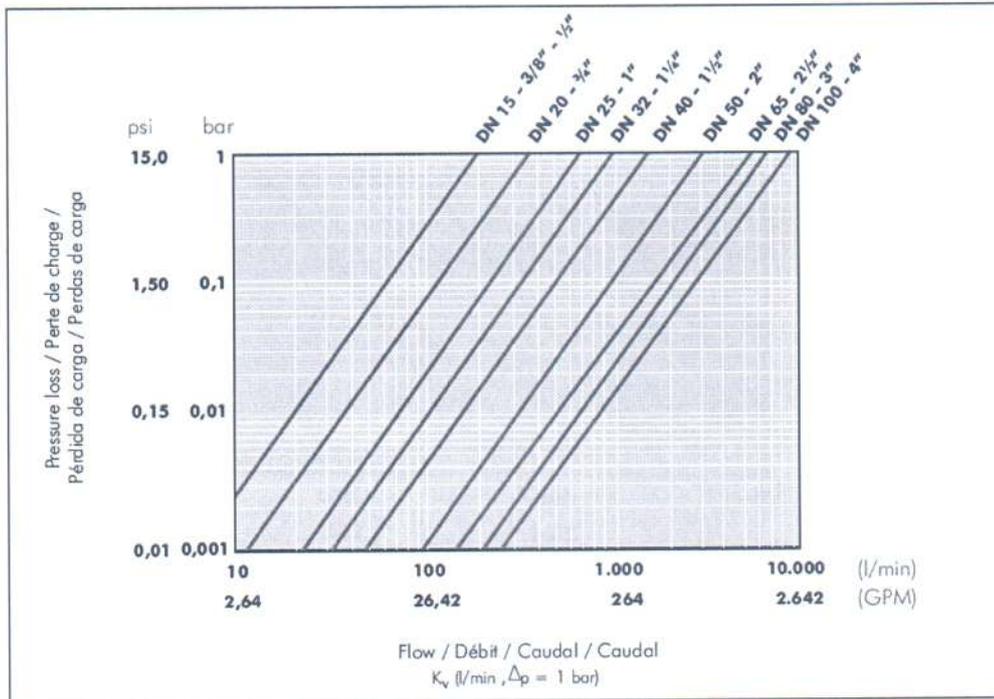


Figura 5.7

En la figura 5.8 tenemos la resistencia a la presión dependiendo de la temperatura para la válvula esférica de PVC:

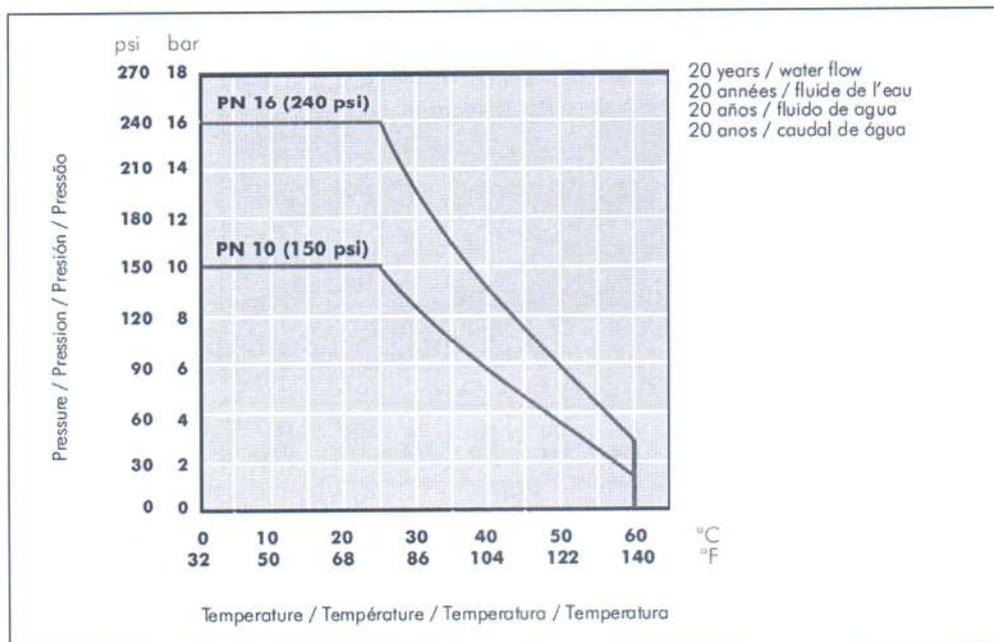


Figura 5.8

En la figura 5.9 tenemos las caídas de presión de diferentes diámetros de la válvula de retención de PVC:

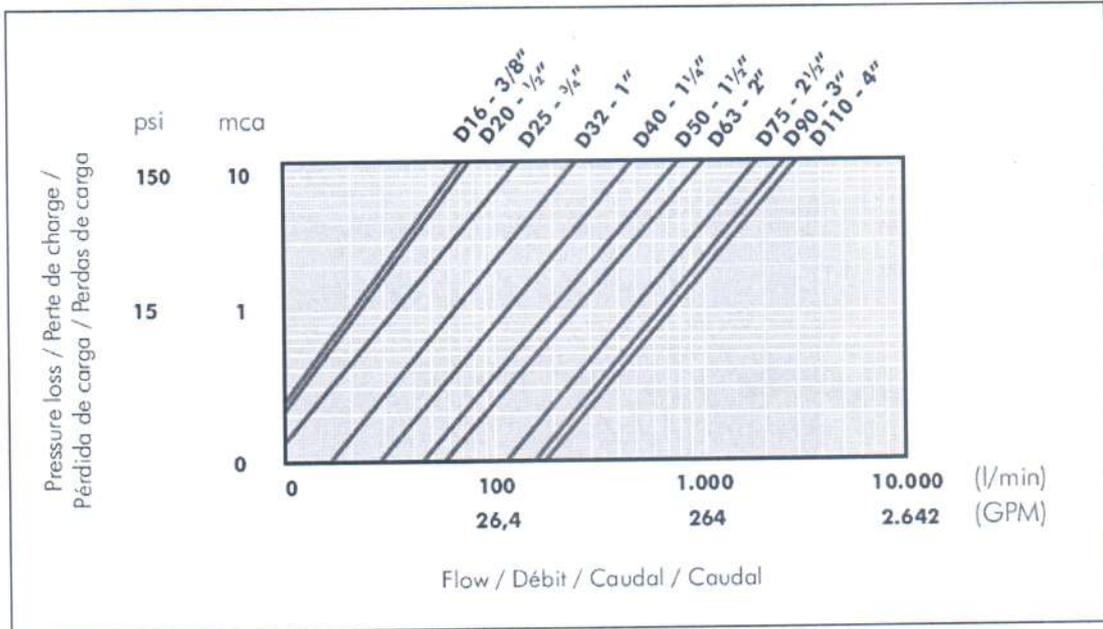


Figura 5.9

En la figura 5.10 tenemos la resistencia a la presión dependiendo de la temperatura para la válvula esférica de PVC:

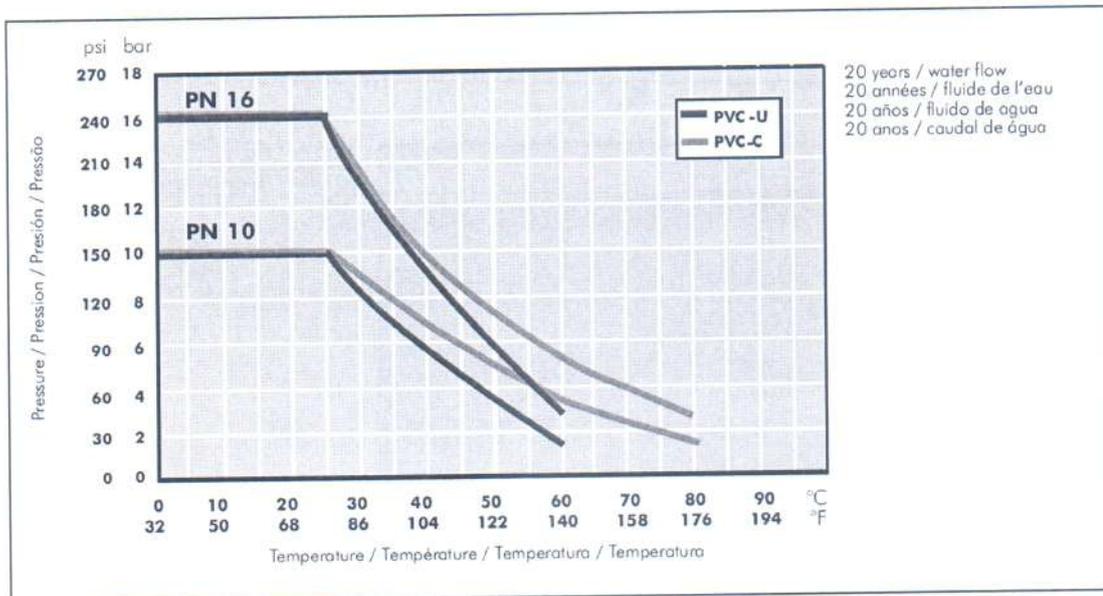


Figura 5.10

A la descarga de cada una de las bombas también colocaremos un manómetro de lectura directa en campo, cuyo rango de medición sea de $0 - 10 \text{ Kg/cm}^2$, con esto logramos visualizar inmediatamente que bomba está funcionando.

Ahora pasamos a la siguiente etapa

5.3.2. Cálculo de los Filtros Multimedia

Para ello primero vamos a ver la hoja técnica del medio filtrante (Figura 5.11) colocar ya que de esa manera podemos dimensionar las cañerías de acuerdo a los caudales requeridos por el fabricante. Sobre todo el de retrolavado; porque para el de alimentación en tendremos que basarnos en los que necesitamos para la alimentación de los dos equipos de ósmosis inversa, mas el necesario para el retrolavado de uno de los filtros de carbón activado.

El medio a utilizar es **Filter AG-Plus** de la firma **Clack**

Propiedades físicas:

- Color: canela claro a casi blanco
- Densidad seca: 801 Kg/m^3
- Peso específico: $2,2 \text{ g / cc}$
- Malla: 14x30
- Tamaño efectivo: 0,55 mm
- Coeficiente de uniformidad: 1,8
- Dureza: 4-5 (Escala Mohs)

Condiciones de operación:

- pH del agua: amplio rango
- Máxima temperatura del agua: 60°C
- Profundidad del lecho: 610 – 915 mm
- Espacio libre: 50% de la profundidad del lecho
- Caudal de retrolavado: 15 – 20 gpm/sq.ft
- Expansión del lecho para retrolavado: 20 % - 30%.
- Soporte de grava del lecho: es requerido

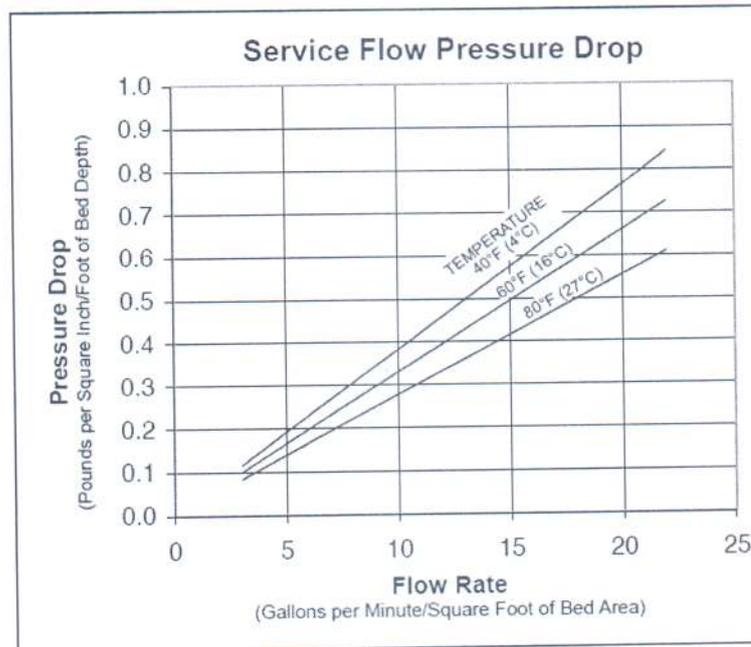


Figura 5.11.a

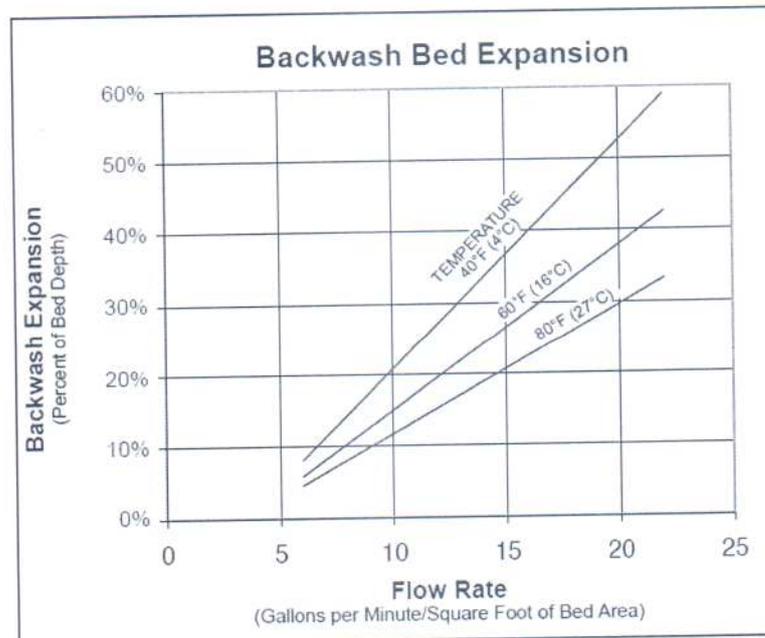


Figura 5.11.b

Volviendo al dimensionamiento de las cañerías, tenemos nueve filtros multimedia, dispuestos en tres ramales en paralelo con tres filtros cada ramal, pero vamos a suponer que uno de ellos está retrolavándose, por lo que en servicio van a ser ocho filtros, pasando un total de, $(150 \text{ m}^3/\text{h} + 23,5 \text{ m}^3/\text{h}) = 173,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Y como cada uno de los filtros ya instalado tiene 1000 mm de diámetro, eso nos da un área $A_{\text{filtro multimedia}} = \pi \frac{D^2}{4} = 0,785 \text{ m}^2$; ahora para calcular el Flux $\frac{Q}{A_{\text{filtro multimedia}}} = 27,7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, que sería 11,5 Galones per min/square foot of bed área, por lo tanto usando la mínima altura del lecho, por tener un flux bajo con respecto a lo recomendado por el fabricante, y con una temperatura del agua de entre 15 y 20 °C, tenemos una caída de presión debida al lecho de $0,05 \text{ kg/cm}^2$.

Y considerando una expansión del lecho de 25%, y con la misma temperatura del agua, tenemos un caudal de retrolavado $Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$, dicho caudal es mayor que el de servicio, por lo tanto para dimensionar las cañerías del filtro utilizamos el mayor,

$$D = D_{90} = 3''$$

$$V = 1,95 \text{ m/s}$$

Y el manifold que alimenta los tres filtros en paralelo, sabiendo que tenemos en el peor de los casos dos en servicio y uno retrolavandose, es decir un $Q = 79 \text{ m}^3/\text{h}$, tenemos una cañería de:

$$D = D_{125} = 5''$$

$$V = 2,1 \text{ m/s}$$

El sistema será controlado por válvulas actuadas de diámetro 3", las válvulas van a ser mariposa, actuadas por un actuador neumático, el accionamiento es on-off. El caudal de alimentación está regulado por las válvulas de regulación que se encuentran a la descarga de las bombas de alta de las ósmosis inversas, mientras que para regular el caudal de retrolavado de los filtros, en la cañería de descarga, común a todos los filtros colocamos una válvula globo de accionamiento manual.

5.3.3. Cálculo de Filtros de carbón activado

Este conjunto de filtros es un agregado al sistema existente, y la finalidad del mismo es eliminar completamente el cloro del agua, ya que su presencia daña en forma irreparable las membranas del sistema de ósmosis inversa.

Para la selección de los tanques se decidió por usar tanques comerciales de PRFV, la medida comercia a utilizar es 48x94, estas están en pulgadas y se refieren a diámetro y altura respectivamente. La ventaja de utilizar estos tanques es su resistencia a la corrosión, su fácil reemplazo en caso de rotura de alguno y de solo contar con una válvula multivía, por lo que facilita su instalación y operación. De lo

contrario se debería haber contado con tres tanques de acero inoxidable AISI 316, por la cantidad de cloruros del agua, lo que elevaría el costo, contar con manifolds de diámetros mayores, con un cuadro de cinco válvulas por filtro, lo que encarece el costo y de salir uno fuera de servicio al momento de su retrolavado hay que detener la producción de uno de los equipos de ósmosis inversa.

Cada tanque de PRFV tiene un área: $A_{\text{filtro carbón}} = 1,17 \text{ m}^2$, y el caudal que tiene que pasar entre todos los tanques es el que alimenta al equipo de Ósmosis Inversa, $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$.

El Flux¹² para el caudal total y el área de cada tanque es el siguiente: $Flux_{\text{total}} = 128,2 \text{ m}^3/\text{h m}^2$. El fabricante recomienda como normal un: $Flux_{\text{recomendado}} = 12,5 \text{ m}^3/\text{h m}^2$. Por lo tanto dividiendo el Flux total sobre el recomendado, me da un total de 10,26, por lo que deberíamos adoptar una cantidad de 11 tanques. Pero como en algún momento del servicio uno va a salir del para entrar en el proceso de retrolavado, adoptamos un total de 12 tanques (Filtros de Carbón)

Luego para el retrolavado de uno de los filtros de carbón, el flux recomendado por el fabricante es de 20 m/h, con los que no da un caudal $Q = 23,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

El caudal de alimentación es regulado por las válvulas de regulación al ingreso de los tubos de presión de las ósmosis inversas y la de retrolavado por la misma válvula multivía.

Utilizaremos como medio filtro de carbón de la firma Norit, Darco 12x20, para el cual se recomienda un lecho de 1,5 mts, y con dicho lecho se tiene una caída de presión de $0,03 \text{ kg/cm}^2$. Figura 5.12.

¹²Flux como velocidad de flujo por unidad de área, parámetro que mide el caudal de permeado por unidad de superficie de membrana o lecho.

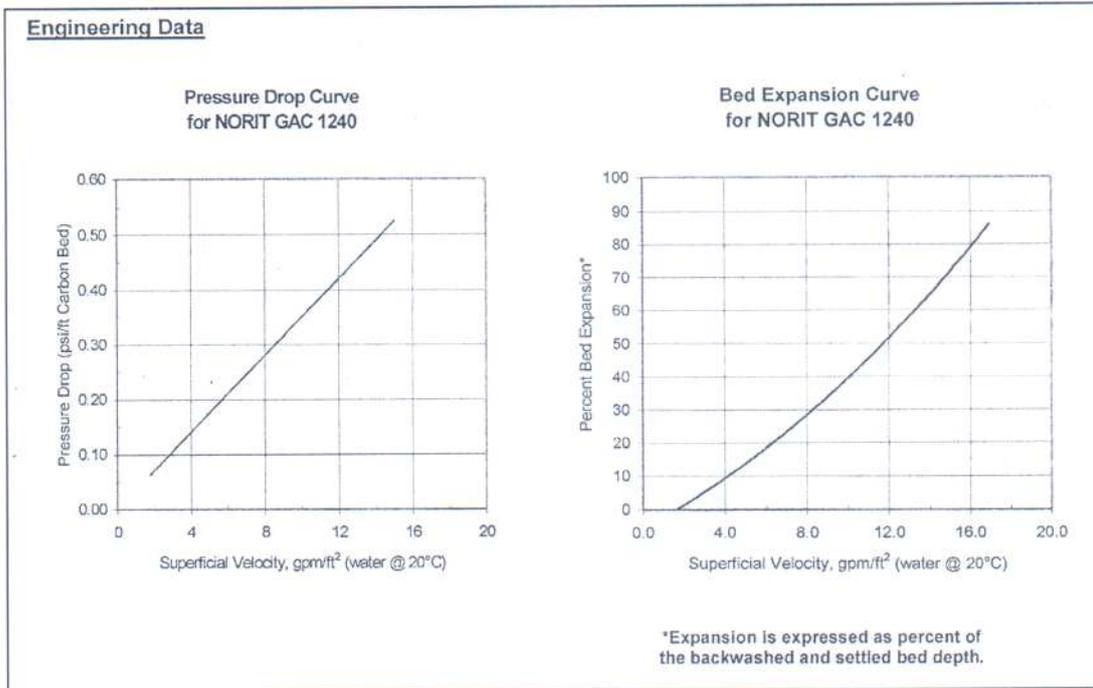


Figura 5.12

Los filtros de carbón llevarán a la entrada y salida de agua dos válvulas a bola de PVC, para poder hacer el reemplazo o mantenimiento de alguno de los tanques sin la necesidad de detener la producción de agua.

5.3.4. Cálculo de Ósmosis Inversa

Antes del ingreso a la misma será de vital importancia la colocación de de un sensor ORP (potencial de oxidación reducción). El potencial de de oxidación-reducción de materiales disueltos en agua se mide con un metal noble y un electrodo de referencia, generalmente de platino, que es sensible a los cambios en la relación entre el agente reductor y el agente oxidante.

El instrumento anterior se coloca en una cañería en común a la alimentación de los dos equipos de ósmosis inversa en paralelo.

Luego dividimos el caudal a la mitad, y analizaremos sólo uno de los equipos.

Primero verificamos las cañerías para los siguientes caudales:

- Alimentación: $Q = 75 \text{ m}^3/h$
- Permeado: $Q = 50 \text{ m}^3/h$
- Concentrado: $Q = 25 \text{ m}^3/h$

Por lo tanto las cañerías serán las siguientes

- Alimentación:

$$D = D125 = 5''$$

$$V = 2,1 \text{ m/s}$$

- **Permeado:**

$$D = D110 = 4''$$

$$V = 1,9 \text{ m/s}$$

- **Concentrado:**

$$D = D75 = 2 \frac{1}{2}''$$

$$V = 1,9 \text{ m/s}$$

Siendo esta última cañería, la de concentrado la que hay que modificar, ya que el diámetro que tiene actualmente es de una pulgada menos.

A la entrada del equipo le colocamos una válvula mariposa actuada, para poder habilitar el equipo o no desde el PLC, ya sea por algún inconveniente, mantenimiento o simplemente para reducir la producción de agua.

Después le agregamos una inyección de un antiescalante o antiincrustante, dicho químico evita las incrustaciones en las membranas del equipo, aumentando su vida útil y mantenimiento.

En la alimentación del equipo, antes del ingreso a las membranas tiene un filtro, donde pondremos cartuchos de 5 micrones. Como última retención de sólidos en suspensión.

Luego a la salida de agua permeada nos aseguramos de llenar un tanque, el cual va a ser utilizado para inundar el equipo con agua de muy baja conductividad para evitar la corrosión de las cañerías y el deterioro en las membranas al detener el equipo, luego del llenado del tanque con las bombas impulsoras que se encuentran al final de la línea nos aseguramos de que el agua llegue al tanque ubicado unos 20 mts de altura. Dicha bomba es igual a las de alimentación de baja presión, y para un caudal de 50 mts sabemos que tenemos una presión de al menos 4 bar, por lo que es suficiente para poder llegar al tanque.

CAPITULO 6

6. Calculo de potencia y control.

6.1. Cálculo de potencia

El análisis de los sistemas, es un conjunto de técnicas que se basan en las leyes fundamentales de la electricidad, aplicables principalmente a circuito trifásico de corriente alterna. Estas técnicas facilitan el cálculo del comportamiento de los sistemas bajo condiciones específicas, para auxiliar en el diseño de nuevos sistemas, para rediseñar los sistemas existentes, o bien, para hacer ajustes y modificaciones a partes de las instalaciones.

Los estudios principales de análisis en instalaciones industriales incluyen:

- estudios y cálculos de cortocircuito.
- Selección de dispositivos de protección.
- Coordinación de dispositivos de protección.
- Otros aspectos como: arranque de motores, estudio de caídas de voltaje y corrección de factores de potencia.

El principal objetivo de este tipo de estudios es proporcionar una fuente de información simple y relativamente económica para la instalación industrial, de manera que se satisfagan los aspectos de:

- ✓ seguridad.
- ✓ Confiabilidad del servicio.
- ✓ Calidad en el suministro de la energía
- ✓ Diseño de instalaciones fáciles de operar y mantener
- ✓ facilidad en la ampliación, cuando sea necesario.
- ✓ Costos iniciales y de operación mínimos.

Los criterios generales de protección de los sistemas eléctricos

Las condiciones de operación anormales contra las que se deben proteger a los sistemas eléctricos son el cortocircuito y las sobrecargas.

El cortocircuito puede tener su origen en distintas formas, por ejemplo, falla de aislamiento, fallas mecánicas en el equipo, fallas en el equipo por sobrecargas excesivas y respectivas, etc.

Las sobrecargas se pueden presentar también por causas muy simple, como pueden ser instalaciones inapropiadas, operación incorrecta del equipo, por ejemplo,

arranque frecuente de motores, ventilación deficiente, períodos largos de arranque de motores.

En el diseño de sistemas eléctricos se han desarrollado varias técnicas para minimizar los efectos de las anomalías que ocurren en el mismo, de tal forma que se diseña el sistema para que sea capaz de:

- a) Aislar rápidamente la porción afectada del sistema, de manera que se minimice el efecto y se mantenga el servicio tan normal como sea posible.
- b) Reducir el valor de la corriente de cortocircuito, para reducir los daños potenciales al equipo o parte de la instalación.
- c) Proveer al sistema, siempre que sea posible, de medios de recierre automático, para minimizar la duración de fallas de tipo transitorio.

De acuerdo con lo anterior, la función de un sistema de protección se puede definir como, la detención y pronto aislamiento del sector afectado del sistema, ya sea que ocurra un cortocircuito, o bien, otra condición anormal que pueda producir daño a la parte afectada o la carga que alimenta.

6.1.1. Diseño de la instalación

Realizamos el relevamiento de los elementos a proteger, a continuación se muestra un diagrama simplificado de la instalación (Figura 6.1).

DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

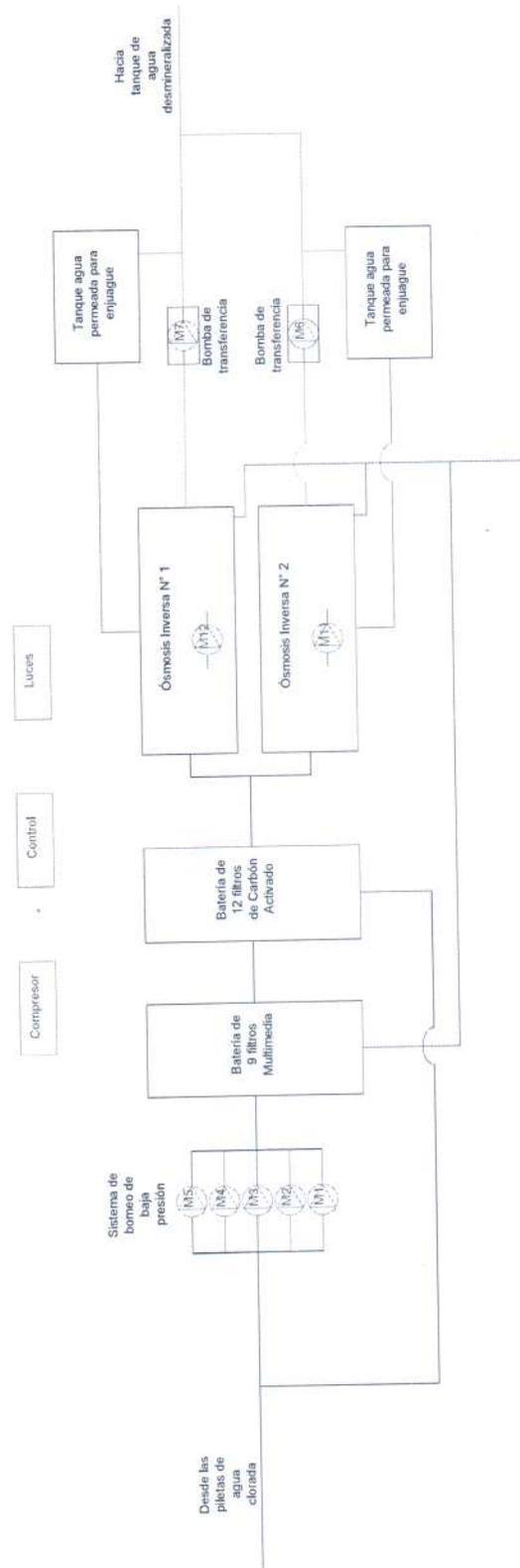


Figura 6.1

Se detallan a continuación los elementos a proteger y la potencia de cada uno:

2 motores (Ma) de 110 Kw

7 motores (M1) de 9,2 Kw

1 compresor de 3Kw

Control del sistema 3Kw

Usos generales 11Kw

Total de potencia instalada 301,4 Kw

Se realiza el cálculo de la corriente nominal a fin de determinar la sección de cables.

Motor de 110Kw

Marca: ABB MOTORS

Modelo: M2 CA 315 SA 2B3

V = 380V f = 50 Hz

P = 110 Kw

$\cos\phi = 0,87$

Peso = 695 Kg RPM = 2980 IP = 55

Determinamos la corriente nominal:

$$I_A = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\phi}$$

$$I_A = \frac{110000W}{\sqrt{3} * 380V * 0,87} = 192,1 A$$

Motor de 9,2Kw

Marca: EBARA

Modelo: 3M 50-200 / 9,2

V = 380V f = 50 Hz

P = 9,2Kw

cos ϕ = 0,87

Peso = 67,5 Kg RPM = 2900 IP = 55

Corriente nominal:

$$I_B = \frac{9200W}{\sqrt{3} * 380V * 0,87} = 16,07 A$$

Compresor

Marca: CompAir Brisa

Modelo: LT 270

V = 380V f = 50 Hz

P = 3 Kw

cos ϕ = 0,87

Corriente nominal:

$$I_c = \frac{3000W}{\sqrt{3} * 380V * 0,87} = 5,24 A$$

Control y usos generales

Se considera una carga equilibrada, en la parte de control consideramos un PLC, y en usos generales, iluminación, tomas, etc.

$$V = 380V \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$P_{c+u} = P_{\text{control}} + P_{\text{usos generales}} = 3 \text{ Kw} + 11 \text{ Kw} = 14 \text{ Kw}$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

Corriente nominal:

$$I_c = \frac{3000W}{\sqrt{3} * 380V * 0,8} = 5,7 \text{ A}$$

$$I_u = \frac{11000W}{\sqrt{3} * 380V * 0,8} = 20,9 \text{ A}$$

$$I_{c+u} = I_c + I_u = 26,6 \text{ A}$$

Corriente total de la instalación:

$$I_T = 2 * I_A + 7 * I_B + I_c + I_{c+u}$$

$$I_T = 2 * 192,1 + 7 * 16,07 + 5,24 + 26,6$$

$$I_T = 528,53 \text{ A}$$

Para determinar si la sección de cable de alimentación principal seleccionado de tabla es el adecuado determinamos la caída de tensión, la misma se calcula solo desde el transformador que coloca la empresa de servicios eléctricos en la línea municipal hasta el tablero principal, en los otros tramos internos de la instalación despreciaremos la misma por ser estos muy cortos.

Distancia del transformador principal a tablero principal es de 65 metros

Seleccionamos un diámetro de cable acorde a la corriente nominal total y verificamos la caída de tensión.

De la tabla de Cables CIMET modelo ZEROTOX 1Kv de cobre, seleccionamos 3 cables unipolares de 240 mm² y 1 neutro de 120mm² los mismos se consideran que por reglamentación que se colocaran enterrados a una profundidad de 70 cm y a una separación entre ellos de 7 cm.

Datos del cable:

Corriente admisible, $I_a = 600$ A

Resistencia óhmica, $R = 0,096 \Omega/\text{km}$

Reactancia inductiva, $X = 0,137 \Omega/\text{Km}$

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * L(R * \cos\varphi + X * \text{sen}\varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * 528,53 * 0,065(0,096 * 0,8 + 0,137 * 0,6)$$

$$\Delta U = 9,46 \text{ V}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U * 100}{U_{20}} = \frac{9,46 * 100}{400} = 2,36 \%$$

Circuitos de iluminación: $\Delta U_{adm} 3\%$

Circuito de fuerza motriz: $\Delta U_{adm} 5\%$

Por lo cual verificamos que la sección cumple con las especificaciones requeridas por la instalación.

A continuación realizamos el cálculo de cortocircuito, el cual se realizara por el método de las impedancias, para el mismo se tomaran dos puntos críticos, (A) a la salida del transformador y (B) a la entrada del tablero principal, en otros puntos del tablero no se calcula debido a la proximidad al punto (B), Estos valores se utilizaran para poder verificar la correcta coordinación de los aparatos de protección.

6.1.2. Calculo de cortocircuito

Utilizamos la Tabla 6.1 de Schneider Electric para la determinación del cortocircuito por el método de las impedancias de la instalación.

Tabla 6.1

Parte de la instalación	Valores a considerar (mΩ)	Reactancias (mΩ)
Red aguas arriba	$R_1 = Z \cos\phi \cdot 10^{-3}$ $Z_1 = \frac{U^2}{P}$ $P = P_{cc}$ de la red aguas arriba en MVA	$\cos\phi = 0,15$ $P = P_{cc}$ $X_1 = Z_1 \sin\phi \cdot 10^{-3}$ $\sin\phi = 0,98$
Transformador	$R_2 = \frac{W_c U^2 \cdot 10^{-3}}{S^2}$ $W_c = \text{Pérdidas en el Cu}$ $S = \text{Potencia aparente transformador (kVA)}$	$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$ $Z_2 = \frac{U_{cc} U^2}{100 S}$ $U_{cc} = \text{Tensión de cortocircuito del transform.}$
En cables	$R_3 = \frac{\rho L}{S}$ $\rho = 22,5 \text{ (Cu)}$ $L = \text{m}$ $S = \text{mm}^2$	$X_3 = 0,08L$ (cable trifásico) $X_3 = 0,12L$ (cable unipolar) $L \text{ en m}$

Resistencia de un conductor

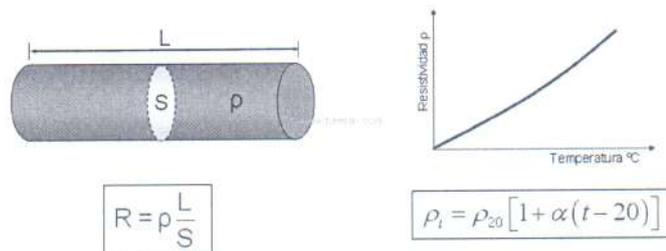


Figura 6.2

Resistencia de un Conductor:

R = Resistencia (Ω)

ρ = Resistividad (Ω·mm²/m), (Tabla 6.2)

L = Longitud del conductor (m)

S = Sección transversal del conductor (mm²)

α = Coeficiente de temperatura a 20 °C

Δt = t - 20 = Elevación de temperatura en °C

Tabla 6.2

Material	ρ_{20° ($\Omega \cdot m$)	$\rho_{20^\circ C}$ [$\Omega \text{ mm}^2/m$]	Coeficiente α a $20^\circ C$ ($1/^\circ C$)
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$	0,017	$3,9 \times 10^{-3}$
Aluminio	$2,8 \times 10^{-8}$	0,028	$3,9 \times 10^{-3}$

Para el cálculo de la resistencia del cable se considera una temperatura de trabajo de $90^\circ C$, se calcula la resistividad corregida para este valor de temperatura (Figura 6.2).

$$\rho_{90^\circ} = 1,7^{-8} (1 + 3,9^{-3} (90 - 20)) = 0,0225 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} = 22,5 \frac{m\Omega \text{ mm}^2}{m}$$

Se selecciona un transformador normalizado utilizado por la empresa prestataria del servicio (tabla 6.3), para la selección se tomo en cuenta la potencia requerida por la instalación.

Tabla 6.3

Impedancia de los transformadores normalizados								
Tensión	U20=237 V				U20=410 V			
Potencia (KVA)	Ucc (%)	RTR (m Ω)	XTR (m Ω)	ZTR (m Ω)	Ucc (%)	RTR (m Ω)	XTR (m Ω)	ZTR (m Ω)
100	4	11,79	19,13	22,47	4	35,300	57,23	67,240
160	4	5,15	13,06	14,04	4	15,630	39,02	42,030
250	4	2,92	8,50	8,99	4	8,930	25,37	26,900
315	4	2,21	6,78	7,13	4	6,810	20,22	21,340
400	4	1,614	5,38	5,62	4	5,030	16,04	16,810
500	4	1,235	4,32	4,49	4	3,900	12,87	13,450
630	4	0,920	3,45	3,57	4	2,950	10,25	10,670
800	4,5	0,895	3,03	3,16	4,5	2,880	9,00	9,450
1.000	4,5	0,680	3,01	3,09	5	2,240	8,10	8,405
1.250					5,5	1,813	7,16	7,390
1.600					6	1,389	6,14	6,300
2.000					6,5	1,124	5,34	5,460

Datos del transformador

$$S_n = 315 \text{ KVA}$$

$$U_{cc} = 4\%$$

$$13,2 / 0,4 \text{ KV}$$

$$W_c = 4000 \text{ W}$$

Datos del cable de alimentación

$$\text{Longitud} = 65 \text{ m}$$

$$\text{Sección} = 240 \text{ mm}^2$$

Para calcular la impedancia aguas arriba se requiere la potencia de cortocircuito (P_{cc}), que es un dato de la compañía prestataria, una buena aproximación considerar la $P_{cc} = \infty$, pero a fines de tener un cálculo más preciso se considerara un valor de $P_{cc} = 500 \text{ MVA}$, que son los valores normales que dan las compañías.

Calculo de resistencias y reactancias en cada parte de la instalación:

Red de aguas arriba

$$R_1 = \frac{U_{20}^2 * \cos\varphi * 10^{-3}}{P_{cc}}$$

$$R_1 = \frac{400^2 * 0,15 * 10^{-3}}{500} = 0,048 \text{ m}\Omega$$

$$X_1 = \frac{U_{20}^2 * \text{sen}\varphi * 10^{-3}}{P_{cc}}$$

$$X_1 = \frac{400^2 * 0,98 * 10^{-3}}{500} = 0,314 \text{ m}\Omega$$

Transformador

$$R_2 = \frac{W_c * U_{20}^2 * 10^{-3}}{S_n^2}$$

$$R_2 = \frac{4000 * 400^2 * 10^{-3}}{315^2} = 6,45 \text{ m}\Omega$$

$$Z_2 = \frac{U_{cc} * U_{20}^2}{100 * S_n}$$

$$Z_2 = \frac{4 * 400^2}{100 * 315} = 20,31 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$$

$$X_2 = \sqrt{20,31^2 - 6,45^2} = 19,26 \text{ m}\Omega$$

Cable principal de alimentación

$$R_3 = \frac{\rho * L}{S}$$

$$R_3 = \frac{22,5 * 65}{240 * 3} = 2,03 \text{ m}\Omega$$

$$X_3 = \frac{0,12 * 65}{3} = 2,6 \text{ m}\Omega$$

En la Figura 6.3 se observa los cálculos de cortocircuito de la instalación.



Figura 6.3

Determinamos la corriente de cortocircuito en el punto (A)

$$I_{Acc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} * \sqrt{R_A^2 + X_A^2}}$$

$$R_A = R_1 + R_2 \Rightarrow R_A = 0,048 + 6,45 = 6,498 \text{ m}\Omega$$

$$X_A = X_1 + X_2 \Rightarrow X_A = 0,314 + 19,26 = 19,574 \text{ m}\Omega$$

$$I_{Acc} = \frac{400}{\sqrt{3} * \sqrt{6,498^2 + 19,574^2}} = 11,2 \text{ KA}$$

Ahora calculamos el cortocircuito en el punto (B)

$$I_{Bcc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} * \sqrt{R_B^2 + X_B^2}}$$

$$R_B = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow R_B = 0,048 + 6,45 + 2,03 = 8,528 \text{ m}\Omega$$

$$X_B = X_1 + X_2 + X_3 \Rightarrow X_B = 0,314 + 19,26 + 2,6 = 22,174 \text{ m}\Omega$$

$$I_{Bcc} = \frac{400}{\sqrt{3} * \sqrt{8,528^2 + 22,174^2}} = 9,72 \text{ KA}$$

Con los valores obtenidos seleccionamos los instrumentos para la protección de la instalación, verificando que la selectividad sea total. Dichos instrumentos son de la línea Schneider Electric, la cual proporciona un programa para poder verificar la coordinación del sistema (Curve direct 1.7).

Explicación de las curvas de desconexión y selectividad de los instrumentos de protección (Figura 6.4).

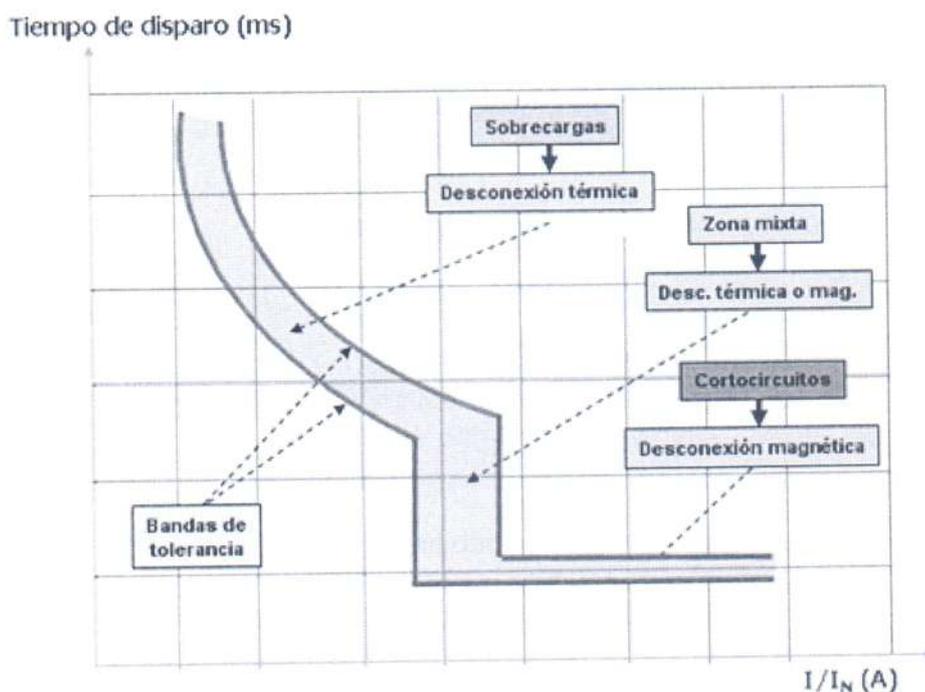


Figura 6.4

En este gráfico se muestra los puntos principales de las curvas de disparo de un interruptor.

SELECTIVIDAD

La selectividad asegura que la apertura del interruptor se produzca en aquel situado más próximo al defecto (Figura 6.5).

Grados de selectividad:

- ✓ selectividad total: la condición anterior se produce para todos los valores de corriente.
- ✓ selectividad parcial: cuando por encima de determinados valores de corriente se produce el disparo simultáneo de más de un interruptor.

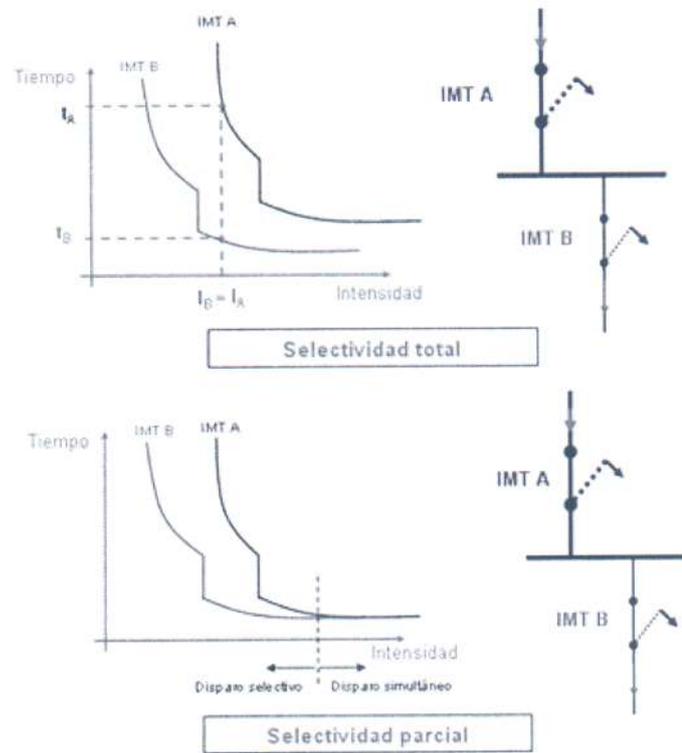


Figura 6.5

Tipos de selectividad:

- ✓ Selectividad amperométrico (Figura 6.6.a). El interruptor que esté aguas abajo debe cortar el circuito ante cortocircuitos, antes de que lo haga el superior.
- ✓ Selectividad cronométrica (Figura 6.6.b). El interruptor que esté aguas abajo debe cortar el circuito en un tiempo inferior al de aguas arriba para una misma sobreintensidad.
- ✓ Filiación. Efecto cascada o protección back-up. Permite el empleo de un interruptor con un poder de corte inferior a la corriente de cortocircuito prevista en el punto donde está instalado, con la condición de que exista otro dispositivo de protección instalado aguas arriba que posea el poder de corte necesario.

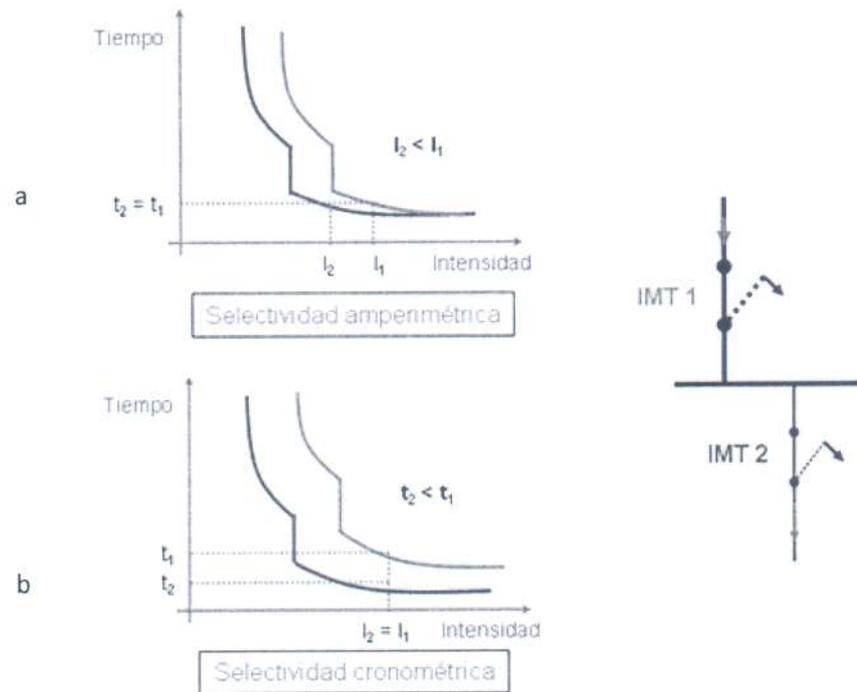


Figura 6.6

Curvas de disparo:

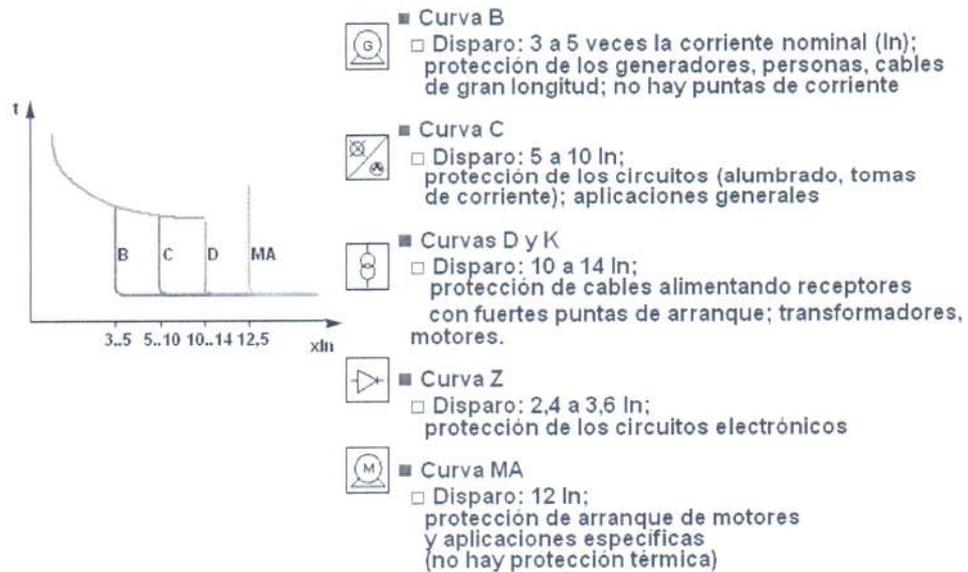


Figura 6.7

6.1.3. Selección de las protecciones

En el anexo 6-A se encuentra la coordinación de todo el sistema.

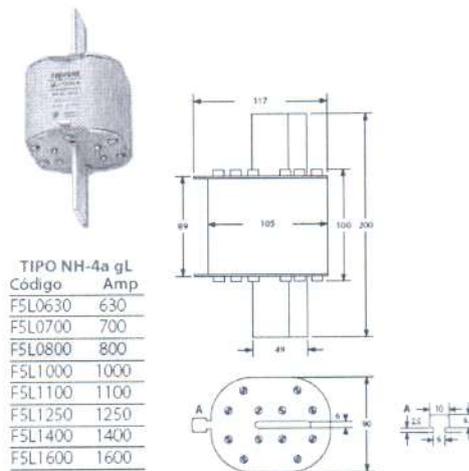
Protección en el medidor

Como protección inicial, a la salida del medidor colocamos fusibles,

Fusible A.C.R. NH 500 V.C.A.

Tipo: NH – 4a gL

F5L0800 (800 A)



En el Tablero Principal:

Del catalogo de Schneider podemos seleccionar

Sistema Compact NR/NS400 a 630

Compact tipo	NR	NS		
	F (36 KA)	N (50 KA)	H (70 KA)	L (150 KA)
(Icu a 380Vca 50Hz)				
calibre	4P	4P	4P	4P
STR23 SE (U<=525V)				
400	32741	32694	32696	32698
630	32941	32894	32896	32898
STR53 UE (U<=525V)				
400	-	32700	32702	32704
630	-	32900	32902	32904

Compact NR F (36KA) 4P STR23 SE (U<=525V)

Modelo 630

Referencia32941

Para accionar y proteger a los motores de 110Kw

Del catalogo de Schneider seleccionamos teniendo en cuenta el tipo de motor a proteger

ContactorTeSys F

Para potencia de 110Kw

Corriente asignada en empleo en AC-3 de 225A

Referencia LC1-F225

Seleccionamos un guardamotor magnetotérmicoTeSys

GV7 - R

Zona de regulación de 132 a 220 A

GV7-RE220

Motores de 9,2Kw

Selecciono:

Guardamotor: GV2P21

Contactor: LC1D25

Control

Interruptores automáticos C60N curvas B, C y D

6000 A - IEC 60898 - 10kA - IEC 60947.2

2 polo protegido
Ancho de paso
en 9mm: 4



2 polos

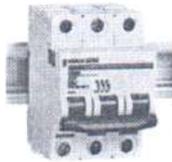
In (A)	Referencias		
	curva B	curva C	curva D
0,5		24068	
1	24071	24331	24653
2	24072	24332	24654
3	24073	24333	24655
4	24074	24334	24656
6	24075	24335	24657
10	24076	24336	24658
16	24077	24337	24660
20	24078	24338	24661
25	24079	24339	24662

Compresor

Interruptores automáticos C60N curvas B, C y D

6000 A - IEC 60898 - 10kA - IEC 60947.2

3 polos
protegidos
Ancho de paso
en 9mm: 6



3 polos

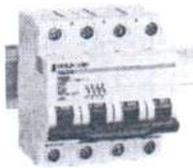
In (A)	Referencias		
	curva B	curva C	curva D
0,5		24069	
1	24084	24344	24667
2	24085	24345	24668
3	24086	24346	24669
4	24087	24347	24670
6	24088	24348	24671
10	24089	24349	24672
16	24090	24350	24674
20	24091	24351	24675
25	24092	24352	24676
32	24093	24353	24677
40	24094	24354	24678
50	24095	24355	24679
63	24096	24356	24680

Usos generales

Interruptores automáticos C60N curvas B, C y D

6000 A - IEC 60898 - 10kA - IEC 60947.2

4 polos
protegidos
Ancho de paso
en 9mm: 8



4 polos

In (A)	Referencias		
	curva B	curva C	curva D
0,5		24070	
1	24097	24357	24681
2	24098	24358	24682
3	24099	24359	24683
4	24100	24360	24684
6	24101	24361	24685
10	24102	24362	24686
16	24103	24363	24688
20	24104	24364	24689
25	24105	24365	24690
32	24106	24366	24691
40	24107	24367	24692
50	24108	24368	24693
63	24109	24369	24694

6.1.4. Unifilar

Se muestra como queda el unifilar completo con sus protecciones (Figura 6.8).

M1 a M7, motores de 9,2Kw

M11-M12, motores de 110Kw

CO, compresor

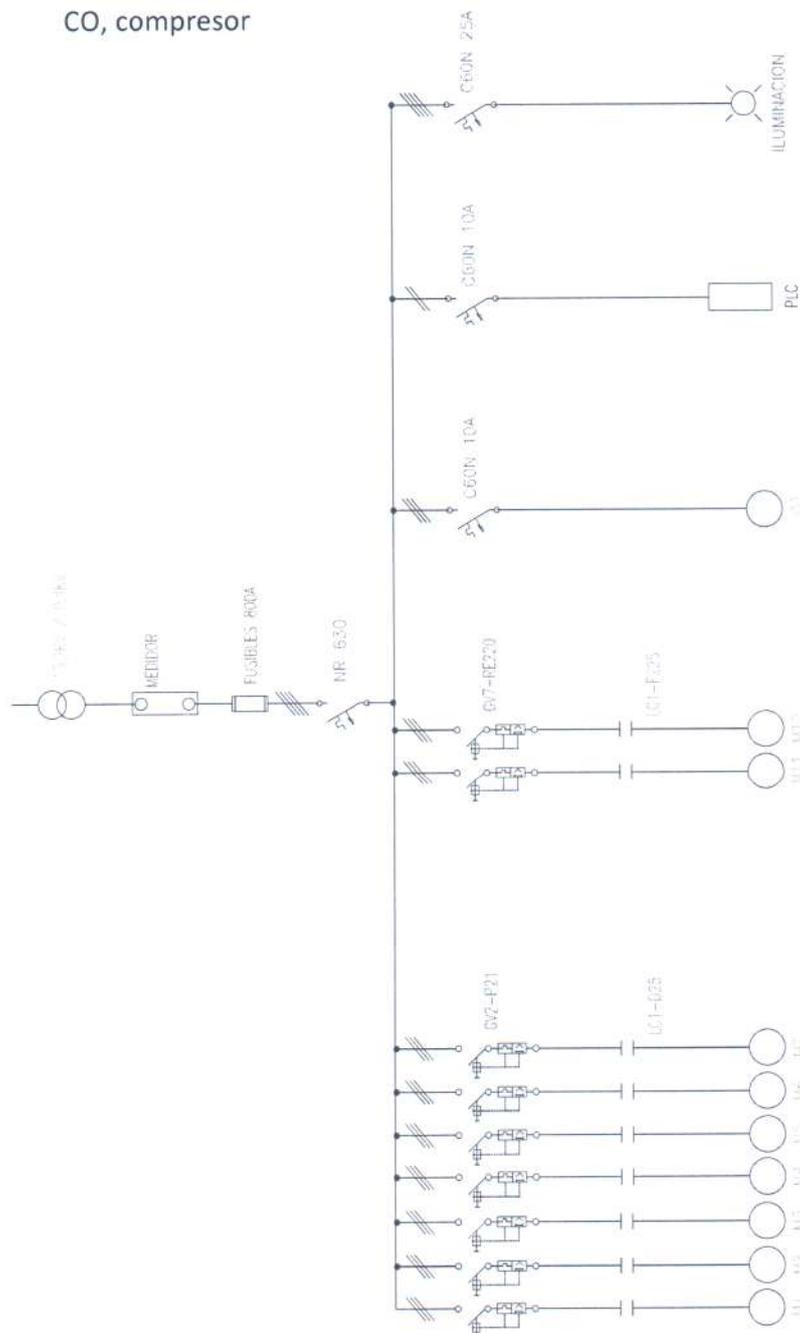


Figura 6.8

6.2. Control

6.2.1. Descripción del Control del proceso

El control del proceso se efectuará por intermedio del siguiente hardware:

Tablero central que contiene los accionamientos de potencia, comandos y protección, distribución y mando; así mismo este tablero contiene los elementos de señalización y visualización. En un cuerpo individual del mismo tablero se dispone de un PLC central dotado de los módulos de entradas y salidas analógicas y digitales necesarias para controlar el proceso. En la puerta del módulo que almacena este PLC se cuenta con un diagrama simplificado del proceso que contiene elementos de visualización los cuales sirven como interfaz descriptiva para el operador.

El sistema cuenta además con cajas de paso distribuidas a lo largo del área de implantación de los equipos que se utilizan para interconectar los distintos sensores y actuadores con el control central. Bajo esta misma metodología, es decir, mediante cajas de paso el sistema cuenta con elementos intermedios de conexionado eléctrico de pilotos neumáticos de las válvulas actuadas; las cuales el sistema de control utiliza como mando de aquellas válvulas que responden a la programación del sistema de mando.

6.2.2. Descripción de las etapas del control del proceso

Resumen General

El control del proceso deberá ser capaz de:

- ✓ Controlar la dosificación del cloro del agua cruda
- ✓ Controlar las bombas de baja presión del sistema
- ✓ Controlar cada una de los doce filtros de de-cloración por carbón activado
- ✓ Controlar cada uno de los tres conjuntos de filtros multimedia
- ✓ Controlar los dos trenes de desmineralización
- ✓ Controlar el llenado de los tanques de agua permeada para consumo
- ✓ Controlar el buen funcionamiento de los servicios auxiliares para el comando de la planta

Controlar la dosificación del agua cruda

La dosificación de cloro debe activarse únicamente cuando ingresa agua a la pileta de decantación, asegurando así un valor de concentración de cloro libre en el agua tal que garantice la ausencia de materia orgánica, bacterias, virus, esporas y hongos ya que son perjudiciales para la salud.

Controlar las bombas de baja presión del sistema

Las bombas de baja presión se encenderán cuando sea necesaria la desmineralización del agua y también en caso de un retrolavado general de los filtros de carbón o multimedia. La demanda de encendido de más de una bomba simultáneamente dependerá de la demanda de agua que el sistema necesita en cada caso. Con un solo tren de desmineralización encendido solo será necesario encender dos bombas, y con los dos trenes encendidos serán necesarias las cuatro bombas.

Si los trenes de desmineralización están detenidos y es necesario retrolavar un filtro se deberá encender una bomba.

Si el sistema se encuentra dimensionado para funcionar a plena carga y retrolavar un filtro por vez con las cuatro bombas de baja presión activadas.

La quinta bomba funcionará únicamente en caso de que una de las cuatro anteriores tenga que salir de servicio ya sea por falla o mantenimiento.

Controlar el funcionamiento de los filtros multimedia

Los filtros multimedia requieren para su funcionamiento, de secuencias preestablecidas de filtración, retro lavado y enjuague. Estas etapas se suceden una detrás de la otra, en forma secuencial. El desencadenante de cada etapa depende del proceso, la filtración es la etapa principal de uso y es la que mayor tiempo de uso tiene, la filtración consiste en abrir las válvulas de ingreso superior del agua y la válvula de salida inferior de salida de agua filtrada de cada tanque. Como la capacidad máxima está dividida en tres trenes de filtración compuestos a su vez de tres filtros cada tren, la puesta en filtración de cada tanque depende del consumo necesario de cada tren de osmosis y del área necesaria de filtración, relacionada con el caudal de agua de ingreso a los trenes de osmosis.

La etapa de retro lavado es la siguiente etapa y consiste en pasar agua a través del lecho del filtro en contra corriente, es decir desde abajo hacia arriba para remover y levantar físicamente el lecho con la idea de descartar por el drenaje la suciedad atrapada por el mismo. Para ello se ingresa agua a cada tanque por una de las válvulas inferiores del mismo y se abre la válvula de salida superior que conduce el agua a drenaje.

La tercer y última de las etapas consiste en hacer pasar agua por el medio filtrante en forma descendente para acomodar el lecho para una nueva etapa de filtración, para eso se abre la válvula superior de ingreso de agua y la válvula inferior de egreso de agua a drenaje.

Como se menciona los posibles desencadenantes de las etapas de retro lavado y enjuague dependen del proceso. Los seteos de horario de retrolavado en cada

válvula de cada filtro, dispararán el proceso de retro lavado que se sucede con el enjuague del filtro.

Controlar el funcionamiento de los filtros de carbón.

Los filtros de carbón requieren para su funcionamiento, de secuencias preestablecidas de filtración, retro lavado y enjuague. Estas etapas se suceden una detrás de la otra, en forma secuencial. El desencadenante de cada etapa depende del proceso, la filtración es la etapa principal de uso y es la que mayor tiempo de uso tiene, la filtración consiste en abrir las válvulas de ingreso superior del agua y la válvula de salida inferior de salida de agua filtrada de cada tanque. Como la capacidad máxima está dividida en cuatro trenes de filtración compuestos a su vez de tres filtros cada tren, la puesta en filtración de cada tanque depende del consumo necesario de cada tren de osmosis y del área necesaria de filtración, relacionada con el caudal de agua de ingreso a los trenes de osmosis.

La etapa de retro lavado es la siguiente etapa y consiste en pasar agua a través del lecho del filtro en contra corriente, es decir desde abajo hacia arriba para remover y levantar físicamente el lecho con la idea de descartar por el drenaje la suciedad atrapada por el mismo. Para ello se ingresa agua a cada tanque por una de las válvulas inferiores del mismo y se abre la válvula de salida superior que conduce el agua a drenaje.

La tercer y última de las etapas consiste en hacer pasar agua por el medio filtrante en forma descendente para acomodar el lecho para una nueva etapa de filtración, para eso se abre la válvula superior de ingreso de agua y la válvula inferior de egreso de agua a drenaje.

Como se menciona los posibles desencadenantes de las etapas de retro lavado y enjuague dependen del proceso. El desencadenante es el tiempo, es decir, mediante la configuración de tiempos en el sistema de control, los procesos de retro lavado y enjuague se sucederán cada una cierta cantidad de tiempo configurada por el operador en función del tiempo de taponamiento del filtro.

Esto aplica tanto para el filtro multimedia, como para el filtro de carbón activado.

Controlar el funcionamiento de los trenes de desmineralización.

Los trenes de desmineralización constan de una válvula de alimentación actuada seguida de una bomba de alta presión, y por último una válvula de permeado actuada. Cuando los tanques de agua permeada, están sin agua y no hay alarmas presentes en el sistema, se energiza (abre) la válvula de permeado y se energiza (abre) la válvula de alimentación, luego de esto, se encienden las bombas de baja presión ubicadas, antes de los trenes de filtración, por último se enciende la bomba de alta

presión del tren que se desea utilizar. Cada una con un tiempo pre establecido de funcionamiento del tren de desmineralización.

La secuencia de apagado del sistema es contraria a la de encendido, es decir, primero se apaga la bomba de alta, luego se apagan las bombas de baja del sistema (previas a los filtros) y luego se cierran las válvulas de permeado y alimentación.

Controlar el buen funcionamiento de los servicios auxiliares para el comando de la planta

Los servicios auxiliares de la planta son en general, aquellos elementos necesarios para el funcionamiento de la planta, tal como pueden ser el aire comprimido, necesario para accionar las válvulas actuadas y la calidad de la energía eléctrica, en el primero de los casos se monitorea el estado de presión y buen funcionamiento del compresor, en el segundo caso se monitorea la calidad de la energía entregada a la planta para operar.

6.2.3. Modos de operación:

La planta será comandada íntegramente desde el panel de control de las instalaciones, a través de la lógica del PLC asociado. Para esto se plantean dos modos de operación diferentes:

MODO AUTOMATICO: En este modo de operación, todos los elementos del sistema actúan bajo la órbita de lo que determina el programa del PLC, teniendo como premisas principales los siguientes lineamientos:

- ✓ Mantener los tanques de almacenamiento de agua permeada siempre llenos.
- ✓ Operar ambos trenes de osmosis por períodos de tiempo lo más prolongados posibles (lo que redundará en vida útil y buena calidad de producto)
- ✓ Monitorear las variables de proceso para verificar que estén dentro de los rangos permitidos
- ✓ Preservar el uso de la energía eléctrica
- ✓ Verificar la existencia de fallas del sistema
- ✓ Mantener los servicios de pre tratamiento en condiciones operativas óptimas para el buen servicio de los trenes de osmosis.
- ✓ Monitorear la calidad del producto.

Bajo estas premisas todos los componentes de la planta se comandarán según un programa base que disparará todas las rutinas necesarias para la operación de la misma.

MODO MANUAL: En este modo de operación, el operador encargado de la planta podrá accionar cada elemento individual sin que el programa del PLC determine como se opera ese elemento. Este modo de operación se plantea para aquellos casos de verificación de funcionamiento de componentes y/o rutinas de mantenimiento. En este modo no se harán presentes las fallas de operación que vigila el programa del PLC, por lo cual solo personal calificado podrá operar la planta bajo este modo.

RUTINA DE DOSIFICACION DE NaOCI EN AGUA CRUDA.

Quando se detecta el ingreso de agua a la pileta de decantación ubicada en el inicio del tratamiento, se deberá encender las bombas de dosificación de NAOCL que inyectan este químico. La detección se realiza por intermedio de niveles en dicha pileta. Como alarmas de esta rutina se establecen la falta de químico (sensada por un nivel dentro del tanque del producto a dosificar) y la falla de la bomba dosificadora (sensada por la salida de alarma de la misma bomba).

RUTINA DE CONTROL DE LAS BOMBAS DE BAJA PRESION DEL SISTEMA.

Como esta mencionado en el inicio de este documento, las bombas de baja presión del sistema se usan para presurizar los equipos con cuatro bombas para funcionamiento pleno y una de back-up para el caso de mantenimiento/ rotura de alguna de las anteriores. Como alarmas de esta rutina se toma el estado de cada uno de los guardamotores del tablero principal que indicara junto al estado del contactor si la bomba está disponible para operar, en falla de operación o en operación. Se indica continuación dos tablas lógicas de funcionamiento (Tabla 6.4 y 6.5).

Tabla 6.4

BOMBA P-10X	ESTADO GVM	ESTADO CONTACTOR	OBSERVACIONES
ANTES DE INICIO RUTINA	ON	ON	MODO MANUAL
	ON	OFF	DISPONIBLE
	OFF	ON	MANTENIMIENTO
	OFF	OFF	DESHABILITADO
DURANTE RUTINA	ON	ON	BOMBA EN USO
	ON	OFF	DISPONIBLE
	OFF	ON	FALLA
	OFF	OFF	FALLA

El usuario determinara mediante los guardamotores que bombas están disponibles para que el programa del PLC las opere. (Suponiendo que están disponibles las primeras cuatro, se adjunta una tabla de operación de las mismas). Cuando una bomba este fuera de servicio el programa deberá reemplazar el accionamiento de esa bomba con el accionamiento de la que se destina a back up.

Tabla 6.5

BOMBAS-->	P-101 (O BACK-UP)	P-102 (O BACK-UP)	P-103 (O BACK-UP)	P-104 (O BACK-UP)
TRENES DETENIDOS	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
TREN1 OPERANDO	MARCHA	MARCHA	PARADA	PARADA
TREN2 OPERANDO	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA
RETROLAVADO CARBON 1	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 2	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 3	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 4	PARADA	MARCHA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 5	PARADA	MARCHA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 6	PARADA	MARCHA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 7	PARADA	PARADA	MARCHA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 8	PARADA	PARADA	MARCHA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 9	PARADA	PARADA	MARCHA	PARADA
RETROLAVADO CARBON 10	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA
RETROLAVADO CARBON 11	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA
RETROLAVADO CARBON 12	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA
RETROLAVADO MULTIMEDIA1	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO MULTIMEDIA2	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO MULTIMEDIA3	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO MULTIMEDIA4	PARADA	MARCHA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO MULTIMEDIA5	PARADA	MARCHA	PARADA	PARADA
RETROLAVADO MULTIMEDIA6	PARADA	PARADA	MARCHA	PARADA
RETROLAVADO	PARADA	PARADA	MARCHA	PARADA

MULTIMEDIA7				
RETROLAVADO MULTIMEDIA8	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA
RETROLAVADO MULTIMEDIA9	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA

SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LOS FILTROS DE CARBON

Los filtros de carbón pueden operar todos simultáneamente y se los retro lava en forma secuencial. Como los filtros poseen una válvula multivía que opera internamente las direcciones y sentidos de los flujos de agua dentro del lecho, basta con setear en el control de la misma válvula la hora de retro lavado del mismo y programar la salida de estado de la misma válvula para que indique al control la ocurrencia de ese proceso para que el PLC ponga en marcha la/las bombas pertinentes según la tabla indicada más arriba. La programación de los horarios de retro lavado en cada válvula debe hacerse de manera que contemple el horario asignado a cada filtro más el tiempo necesario de retro lavado de cada uno para que no ocurran dos o más retro lavados en forma simultánea en más de un filtro por vez. Mediante las entradas digitales del PLC asignadas a el estado de cada filtro, se determina en qué estado se encuentra cada uno y se encienden las bombas necesarias para el funcionamiento del sistema, ya sea para de-clorar y alimentar con agua a los trenes de osmosis o para retrolavar cada filtro de carbón cuando la señal de entrada al PLC lo indique, independientemente de si los trenes de osmosis están en operación o no.

SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LOS FILTROS MULTIMEDIA

Los filtros multimedia poseen un manifold de válvulas actuadas que determinan el pasaje y dirección del agua que recorre el lecho según la descripción ofrecida en el inicio de este documento. A continuación se presenta la carta de operación de cada uno de los filtros a modo de ejemplo, Tabla 6.6. Cabe destacar que en el sistema de control se deberá poder configurar la duración de los tiempos de retro lavado y enjuague de los filtros, así como el horario de ocurrencia delo retro lavados.

Tabla 6.6

FILTRO 1	VALVULAS				
RUTINA	VMC-201	VMC-202	VMC-203	VMC-204	VMC-205
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 2	VALVULAS				
RUTINA	VMC-206	VMC-207	VMC-208	VMC-209	VMC-210
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA

RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 3	VALVULAS				
RUTINA	VMC-211	VMC-212	VMC-213	VMC-214	VMC-215
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 4	VALVULAS				
RUTINA	VMC-216	VMC-217	VMC-218	VMC-219	VMC-220
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 5	VALVULAS				
RUTINA	VMC-221	VMC-222	VMC-223	VMC-224	VMC-225
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 6	VALVULAS				
RUTINA	VMC-226	VMC-227	VMC-228	VMC-229	VMC-230
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 7	VALVULAS				
RUTINA	VMC-231	VMC-232	VMC-233	VMC-234	VMC-235
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 8	VALVULAS				
RUTINA	VMC-236	VMC-237	VMC-238	VMC-239	VMC-240
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA
FILTRO 9	VALVULAS				
RUTINA	VMC-241	VMC-242	VMC-243	VMC-244	VMC-245
DETENIDO	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
FILTRACION	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
RETROLAVADO	CERRADA	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
ENJUAGUE	ABIERTA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	ABIERTA

CONTROL DE LOS TRENES DE DESMINERALIZACION.

Los trenes de osmosis inversa se comandan y operan según secuencias preestablecidas de arranque, operación y detención. Se suma a estas rutinas una de enjuague para cuando el tren de osmosis está detenido, la cual permite inundar el sistema con agua de buena calidad para preservar el estado de las membranas y partes de cañería de los equipos, (ver tablas 6.7 a 6.12).

Tabla 6.7

TREN DE OSMOSIS 1	ARRANQUE DEMINERALIZACION				
	DETENIDO	PASO 1	PASO2	PASO3	DESMINERALIZACION
VMC-401	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA
P-401	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA
P-101	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA	MARCHA
P-102	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA	MARCHA
VMC-406	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
VMC-407	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
P-402	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA
VBC-408	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA

Tabla 6.8

TREN DE OSMOSIS 1	PARADA DEMINERALIZACION				
	DESMINERALIZACION	PASO 1	PASO2	PASO3	DETENIDO
VMC-401	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA
P-401	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
P-101	MARCHA	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
P-102	MARCHA	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
VMC-406	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
VMC-407	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
P-402	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
VBC-408	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA

Tabla 6.9

TREN DE OSMOSIS 1	ENJUAGUE				
	DETENIDO	PASO 1 ENJ.	ENJUAGUE	FIN ENJ. 1	DETENIDO
VMC-401	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
P-401	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
P-101	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
P-102	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA

VMC-406	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
VMC-407	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA
P-402	PARADA	MARCHA	MARCHA	PARADA	PARADA
VBC-408	ENCENIDA	ENCENDIDA	ENCENDIDA	ENCENDIDA	APAGADA

Cabe hacer las siguientes aclaraciones.

- 1) El encendido y apagado de los trenes de osmosis se hace en función de los niveles de los tanques de almacenamiento respectivos.
- 2) Luego de operar para la desmineralización del agua, es decir, al detener el equipo de osmosis se efectúa un enjuague del mismo.

Tabla 6.10

TREN DE OSMOSIS 2	ARRANQUE DEMINERALIZACION				
	DETENIDO	PASO 1	PASO2	PASO3	DEMINERALIZACION
VMC-501	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA
P-501	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA
P-103	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA	MARCHA
P-104	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA	MARCHA
VMC-506	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA
VMC-507	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
P-502	PARADA	PARADA	PARADA	MARCHA	MARCHA
VBC-508	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA

Tabla 6.11

TREN DE OSMOSIS 2	PARADA DEMINERALIZACION				
	DESMINERALIZACIÓN	PASO 1	PASO2	PASO3	DETENIDO
VMC-501	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	CERRADA	CERRADA
P-501	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
P-103	MARCHA	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
P-104	MARCHA	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA
VMC-506	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
VMC-507	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
P-502	MARCHA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
VBC-508	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA	APAGADA

Tabla 6.12

TREN DE OSMOSIS 2	ENJUAGUE			
	DETENIDO	PASO 1 ENJ.	ENJUAGUE	FIN ENJ. 1

VMC-501	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
P-501	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
P-103	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
P-104	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA	PARADA
VMC-506	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
VMC-507	CERRADA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA
P-502	PARADA	MARCHA	MARCHA	PARADA	PARADA
VBC-508	ENCENIDA	ENCENDIDA	ENCENDIDA	ENCENDIDA	APAGADA

ALARMAS.

En la Tabla 6.13 se detalla un listado de alarmas, su procedencia y el accionar del sistema en cada caso.

Tabla 6.13

FALLA	RUTINAS HABILITADAS	OBSERVACIONES	RUTINA DE FALLA
ESTADO P-101	TODAS	DETENCION	DETENCION TOTAL
ESTADO P-102	TODAS	DETENCION	DETENCION TOTAL
ESTADO P-103	TODAS	DETENCION	DETENCION TOTAL
ESTADO P-104	TODAS	DETENCION	DETENCION TOTAL
ESTADO P-401	DESMINERALIZACION 1 ENJUAGUA OSMOSIS1	ENJUAGUE	ENJUAGUE OSMOSIS 1
ESTADO P-402	DESMINERALIZACION 1 ENJUAGUA OSMOSIS 1	DETENCION	DETENCION OSMOSIS 1
ESTADO P-501	DESMINERALIZACION 2 ENJUAGUA OSMOSIS 2	ENJUAGUE	ENJUAGUE OSMOSIS 2
ESTADO P-502	DESMINERALIZACION ENJUAGUA OSMOSIS	DETENCION	DETENCION OSMOSIS 2
ORP 325	DESMINERALIZACION 1 ENJUAGUA OSMOSIS1 DESMINERALIZACION 2 ENJUAGUA OSMOSIS 2	ENJUAGUE	ENJUAGUE OSMOSIS 1 ENJUAGUE OSMOSIS 2
PSL 404	DESMINERALIZACION 1 ENJUAGUA OSMOSIS1	ENJUAGUE	ENJUAGUE OSMOSIS 1
PSL 504	DESMINERALIZACION 2 ENJUAGUA OSMOSIS 2	ENJUAGUE	ENJUAGUE OSMOSIS 2
CE 509	DESMINERALIZACION 1 ENJUAGUA OSMOSIS1	ENJUAGUE	ENJUAGUE OSMOSIS 1
CE 409	DESMINERALIZACION 2 ENJUAGUA OSMOSIS 2	ENJUAGUE	ENJUAGUE OSMOSIS 2
ESTADO COMPRESOR AIRE	TODAS	DETENCION	DETENCION TOTAL

CAPITULO 7

7. Estimación del costo de rediseño y funcionamiento

7.1. Estimación de costos

A continuación se describen los costos de la puesta en funcionamiento del equipo completo, separado por grupos:

✓ Etapa de bombeo de baja presión

Aquí se tiene en cuenta el sector que abarca las bombas de baja presión y la cañería hasta el ingreso a los trenes de filtros multimedia, los costos son los siguientes:

Tabla 7.1

Cantidad	Descripción	Diámetro	Serie	Referencia	Precio unitario	Precio total
3	Bombas centrifugas EBARA 3M/3P	3"		P-10X	850	2550
6	Bridas PVC DIN 150	3"	PN10		22,3	133,8
6	Manguitos porta brida PVC	DN80	PN10		12,4	74,4
4	Codos PVC	DN80	PN10		7,8	31,2
4	Tee PVC	DN80	PN10		10	40
2	Cruces PVC	DN80	PN10		35	70
15	mts caño PVC	DN80	PN10		9,4	141
5	Manómetros 4"x 1/2" x 10 Bar 316			PI-10X	67	335
10	Válvulas Bola PVC	DN100	PN10	VB-1XX	120	1200
6	Válvulas retención a resorte PVC			VR-1XX	70	420

✓ Filtros Multimedia

En este grupo se incluyen los gastos correspondientes al reemplazo del medio filtrante, de todas las válvulas actuadas y algunas piezas secundarias que se detallan a continuación:

Tabla 7.2

Cantidad	Descripción	Diámetro	Serie	Referencia	Precio unitario	Precio total
10600	Lts de material filtrante ag-plus				1,5	15900
1300	Lts grava				0,5	650
9	Crepinas superiores x 8 bar	4"	PN10		130	1170
9	Crepinas inferiores x 8 bar	4"	PN10		130	1170
18	Manómetros 4"x 1/2" x 10 Bar 316			PI2XX	67	1206
45	Válvulas mariposa PVC wafer	3"	PN10	VMC-2XX	175	7875
45	Actuadores 40 Nm F05F07-14				350	15750
45	Pilotos D.efec. Bob 24 VCC				56	2520
90	Conectores M8 x 1/8 rápidos				6	540
77	Codos pvc	DN80	PN10		7,2	554,4
18	Bridas pvc 150 DIN	4"	PN10		27,5	495
18	Manguitos porta brida pvc	DN100	PN10		14,7	264,6

18	Reducciones 110-90		PN10		7,7	138,6
80	mts caño pvc	DN80	PN10		5,8	464
45	Cruces pvc	DN80	PN10		14,5	652,5
4	Codos pvc	DN100	PN10		15	60
2	Cruces pvc	DN100	PN10		45	90
35	mts caño pvc	DN100	PN10		10	350
1	Válvula retención a resorte PVC	DN80	PN10	VR-247	60	60
1	Válvula regulación manual	3"	PN63	HCV-246	250	250

✓ Filtros de carbón

En este grupo se incluyen los costos correspondientes a los 12 filtros de carbón que fueron agregados, a sus correspondientes medios filtrantes, cuadro de válvulas y demás piezas secundarias:

Tabla 7.3

Cantidad	Descripción	Diámetro	Serie	Referencia	Precio unitario	Precio total
78	mts caño pvc	DN50	PN10		9,4	733,2
12	Reducciones	DN100-DN50	PN10		4,1	49,2
60	Codos pvc	DN50	PN10		5,6	336
8	Cruces PVC DN50	DN50	PN10		11,2	89,6
32	Tee pvc	DN50	PN10		9,4	300,8
27	Uniones dobles pvc	DN50	PN10		26	702
12	Tanques PRFV 3672 48X94				675	8100
12816	lts carbón 1240W				45	576720
1600	lts grava				0,5	800
12	Válvulas multivía p/filtro	2"	PN10	MV-3XX	1450	17400
12	Caño central + crepina inferior	2"	PN10		67,4	808,8
24	Válvulas Bola PVC	DN50	PN10	VB-3XX	8	192
36	Uniones dobles pvc dn50	DN50	PN10		26	936

✓ Ósmosis Inversa

En la Tabla 7.4 se incluyen los costos correspondientes a los cartuchos de los filtros de partículas previos a la entrada de la osmosis, elementos de medición, membranas de osmosis inversa y demás piezas secundarias.

Tabla 7.4

Cantidad	Descripción	Diámetro	Serie	Referencia	Precio unitario	Precio total
20	Filtros de partículas 5 um				5	100
1	Medidor ORP			ORP-325	900	900
2	Válvulas mariposa	5"	PN6	VMC-401 VMC-501	50	100
2	Actuadores 120 Nm F05F07-14				275	550
2	Pilotos D.efec. Bob 24 VCC				130	260
4	Conectores M8 x 1/8 rápidos				2,5	10
2	Bombas dosificadoras Antiincrustante			P-403/503	300	600
2	Caudalímetros	5"		FE-403/503	2500	5000
2	Caudalímetros	4"		FE-410/510	2300	4600
2	Conductímetros			CE-409/509	120	240
144	Membranas osmosis baja energía	8"			580	83520
48	Tapas carcasa 8"				120	5760
48	Conectores tapa carcasa				56	2688

✓ Costos eléctricos

Se considera el reemplazo del gabinete existente y cambio de todos los elementos de protección y control que posee el mismo.

Tabla 7.5

Cantidad	Descripción	Diámetro	Serie	Referencia	Precio unitario	Precio total
4	Columnas Rittal 2000mmx800mmx500mm				1056	4224
4	Zócalos frontales 100x 800				67	268
2	Zócalos laterales 100x500				78	156
1	Interruptor NR F (36KA) 4P STR23 SE(U<=525V)				4780	4780
1	Prolongación mando puerta				456	456
1	Bobina mínima				127	127
4	Cubre bornes				24	96
2	Contactador LC1-F225				1340	2680
2	Guardamotor GV7-RE220				1670	3340
7	Guardamotor GV2P21				145	1015
7	Contactador LC1D25				112	784
7	Bloques contacto estado gv2				23	161
2	Bloques contacto gv7				78	156
1	Termomagnética C 10 KA 10A 2p				25	25
1	Termomagnética c 10 KA 10A 3p				32	32
1	Termomagnética C 10 KA 25A 40				43	43
1	PLC CPU s71200 1214c SIEMENS				1380	1380
4	Módulos 16 entradas digitales s71200				569	2276
4	Módulos 16 salidas digitales s71200				678	2712
2	Módulos 8 entradas analógicas				768	1536
1	Fuente 85-260/220-560--24vcc 10A				1100	1100

80	Relés 24vcc 3 a interface				13	1040
450	Bornes 4 mm				1,1	495
230	Tapas bornes 4 mm				0,5	115
46	Bornes tierra				5,6	257,6
1	Material general (eléctrico)				1100	1100
1	Medidores clase 1 400 a V s selec				113	113
3	Medidores clase 1 400 a i				56	168
1	Pantalla touch ktp-1000 color (PLC)				3567	3567

✓ Costo de armado y puesta en marcha

Tabla 7.6

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1260 h (* ²)	Mano de Obra parte eléctrica	3,26	4108,7
3240 h (* ³)	Mano de Obra parte mecánica	3,26	10565,22
1(* ⁴)	Asesoramiento	4000	4000
1(* ⁴)	Pruebas mecánicas	2400	2400
1(* ⁴)	Pruebas eléctricas	1760	1760
1(* ⁴)	Pruebas control	3500	3500
1	Laboratorio	1100	1100
1(* ⁷)	Fletes	8087,8	8087,8
1 (* ⁵)	Gastos administrativos	32035	32035
1(* ⁶)	Contingencias	84032,8	84032,8

(*²) Cantidad de horas de trabajo de 4 personas durante 35 días en una jornada de 9 horas diarias.

(*³) Cantidad de horas de trabajo de 6 personas durante 60 días en una jornada de 9 horas diarias.

(*⁴) Incluye cantidad de horas de operarios calificados y costos de ensayos.

(*⁵) Se considera el 4% del valor de la mercadería.

(*⁶) Se considera el 10% de la suma de los costos totales sin tener en cuenta fletes y gastos administrativos

(*⁷) Se considera un 1,5% de la suma de los costos totales sin tener en cuenta los gastos administrativos.

✓ Costo Final

Tabla 7.7

Etapa de baja presión	4995,4
Filtros Multimédias	50160
Filtros de Carbón Activado	607167,6
Ósmosis Inversa	104328
Costos eléctricos	34202,6
Costos de armado y puesta en marcha	14674
Subtotales USS	828287,6
IVA	173940,4
Fletes, gastos administrativos y contingencias	128977,5
COSTO TOTAL (U\$S)	1129515,3

Todos los valores arriba mencionados están expresados en dólares.

Apéndices

ANEXO 1-A

Dentro de código alimenticio trata de varios temas, solo se presenta a continuación lo que corresponde al agua potable.

CAPITULO XII BEBIDAS ANALCOHOLICAS BEBIDAS HIDRICAS, AGUA Y AGUA GASIFICADA

AGUA POTABLE

Art 982 - Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios.

Ambas deberán cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas siguientes:

Características físicas:

Turbiedad: máx. 3 N T U;

Color: máx. 5 escala Pt-Co;

Olor: sin olores extraños.

Características químicas:

pH: 6,5 - 8,5;

pHsat.: pH \pm 0,2.

Substancias inorgánicas:

Amoníaco (NH₄⁺) máx.: 0,20 mg/l;

Antimonio máx.: 0,02 mg/l;

Aluminio residual (Al) máx.: 0,20 mg/l;

Arsénico (As) máx.: 0,01 mg/l;

Boro (B) máx.: 0,5 mg/l;

Bromato máx.: 0,01 mg/l;

Cadmio (Cd) máx.: 0,005 mg/l;

Cianuro (CN⁻) máx.: 0,10 mg/l;

Cinc (Zn) máx.: 5,0 mg/l;

Cloruro (Cl⁻) máx.: 350 mg/l;

Cobre (Cu) máx.: 1,00 mg/l;

Cromo (Cr) máx.: 0,05 mg/l;

Dureza total (CaCO₃) máx.: 400 mg/l;

Fluoruro (F⁻): para los fluoruros la cantidad máxima se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida:

- Temperatura media y máxima del año (°C) 10,0
- 12,0, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,9; límite superior: 1, 7;
- Temperatura media y máxima del año (°C) 12,1
- 14,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8; límite superior: 1,5:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 14,7
- 17,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8; límite superior: 1,3:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 17,7
- 21,4, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), Límite inferior: 0,7; límite superior: 1,2:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 21,5
- 26,2, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,7; límite superior: 1,0:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 26,3
- 32,6, contenido límite recomendado de Flúor (mg/l), límite inferior: 0,6; límite superior: 0,8:

Hierro total (Fe) máx.: 0,30 mg/l;

Manganeso (Mn) máx.: 0,10 mg/l;

Mercurio (Hg) máx.: 0,001 mg/l;

Niquel (Ni) máx.: 0,02 mg/l;

Nitrato (NO₃⁻) máx.: 45 mg/l;

Nitrito (NO₂⁻) máx.: 0,10 mg/l;

Plata (Ag) máx.: 0,05 mg/l;

Plomo (Pb) máx.: 0,05 mg/l;

Selenio (Se) máx.: 0,01 mg/l;

Sólidos disueltos totales, máx.: 1500 mg/l;

Sulfatos (SO₄⁼) máx.: 400 mg/l;

Cloro activo residual (Cl) mín.: 0,2 mg/l.

La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario.

Para aquellas regiones del país con sueldos de alto contenido de arsénico, se establece un plazo de hasta 5 años para adecuarse al valor de 0,01 mg/l.

Características Microbiológicas:

Bacterias coliformes: NMP a 37 °C- 48 hs. (Caldo Mc Conkey o Lauril Sulfato), en 100 ml: igual o menor de 3.

Escherichia coli: ausencia en 100 ml.

Pseudomonasaeruginosa: ausencia en 100 ml.

En la evaluación de la potabilidad del agua ubicada en reservorios de almacenamiento domiciliario deberá incluirse entre los parámetros microbiológicos a controlar el recuento de bacterias mesófilas en agar (APC - 24 hs. a 37 °C): en el caso de que el recuento supere las 500 UFC/ml y se cumplan el resto de los parámetros indicados, sólo se deberá exigir la higienización del reservorio y un nuevo recuento.

En las aguas ubicadas en los reservorios domiciliarios no es obligatoria la presencia de cloro activo.

Contaminantes orgánicos:

THM, máx.: 100 ug/l;
Aldrin + Dieldrin, máx.: 0,03 ug/l;
Clordano, máx.: 0,30 ug/l;
DDT (Total + Isómeros), máx.: 1,00 ug/l;
Detergentes, máx.: 0,50 mg/l;
Heptacloro + Heptacloroepóxido, máx.: 0,10 ug/l;
Lindano, máx.: 3,00 ug/l;
Metoxicloro, máx.: 30,0 ug/l;
2,4 D, máx.: 100 ug/l;
Benceno, máx.: 10 ug/l;
Hexacloro benceno, máx.: 0,01 ug/l;
Monocloro benceno, máx.: 3,0 ug/l;
1,2 Dicloro benceno, máx.: 0,5 ug/l;
1,4 Dicloro benceno, máx.: 0,4 ug/l;
Pentaclorofenol, máx.: 10 ug/l;
2, 4, 6 Triclorofenol, máx.: 10 ug/l;
Tetracloruro de carbono, máx.: 3,00 ug/l;
1,1 Dicloroetano, máx.: 0,30 ug/l;
Tricloro etileno, máx.: 30,0 ug/l;
1,2 Dicloro etano, máx.: 10 ug/l;
Cloruro de vinilo, máx.: 2,00 ug/l;
Benzopireno, máx.: 0,01 ug/l;
Tetra cloro eteno, máx.: 10 ug/l;
MetilParatión, máx.: 7 ug/l;
Paratión, máx.: 35 ug/l;
Malatión, máx.: 35 ug/l.

Los tratamientos de potabilización que sea necesario realizar deberán ser puestos en conocimiento de la autoridad sanitaria competente".

ANEXO 2-A

FARES TALE
INSTITUTO ANALISIS

INSTITUTO ANALISIS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS
 CALLE 125 N° 271 76000 MAR DEL PLATA
 TEL: (0223) 475-1000 FAX: (0223) 475-1001
 E-MAIL: ANALISIS@FARES.TALE.COM.AR

INFORME DE RESULTADOS
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

Fecha: 24/09/2010

Protocolo N°: 42679

Solicitado por:

Muestra de: AGUA

Rotulada como: NO CONSIGNA

Fecha de recepción de muestra: 18/09/2010

Hora: 13:00

Cantidad: 1000 ML

Condiciones: REFRIGERADA

Análisis realizado el: 18/09/2010

DETERMINACIÓN	METODOLOGÍA
pH ^(*)	Método 4500-H ⁺ B SM, 21 th Edition
Conductividad ^(*)	Método 2510 B SM, 21 th Edition
Carbonatos ^(*)	Método 2320 B SM, 21 th Edition
Bicarbonatos ^(*)	Método 2320 B SM, 21 th Edition
Cloruros ^(*)	Método 4500-Cl SM, 21 th Edition
Dureza ^(*)	Método 2340 C SM, 21 th Edition
Nitratos ^(*)	ISO 7890-3 1988
Calcio ^(*)	Método 3500-Ca B SM, 21 th Edition
Magnesio ^(*)	Método 3500-Mg B SM, 21 th Edition
Nitritos ^(*)	Método 4500-NO ₂ B SM, 21 th Edition
Sulfatos ^(*)	Método 4500-SO ₄ ²⁻ E SM, 21 th Edition
Sólidos disueltos totales ^(*)	Método 2540 B SM, 21 th Edition

DETERMINACIONES	Limites Permitidos C.A.A.	RESULTADOS
pH ^(*) Finalizado 24/09/10	6.5-8.5	7.6 u pH
Conductividad ^(*) Finalizado 24/09/10	---	13.500 mS / cm
Carbonatos ^(*) (como CaCO ₃) Finalizado 24/09/10	---	Menos de 30 mg / L
Bicarbonatos ^(*) (como CaCO ₃) Finalizado 24/09/10	---	430 mg / L
Cloruros ^(*) Finalizado 24/09/10	Máx 350 mg / L	2900 mg / L
Dureza ^(*) Finalizado 24/09/10	Máx 400 mg / L	960 mg / L
Calcio ^(*) Finalizado 24/09/10	---	200 mg / L
Magnesio ^(*) Finalizado 24/09/10	---	110 mg / L
Nitratos ^(*) Finalizado 24/09/10	Max 45 mg / L	11.8 mg / L
Nitritos ^(*) Finalizado 24/09/10	Max 0.10 mg / L	Menos de 0.03 mg / L
Sulfatos ^(*) Finalizado 24/09/10	Máx 400 mg / L	1280 mg / L
Sólidos disueltos totales ^(*) Finalizado 24/09/10	Máx 1500 mg / L	9000 mg / L

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAA.

OPINIONES / INTERPRETACIONES: desde el punto de vista fisicoquímico, los valores hallados de CLORUROS, DUREZA, SULFATOS Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES NO cumplen con los límites establecidos para Agua de consumo en el Artículo 982 (Res. Conj. SPRYS N° 68/07 y SAGPyA N° 198/07)

NOTAS:

- La presente muestra no ha sido extraída por personal del laboratorio. En consecuencia este no se hace responsable del método de extracción utilizado y/o la real procedencia de la muestra analizada.
- Los resultados sólo están relacionados con la muestra ensayada.
- No está permitida la reproducción parcial de este informe.

Fin de informe

24/09/2010
 Juan Carlos Quirós
 Director Técnico

FORMAS DE CONTACTO

• Buenos Aires • Avellaneda • Bahía Blanca • Córdoba • Mar del Plata • Montevideo • Rosario • Tucumán • Mendoza • Neuquén • San Juan • San Luis • Salta • Santiago del Estero • Santa Fe • Tierra del Fuego

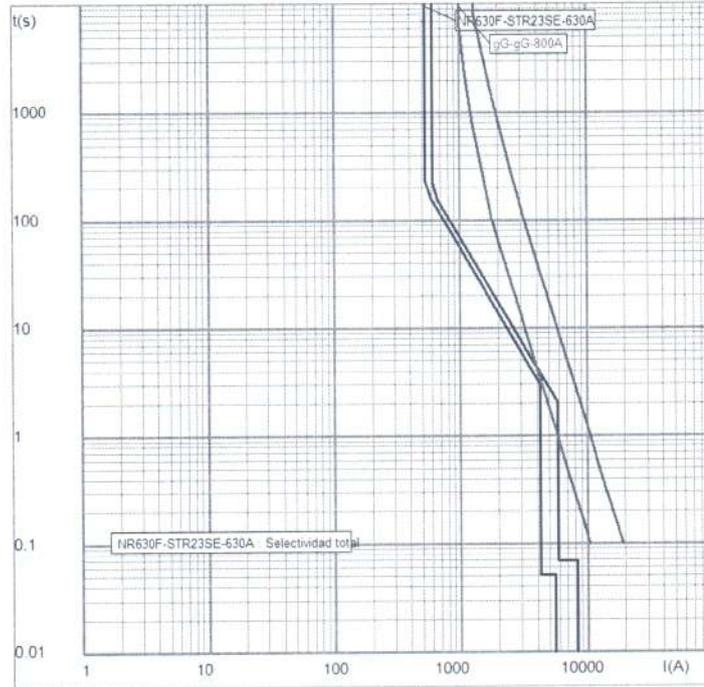
ANEXO 5-A

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Viscosidad dinámica (N·s/m ²)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m ²)
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33

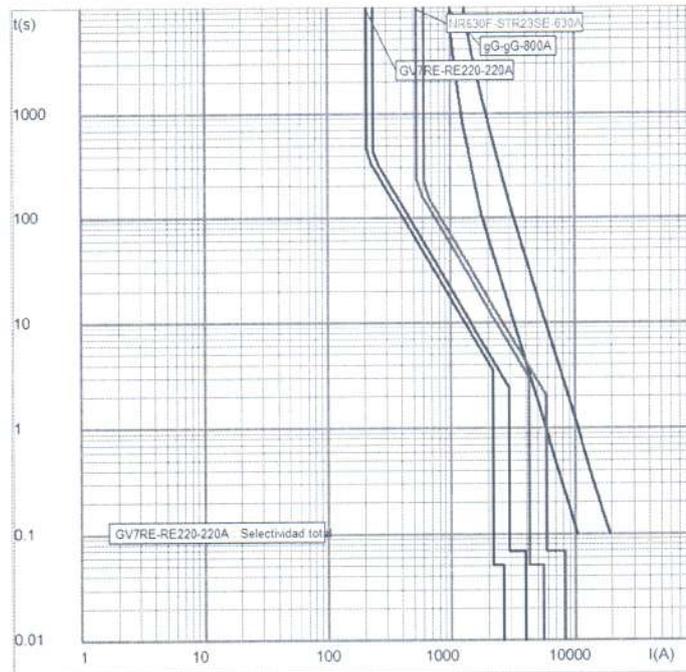
ANEXO 5-B

ANEXO 6-A

En el grafico 6-A-1 se verifica la coordinación entre interruptor principal y fusibles:



En el grafico 6-A-2 se muestra como coordina la protección de los motores de 110Kw con los instrumentos aguas arriba.



En el grafico 6-A-3 similar a lo anterior pero con la protección de los motores de 9,2Kw

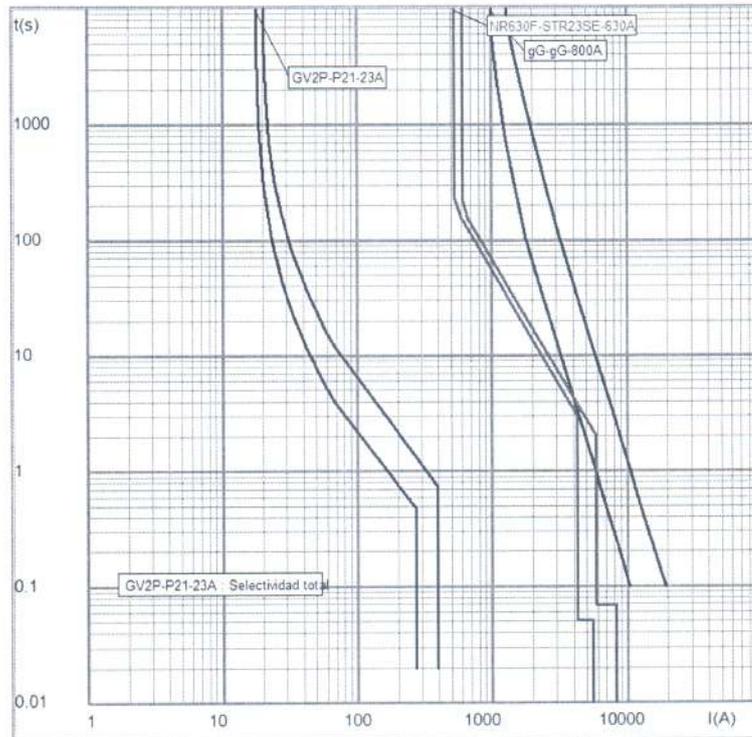


Grafico 6-A-4 Representa la coordinación del instrumento de usos generales con los de aguas arriba

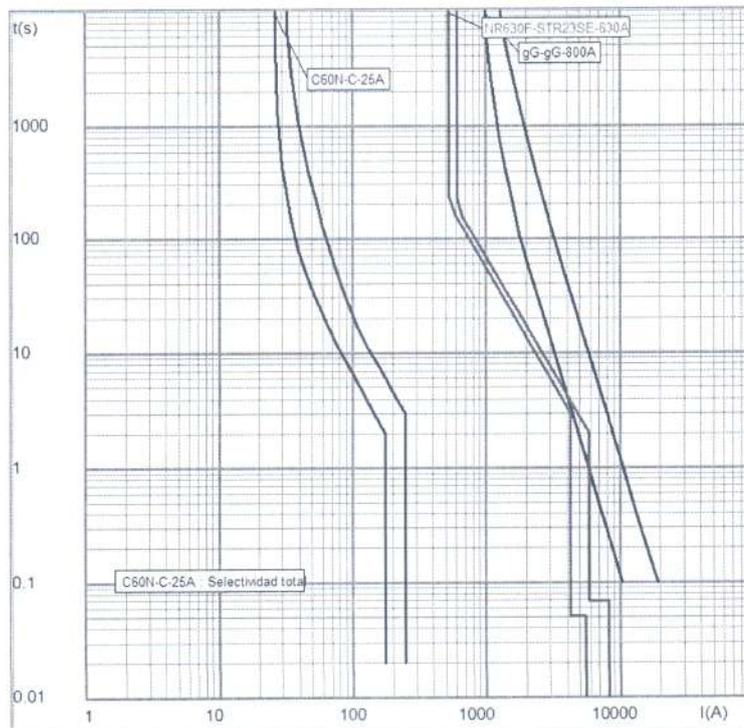
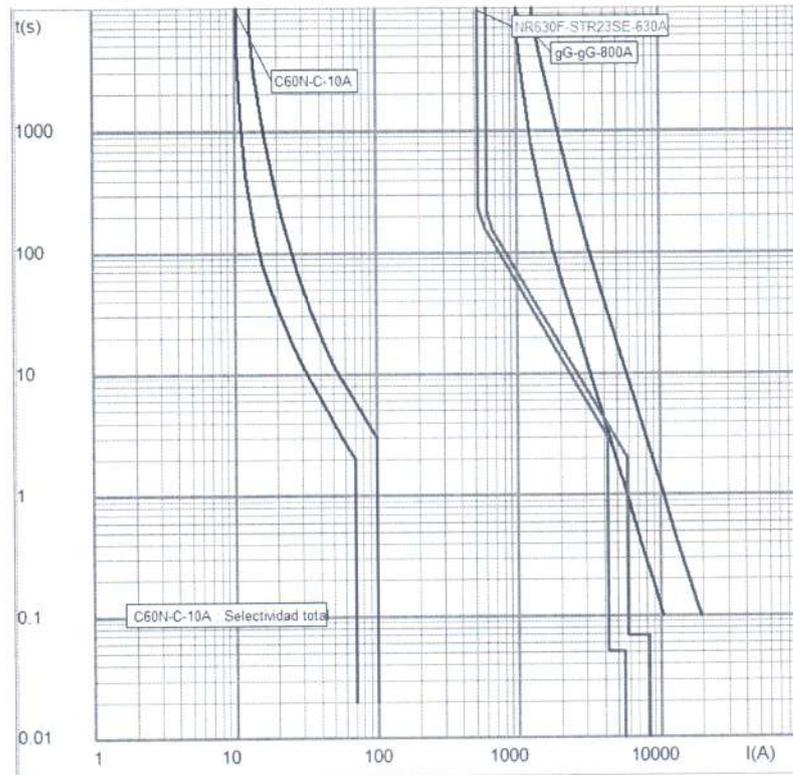


Grafico 6-A-5 se comprueba la coordinación del PLC, así como la del compresor



Bibliografía

- E. Shashi Menon, *Piping Calculations Manual*, New York, McGraw Hill – 2004.
- David A. Willoughby, R. Dodge Woodson y Rick Sutherland, *Plastic Piping Handbook*, New York, McGraw Hill – 2004.
- José Antonio Medina San Juan, *Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa*, Madrid, Ediciones Mundi-Prensa – 1999.
- Irving H. Shames, *Mecánica de fluidos*, 3° Ed, Colombia, McGraw Hill – 1995.
- Apuntes de Instalaciones eléctricas 1.
- Manual y Catalogo del electricista de Schneider Electric.
- Programa curve direct 1.7 provisto por Schneider Electric.
- Catalogo de Cables Zerotox.
- www.toraywater.com