

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa para el abastecimiento de agua potable a una ciudad del litoral de Málaga

Autor: David CARRASCOSA AMAYA

Fecha: Septiembre 2005





MEMORIA

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 : OBJETO Y JUSTIFICACIÓN.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Objeto y justificación.....	8
CAPÍTULO 2 : VIABILIDAD.....	11
2.1 Viabilidad legal.....	11
2.2 Viabilidad técnica.....	11
2.3 Viabilidad económica.....	12
Diagrama de flujo del proceso.....	13
CAPÍTULO 3 : PROCESO.....	14
3.0 Descripción general del proceso.....	14
3.1 Toma de agua de mar.....	16
3.2 Entrada a planta/Ajuste de pH.....	18
3.3 Filtración.....	23
3.4 Desinfección.....	24
3.5 Ósmosis inversa.....	26
3.6 Recuperación de energía.....	41
3.7 Ajuste pH final y contenido en calcio(Remineralización).....	43
3.8 Desinfección final.....	44
3.9 Vertido de salmuera.....	45
3.10 Equipo de limpieza de las membranas.....	45
CAPÍTULO 4 CONTROL DEL PROCESO.....	53
CAPÍTULO 5 MATERIAS PRIMAS.....	55
5.1 Agua de mar.....	55
5.2 Ácido sulfúrico.....	56
5.3 Cal.....	57
5.4 Cloruro de calcio.....	57
5.5 Hipoclorito sódico.....	58
CAPÍTULO 6 MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	59
6.1 Bombas pozo.....	59
6.2 Filtros.....	59

6.3 Esterilizadores ultravioleta.....	61
6.4 Bombas de alta presión.....	62
6.5 Membranas de ósmosis inversa.....	64
6.6 Recuperadores de energía.....	66
6.7 Aerogenerador.....	67
CAPÍTULO 7 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	68
CAPÍTULO 8 SEGURIDAD.....	69
8.1 Sistema antiincendio.....	69
8.2 Prevención de riesgos laborales.....	69
8.3 Cubetos de retención.....	71
8.4 Zonas de carga.....	71
8.5 Fichas de seguridad.....	71
8.5.1 Ficha de seguridad del ácido sulfúrico.....	71
8.5.2 Ficha de seguridad del hidróxido cálcico.....	74
8.5.3 Ficha de seguridad del cloruro cálcico.....	77
8.5.4 Ficha de seguridad del hipoclorito sódico.....	79
CAPITULO 9 IMPACTO AMBIENTAL.....	82
9.1 Problemática ambiental de los vertidos de salmuera.....	82
9.2 Otros vertidos.....	84
9.3 Otros impactos.....	84
9.4 Consideraciones finales.....	85
CAPÍTULO 10 ESTUDIO ECONÓMICO.....	86
CAPÍTULO 11 BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS A LA MEMORIA.....	91
Anexo I. Diseño de los pozos playeros.....	92
Anexo II. Cálculo cédula y clase de las bridas de las tuberías de alimentación a planta.....	102
Anexo III. Cálculo de la bomba necesaria para el pretratamiento y presiones en las correspondientes tuberías.....	105
Anexo IV. Cálculo de las dosis de ácido sulfúrico, hidróxido cálcico y cloruro de calcio.....	118
Anexo V. Dosificación de ácido sulfúrico. Volúmenes y caudales.....	128

Anexo VI. Comparación económica cloración-decloración frente a la desinfección por medio de radiación ultravioleta.....	129
Anexo VII. Cálculo del número de esterilizadores necesarios.....	131
Anexo VIII. Cálculo de las bombas de alta presión y booster necesarias. Presión máxima en la línea de alta presión.....	133
Anexo IX. Cálculo de los porcentajes de saturación en el concentrado.....	139
Anexo X. Composición del agua producto.....	144
Anexo XI. Cálculo de la bomba y tuberías necesarias para el bombeo del producto.....	145
Anexo XII. Cálculo de la bomba y tuberías necesarias para la devolución del rechazo al mar.....	149
Anexo XIII. Cálculo de la potencia total requerida.....	152
Anexo XIV. Dosificación de cal.....	154
Anexo XV. Dosificación de cloruro cálcico.....	156
Anexo XVI. Dosis de hipoclorito sódico.....	157
Anexo XVII. Dosificación de hipoclorito sódico.....	161
Anexo XVIII. Equipo de limpieza de las membranas.....	162
Anexo XIX. Normalización de los datos de operación.....	163

CAPÍTULO 1. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El proyecto se fundamenta en el artículo “A wind-powered seawater reverse-osmosis system without batteries” Marcos S.Miranda y David Infield, y que aparece en la revista Desalination nº 153 (Año 2002), en el que se exponen los diversos esquemas de funcionamiento posibles de este tipo de sistemas.

Debido a la intermitencia e impredecibilidad del viento hay dos estrategias principales para llevar a cabo el proceso de desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa y empleando energía eólica como fuente de energía:

- Sistemas con energía alternativa a la eólica (por ejemplo la red convencional)
- Sistemas con energía eólica como única fuente.

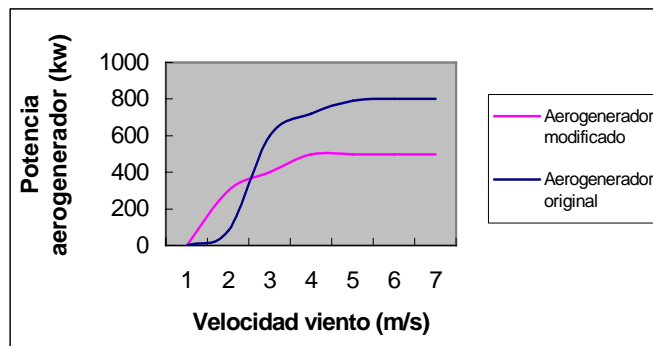
Las ventajas del primer tipo son :

- No es necesario sobredimensionar la planta
- No hay almacenamiento de energía
- Operación en continuo
- Posibilidad de vender la energía sobrante en los períodos en que la haya.

Dentro del segundo grupo existen varias alternativas :

- Almacenamiento de energía : se almacena la energía que sobra en períodos de fuerte viento. Este sistema no es práctico en nuestro caso, ya que con los niveles de potencia a los que trabajamos (cientos de kilowatios) el tamaño del banco de baterías sería desmesurado. Las baterías además tienen una vida útil corta y son caras.
- Conexión progresiva de líneas de ósmosis inversa: existen distintas líneas de ósmosis que van conectándose y desconectándose en función de la energía disponible. En este caso habría que sobredimensionar el conjunto de líneas para poder alcanzar la producción deseada. Por otro lado, los fabricantes de membranas aconsejan no someter a las membranas a variaciones periódicas de sus condiciones. Las membranas sufren de fatiga y acortan notablemente su vida.
- Modificación del aerogenerador : un aerogenerador de paso controlable se puede modificar de modo que su potencia máxima se alcance a velocidades menores, con la contrapartida de que la nueva potencia máxima será menor a la potencia

máxima original. Por tanto, la potencia original del aerogenerador ha de ser considerablemente mayor a la requerida para que al modificarla se alcance la necesaria.



Así se consigue que el aerogenerador trabaje más tiempo, aunque dando menor potencia máxima. De todas formas no se conseguirá la continuidad total. Este sistema encarece el aerogenerador, ya que debemos escoger uno

mayor.

➤ Condiciones variables: como ya dijimos, no es aconsejable y por otro lado habría que sobredimensionar la planta.

Por tanto, son dos las opciones convenientes:

- sistema con energía eólica y convencional
- sistema con turbina modificada

De entre estas dos se elige la primera opción, ya que la segunda opción requeriría instalar mayor potencia de la estrictamente necesaria, aumentando en exceso el coste de amortización.

Para el hombre siempre ha sido un reto el separar la sal del agua del mar para aprovechar sin límite sus inmensas reservas, ya se tiene constancia de que Aristóteles hablaba de aquello que hacía inservible el agua de mar para poder regar los campos y calmar la sed. Desde la época griega clásica, donde se definieron los principios para la separación del agua y las sales, el hombre siempre ha buscado maneras de lograr esa separación. Existen ejemplos a lo largo de la historia antigua de hombres dedicados a tal esfuerzo: Aristóteles, Tales de Mileto, Demócrito, Plinio, Laguna (médico de Carlos V)... En el siglo XVI ya se utilizaron alambiques en barcos para obtener agua dulce, aunque de naturaleza muy rudimentaria.

Hasta bien entrado el siglo XIX no se puede hablar propiamente de una instalación desaladora de naturaleza estable. Precisamente fue una planta de destilación solar en una explotación minera: las Salinas de Chile (Handbury, Hodgkiess y Morris, 1993). Su rendimiento era ínfimo (20 m³ producidos en una

extensión de 4.000 m²), pero era la primera forma de obtener agua dulce para el abastecimiento de la población minera en aquel lugar tan remoto y árido. Posteriormente, en el año 1884 se fabrica por primera vez un evaporador para un barco aprovechando la energía residual del vapor de salida de su caldera. Toda la primera tecnología iba encaminada al efecto pernicioso del agua salada en los tubos de los intercambiadores: incrustaciones, corrosión, etc.

La primera mitad del siglo XX fue totalmente dominada por las tecnologías de evaporación, y se incidió principalmente en el diseño de nuevos tipos de intercambiadores más eficientes y compactos que producían cada vez mas agua dulce con el menor consumo. La facilidad de combinación con instalaciones productoras de energía y su robustez y capacidad ha contribuido a su manutención en el panorama mundial. Sin embargo, la dependencia energética primaria de este tipo de plantas y su alto consumo motivó la búsqueda de otras alternativas en el mundo de la desalación, como las membranas.

Las primeras investigaciones de membranas para desalación datan de la década de los 30, cuando Ferry las recopila en 1936 y las clasifica por sus materiales utilizados (naturales, de malla porosa, cobre, celofán...). Pero las primeras experiencias de membranas con rechazo de sales aceptable para la desalación son de Reid y Breton en la Universidad de Florida en 1953, que obtuvieron un rechazo del 98% con membranas planas de acetato de celulosa. Posteriormente Loeb y Sourirajan en 1960 mejoraron el flujo de este tipo de membranas. Ya en los 70 el material de las membranas se sustituye por poliamida aromática que aumentaban el rechazo hasta el 99%; la primera membrana de este tipo para agua de mar data de 1972, siendo dos años antes la fecha de aparición de las primeras membranas para aguas salobres. A partir de esta fecha, la búsqueda de nuevos materiales (la mayoría de ellos de naturaleza orgánica como la poliamida aromática) ha contribuido a evitar de forma considerable los problemas derivados de la operación de las mismas (no tolerancia a ciertos componentes) así como disminuir la presión mínima necesaria para la obtención del permeado.

Centrándonos en la evolución histórica de capacidad instalada en el mundo, se puede decir que en el año 1970 dicha capacidad era de tan sólo 1,7 hm³/día, correspondientes a plantas evaporadoras muy baratas de instalación pero de alto consumo, utilizadas normalmente en los barcos para reducir espacio y de acuerdo con la tecnología disponible en aquel momento (VTE principalmente). Sin embargo, la crisis del petróleo de 1973 fue el revulsivo para que los países exportadores de

petróleo, que además son los países con mayor escasez de agua, instalaran gran cantidad de plantas de evaporación acopladas con plantas de producción eléctrica, lo que ha permitido el asentamiento definitivo de la población en estas zonas tan áridas del planeta. En los años 80, una nueva crisis del petróleo y la aparición de las membranas de osmosis inversa para agua de mar, hizo que el incremento de este tipo de plantas no fuera tan espectacular, además de que la desalación por otros métodos se extendiera más allá del Golfo Pérsico de forma notoria, especialmente en el tratamiento de aguas salobres.

Finalmente, en la década de los 90 los procesos de evaporación siguen pesando considerablemente en Oriente Medio, pero en el resto del mundo la ósmosis inversa es el proceso predominante, penetrando en el difícil mercado árabe con la aparición de las membranas preparadas para filtrar ese tipo de aguas y la posibilidad de acoplar instalaciones híbridas en el caso de baja demanda eléctrica en sus instalaciones duales.

1.2. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN

El objetivo último del presente proyecto es suministrar agua potable a la red municipal de una/s población/es del litoral malagueño equivalentes a 25.000 habitantes con el menor consumo energético posible.

Esta zona, que depende en gran medida del turismo y la agricultura, se ve sometida periódicamente a la escasez de agua precisamente en los meses en que más población soporta, con el consiguiente perjuicio tanto para los ciudadanos como para los visitantes.

Para solucionar este problema se prevé la construcción de una planta desalinizadora que sea capaz de dar agua al menor coste posible, tanto económico como ambiental.

Las alternativas tecnológicas aplicables a escala industrial cuando se desala agua de mar son :

- Destilación súbita multietapa (MSF, Multi-Stage Flash Distillation)
- Destilación por múltiple efecto (MED, Multi-effect Distillation)
- Compresión mecánica de vapor (CV)
- Ósmosis inversa

La destilación súbita multietapa se realiza gracias a la utilización de una cámara sometida a vacío parcial que permite una evaporación súbita del agua de mar previamente calentada. El vapor generado en las sucesivas etapas sirve para precalentar la alimentación. Esta tecnología es especialmente válida en los siguientes casos:

- La calidad del agua bruta es mala (alta salinidad, temperatura y/o actividad biológica)
- Se dispone de una central térmica en las cercanías, pudiéndose así recuperar el calor residual de ésta.
- Se requiere una gran robustez

El coste energético de esta tecnología es el más alto, por lo que actualmente su uso se restringe casi exclusivamente a los países de Oriente Medio, en los que el coste de la energía no es un factor decisivo y en los que la calidad del agua del mar no es buena. Por ello esta opción queda descartada en nuestro caso.

En la destilación por múltiple efecto, la evaporación se da de forma natural (no súbita), aunque se sigue haciendo vacío parcial. Tiene un rendimiento energético mejor que la destilación súbita multietapa. Puede competir en cuanto a costes con la ósmosis inversa en aquellos lugares en los que se disponga de calor residual.

Como su nombre indica, en la compresión mecánica de vapor, se comprime el vapor generado, lo que equivale a un sobrecalentamiento. Este vapor sobrecalentado condensa alrededor de los tubos que contienen agua marina, cediéndoles parte de su calor y generando así más vapor. Su consumo energético es el más bajo de todos los procesos que utilizan calor. Se utiliza frecuentemente en procesos de concentración en la industria alimentaria (zumos, quesos, etc). No suele emplearse para agua potable a gran escala debido a la inexistencia de compresores volumétricos de vapor de baja presión de tamaño suficiente para una producción considerable. De todas formas, su consumo energético es mayor al de la ósmosis inversa.

Así las cosas, la única tecnología que puede competir en la práctica con la ósmosis inversa es la destilación por múltiple efecto. Se incluye un análisis económico preliminar en el que se comparan estos dos procesos. Señalar que en los últimos concursos de adjudicación de construcción de desaladoras en España, la

destilación por múltiple efecto nunca ha superado a la ósmosis inversa, y actualmente ni siquiera se presentan.

Incluimos una tabla a continuación comparando los cuatro procesos:

	MSF	MED	CV	OI
Consumo energético primario (kJ/kg)	> 200	150-200	100-150	< 80
Consumo eléctrico (kwh/m ³)	3.5	1.5	8-14	3-5
Calidad agua bruta (ppm)	30.000-100.000	30.000-100.000	30.000-50.000	1.000-45.000
Calidad producto (ppm)	< 50	< 50	< 50	< 500
Capacidad de producción por unidad (m ³ /d)	5.000-60.000	100-20.000	10-2.500	1-10.000
Coste de instalación	Alto	Alto/medio	Alto	Medio
Posibilidad de ampliación	Difícil	Difícil	Difícil	Fácil
Fiabilidad de operación	Alta	Media	Baja	Alta
Superficie requerida	Mucha	Media	Poca	Poca

Como vemos, las tecnologías evaporativas destacan sólo en lo relativo a la calidad del agua bruta permisible y a la calidad obtenida del permeado. Sin embargo, en nuestro caso, la calidad del agua de mar es excelente y la calidad del permeado es suficiente para el fin perseguido.

Concluimos eligiendo la ósmosis inversa como la tecnología a aplicar.

Otro aspecto que debemos comentar es que España, así como el resto de países desarrollados, tiene la obligación de reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, por lo que resulta conveniente incluir algún tipo de energía renovable, que reduzca en la medida de lo posible (económicamente) el consumo de energía convencional.

Optamos por la energía eólica, ya que es la mejor desarrollada, es económica y apropiada para las cercanías del mar.

CAPITULO 2. VIABILIDAD

El presente proyecto es viable desde los puntos de vista legal, técnico y económico, de acuerdo con la justificación que se da a continuación.

2.1. VIABILIDAD LEGAL

Se garantiza el cumplimiento en la instalación de lo dispuesto en la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de Julio).

Se tiene un agua producto con un contenido en sólidos disueltos totales de 295 mg/l, contenido que está dentro de lo exigido por el Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

La planta cumple con todos los requisitos legales actuales, tanto en materia de seguridad como medioambiental.

Son de aplicación las normas de seguridad en el trabajo (Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales y sus modificaciones posteriores).

2.2. VIABILIDAD TÉCNICA

Se ha seleccionado la tecnología de ósmosis inversa de entre las alternativas existentes, por los motivos previamente señalados.

Las membranas escogidas son las comercializadas por la empresa DOW CHEMICAL COMPANY.

Es necesario filtrar el agua de mar para reducir su contenido en sólidos en suspensión, ya que ensucian las membranas. El propio acuífero realiza una filtración grosera. La filtración fina (a 5 micras) la realizan los filtros automáticos comercializados por la empresa TEKLEEN AUTOMATIC FILTRES INC.

Los equipos de bombeo de baja presión corresponden a las empresas KSB y LOWARA. Las bombas de alta presión son proporcionadas por la empresa

SULZER. El recuperador de energía es el comercializado por la empresa española GESTAGUA, S.L.

Los aerogeneradores son los proporcionados por la empresa GAMESA.

En consecuencia, la viabilidad técnica de este proyecto queda avalada por la viabilidad de los equipos comerciales seleccionados. La planta es capaz de operar en continuo bajo las especificaciones indicadas.

2.3. VIABILIDAD ECONÓMICA

Esta viabilidad queda demostrada en el apartado correspondiente al presupuesto del presente proyecto. En dicho presupuesto se concluye que el coste de obtener 1 m³ de agua producto asciende a 0,649€ A esta cantidad hay que añadirle un 15 % de beneficio industrial, con lo que tenemos un precio final de venta del metro cúbico de 0,746 €/m³.

Este resulta ser un coste bajo, si se considera que se trata de agua para su consumo, sin necesidad de añadir ningún otro reactivo. Por otro lado, hay que considerar que en el lugar de ubicación de la planta constituye el único medio de obtener agua para consumo humano.

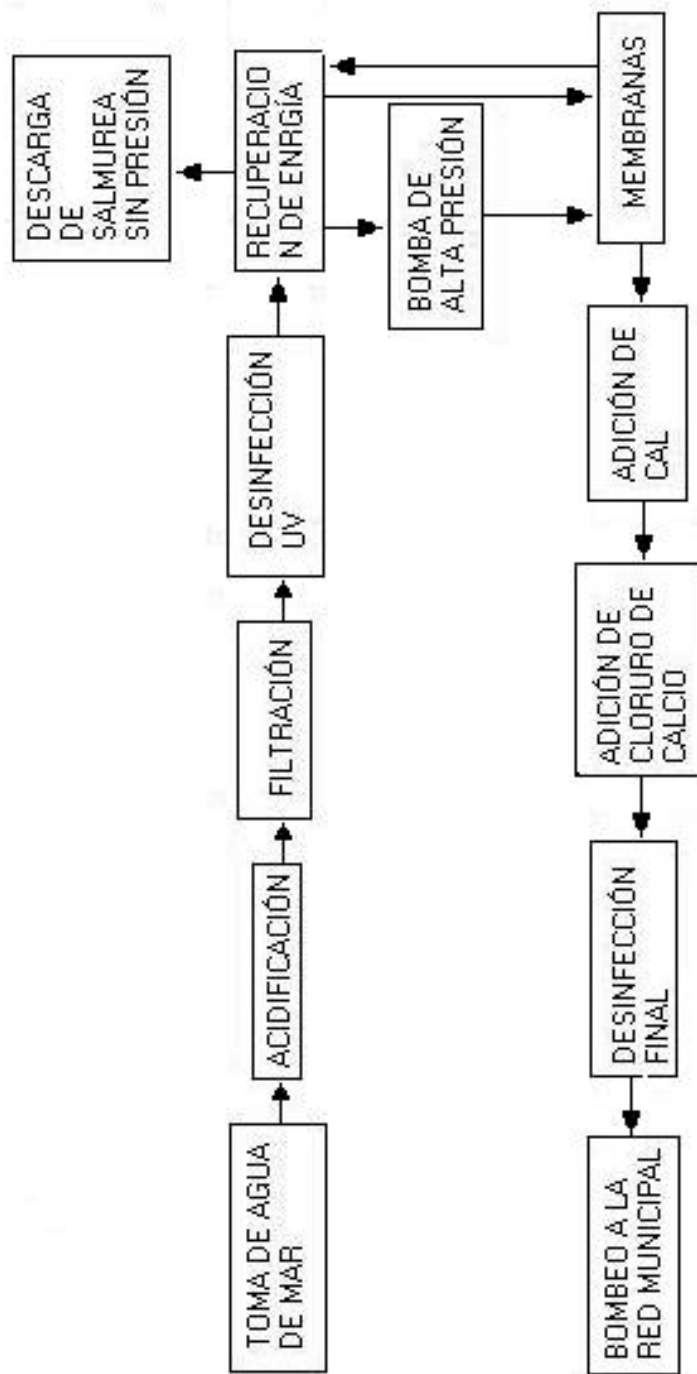


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

CAPÍTULO 3. PROCESO

3.0 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

El proceso comienza tomando agua de mar. En este caso la toma de agua de mar se realiza a través de pozos playeros. Con esto conseguimos una filtración previa del agua de mar y por tanto el agua llega a la planta con unas características que permitirían su ingreso directamente a las membranas sin ningún tratamiento adicional.

Estas características son : agua sin oxígeno disuelto, agua con poca o ninguna contaminación microbiológica y agua con bajo índice de ensuciamiento (SDI), temperatura y salinidad del agua bruta más homogéneas a lo largo del día y del año que en el caso de toma superficial. En el capítulo correspondiente a las materias primas (capítulo 5) se detallan las características de esta agua.

Aunque el agua podría entrar directamente en las membranas (por debajo de $SDI=3,5$ ya se tiene un intervalo aceptable entre limpiezas de membranas), es recomendable tener un agua lo más limpia posible, con el fin de prolongar el tiempo entre lavados de membranas así como la vida útil de las mismas. Por ello realizaremos una filtración a cinco micras, que es el valor que recomienda el fabricante de las membranas. Pero antes, hemos de someter al agua a otros pretratamientos.

Es necesario realizar una remineralización del permeado para hacerlo potable. Esta remineralización consiste en añadir cal, de forma que se aumente el contenido en calcio del agua y se recupere la alcalinidad. La alcalinidad se recupera a partir del CO_2 formado previamente al acidificar el agua de alimentación. La alcalinidad del agua bruta, se comporta como cualquier ión, no atraviesa las membranas. Sin embargo, si añadimos ácido a la alimentación, estaremos convirtiendo parte de esta alcalinidad en dióxido de carbono, el cual es totalmente permeable y se distribuye por igual en permeado y rechazo.

Por tanto, lo primero que hacemos es acidificar el agua bruta, para lo que se utiliza ácido sulfúrico dado su reducido coste. Se añade desde un tanque con capacidad de almacenamiento para una semana.

El siguiente paso consiste en una microfiltración. El agua que llega a la planta tiene un bajo SDI y una baja turbidez. De todas formas puede ocurrir algún problema

en las tomas de pozo, por lo que es conveniente incluir una filtración. También el siguiente paso (desinfección ultravioleta) necesita de un agua lo más clara posible. Lo normal es disponer de una primera filtración gruesa en filtros con lechos de arena-antracita seguida de una filtración en cartuchos de polipropileno a cinco micras. En nuestro caso, la filtración gruesa la realiza el propio acuífero, y los filtros de cartucho se sustituyen por filtros de malla metálica automáticos también a cinco micras. Así esperamos no tener que estar reponiendo constantemente los cartuchos.

Seguidamente se somete al agua a una desinfección, consistente en este caso en la aplicación de luz ultravioleta al agua filtrada. Elegimos este sistema en lugar del convencional de cloración–decloración, ya que aunque la cloración es más barata que la ultravioleta, al añadir el coste de declorar el agua (las membranas son muy sensibles a la acción oxidante del hipoclorito) el coste de la cloración-decloración se acerca al de la desinfección ultravioleta y a su vez presenta una serie de desventajas.

El agua que tratamos es apropiada para ser desinfectada con luz ultravioleta, dada su baja turbidez. Por tanto elegimos la luz ultravioleta, ya que es más fácil de controlar que la adición de dos reactivos, y por otro lado el agua de rechazo no va a contener ningún reactivo aparte del ácido sulfúrico añadido. Por otro lado, el agua de pozo es anóxica, por lo que puede contener ácido sulfhídrico o catión ferroso, que en contacto con oxidantes como el hipoclorito sódico pasan a azufre coloidal y catión férrico (insoluble) que podrían precipitar sobre las membranas.

Llegados a este punto, el agua ya está en condiciones de ser bombeada a alta presión y entrar en los módulos de membranas. Sin embargo, el agua que no atraviesa las membranas, el rechazo, aún conserva gran parte de la alta presión, por lo que es conveniente transmitir esta presión al parte del agua de alimentación. Esto se hace tradicionalmente mediante una turbina Pelton, que transforma la presión del rechazo en un chorro a alta velocidad que hace girar una turbina solidaria a la bomba de alta presión. Recientemente han aparecido en el mercado unos nuevos sistemas que permiten una mayor recuperación de la energía contenida en la salmuera. Entre estos equipos de última generación se encuentran las cámaras isobáricas, que consisten básicamente en un cilindro que lleva un pistón en su interior y que separa la salmuera de la alimentación y es el encargado de transmitir la presión de una a otra corriente. Si el rechazo es en este caso del 65%, este es también el porcentaje de agua de mar que debemos llevar al recuperador de energía. El restante 35% es bombeado por la bomba de alta presión.

Se ha elegido esta conversión por dos motivos:

- Al trabajar con una baja conversión evitamos la necesidad de tener que añadir antiescalante
- La conversión que hace óptimo el consumo de energía usando este tipo de recuperador es según el fabricante de 30-35%.

La misma será una bomba centrífuga multietapa horizontal, partida horizontalmente con variador de frecuencia como sistema de regulación.

El permeado sale de las membranas a presión atmosférica y es inmediatamente tratado con cal apagada, la cual se añade desde un silo a una cámara donde se mezcla con parte del permeado. Una vez que la mezcla está preparada se añade al permeado. Por último se dosifica hipoclorito sódico en una cantidad de 0,59 ppm NaClO (100%) (La ley marca un máximo de 0,4 ppm según el pH del producto) y se bombea a la red de distribución municipal.

La otra corriente, el rechazo sin presión es devuelto al mar por medio de toma abierta a una distancia suficiente para evitar que dañe a la vegetación submarina y que no llegue a las tomas de pozo.

Se dispone asimismo de un equipo automático para la limpieza de membranas. Se activa cuando la caída de presión en las membranas supera en un diez por ciento a la caída de presión de diseño ($2,5 \text{ bar} \cdot 1,1 = 2,75 \text{ bar}$).

3.1 TOMA DE AGUA BRUTA

Se elige toma mediante pozos playeros. Este tipo de toma es ideal en el caso de plantas pequeñas-medianas, como es el caso presente, aunque también se puede usar en plantas de mayor tamaño. Su utilización supone una reducción en el coste de la toma y especialmente en los costes de pretratamiento del agua.

Tienen las siguientes ventajas frente a una toma superficial :

- El paso de fluido a través del material del acuífero es una efectiva filtración natural, lo que reduce ampliamente el riesgo de bioensuciamiento del sistema.
- Son más baratos de construir, operar y mantener

- Se reduce el crecimiento microbiológico, ya que al no llegar la luz a esta profundidad las algas no pueden sobrevivir.
- La construcción y operación no alteran el fondo del mar.
- Las condiciones del agua bruta en cuanto a temperatura y composición son mucho más estables a lo largo de un día y a lo largo del año que en una toma superficial

Sin embargo, este tipo de toma sólo es favorable bajo ciertas condiciones del terreno. Por ello es necesario un estudio hidrogeológico de la zona. Debemos encontrar una zona con una conductividad hidráulica lo bastante alta como para que los pozos no deban ser muy grandes, pero lo bastante baja como para que filtre adecuadamente el agua. Es decir, necesitamos una conductividad hidráulica de aproximadamente $54 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. Los acuíferos de carácter terruginoso o granular son los que pueden cumplir esta condición.

Un pozo bien diseñado con esta conductividad puede proporcionar agua con un SDI igual a 0,25 y con turbidez igual a 0,30 NTU.

El pozo consiste en una perforación cerca de la línea de costa hasta la base del acuífero elegido, en la que se dispone la longitud de rejilla necesaria para el caudal deseado. Colocar la rejilla en la cota más baja posible hace aumentar la productividad para una misma longitud de la rejilla. Esta rejilla ha de rodearse con grava de modo que los materiales finos del acuífero no accedan a través de la misma. La hidráulica de los pozos playeros suele tomarse como acuífero no confinado, es decir, freático (el agua no tiende por sí sola a fluir hacia la superficie), en estado estacionario.

Son necesarios tres pozos con un diámetro cada uno de 20" (0,508 m), hasta una profundidad de 60 m. La longitud de rejilla necesaria es 19,285 m. Han de distar entre sí 1.200 m para no afectarse mutuamente. Se dispone de un cuarto pozo idéntico en espera para cuando haya averías en alguno o para una posible futura expansión de la planta.

Por encima de la rejilla se encuentran las bombas sumergibles. Se elige de la empresa LOWARA, modelo S10220/1 o similar, a las cuales se conecta variador de frecuencia. Disponen de válvula de pie con colador.

El conjunto bomba-tubería de impulsión se encuentra rodeado por un tubo de PVC de 20" cédula 80, cuya misión es proteger al pozo de los posibles movimientos de terreno. En la zona superior del pozo, además se dispone de un anillo de cemento alrededor de este tubo con el mismo fin. En el plano correspondiente se muestran los detalles.

A la salida de cada pozo se coloca un medidor de caudal magnético y un transmisor de presión con el fin de supervisar su funcionamiento. También se introducen medidores de nivel en los pozos de sondeo que previamente se habrán perforado durante el estudio hidrogeológico.

Se perforará mediante taladro, que es el método de perforación que menos daña el acuífero, y por lo tanto menos probabilidades de arrastrar materiales habrá.

3.2 ENTRADA A PLANTA Y AJUSTE DE pH

En esta zona se encuentra una primera zona de instrumentación y una dosificación de ácido sulfúrico.

Las tuberías en esta zona son tuberías de PVC cédula 80 con un diámetro nominal de 24 pulgadas. Las bridas son clase 150 roscadas al tubo. Los cálculos justificativos se encuentran en el anexo correspondiente. Al igual que las del pozo han de tener una pendiente ascendente en el sentido del flujo de 3 mm/m, para facilitar la evacuación del posible aire succionado por el sistema.

En una primera zona se ubican los instrumentos necesarios para evaluar la calidad del agua bruta.

En primer lugar encontramos un transmisor de presión. Se elige de la empresa OMEGA, modelo PX4200-150GI, con rango de medida 0-150 psi. Su misión es supervisar la presión de entrada a la planta especialmente en las paradas y arranques. Conectado a la línea mediante conexión 1/4" NPT (macho roscado).

A continuación se mide el caudal suministrado por el conjunto de los pozos. Así disponemos, además, de un medio para comprobar el funcionamiento de los pozos y los caudalímetros de cada uno. Se elige caudalímetro magnético, ya que no tiene partes móviles susceptibles de verse corroídas o incrustadas y no produce

pérdida de presión. Se elige de la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Flanged, tamaño 16 pulgadas, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150. Necesita al menos una longitud libre de perturbaciones equivalente a diez diámetros de tubería en su entrada y cinco en su salida para evitar inestabilidades en la medida. Este será el tipo de caudalímetro que se usará en toda la planta, salvo que se especifique lo contrario.

Encontramos a continuación un medidor de pH, de la empresa Hamilton, modelo Polyplast Pro, con rango de pH = 0- 14 insertado en la conducción tal como se indica en el plano adjunto. Se encuentra protegido por una armadura exterior que conecta a la tubería principal con una unión Triclamp 1 ½". La armadura se elige de forma que la profundidad de inmersión en la tubería principal sea la menor posible. Este pHmetro tiene la misión de medir el pH del agua bruta para así poder calcular la dosis de ácido sulfúrico que es necesario añadir al agua. No colocamos aún el conductímetro, lo colocaremos tras acidificar, ya que aunque pequeña, se produce una variación en la conductividad al añadir el ácido.

El siguiente instrumento que se encuentra es un medidor de turbidez de la empresa Rosemount, modelo Clarity II Turbidimeter. Rango 0-200 unidades de turbidez (NTU) y resolución 0,015 NTU. Se compone de una cámara en la que va insertado el sensor propiamente dicho y un analizador que se puede montar en la misma tubería o hasta una distancia de 15,2 m. Dispone de un drenaje en su parte inferior que aprovecharemos como tomamuestras. Se dispone por debajo del nivel de la tubería con el fin de evitar la admisión de burbujas de aire en la cámara, ya que alteran la medida de la turbidez. Aunque turbidez e índice de atascamiento no son equivalentes, puede encontrarse para nuestra planta en particular una relación empírica entre SDI y turbidez. Lo ideal sería medir el SDI directamente pero automatizar este proceso requiere un equipo complicado, capaz de filtrar el agua bruta, detectar el atascamiento del filtro y volver a colocar uno nuevo para la siguiente medición. Por tanto, mediremos continuamente la turbidez en línea y el SDI lo mediremos con equipo portátil o en laboratorio para comprobar la relación entre SDI y turbidez.

A continuación se añade el ácido sulfúrico. Se añade desde un tanque con capacidad para almacenamiento de una semana., es decir, tomando una dosis de diseño máxima de 62 ppm de ácido sulfúrico al 98%, su volumen útil ha de ser 3,37 m³. El material del tanque y de las tuberías que llevan el ácido a la línea principal es AISI 316L, los plásticos (PVC, PE, etc) podrían usarse pero todos están limitados

por temperatura a unos 40°C, lo cual no conviene en un recipiente que va a estar a la intemperie y por el cual no circula fluido. Se dispone de dos bombas dosificadoras, una de ellas en espera. Este tanque va dentro de un cubeto de retención construido con cemento resistente a la corrosión capaz de almacenar el volumen total del tanque si ocurriese algún accidente. El tanque dispone además de un filtro de cartucho en su salida hacia las dosificadoras para impedir la entrada accidental de material particulado al proceso. No es necesario un mezclador para el mismo, ya que se inyecta poco antes de la bomba del pretratamiento, que hace las veces de mezclador.

Tras la acidificación se bombea el agua para que sea capaz de atravesar los filtros y llegar con la suficiente presión a la succión de las bombas de alta presión. Se dispone de dos bombas, una de ellas en espera dentro de un bypass. Este bypass dispone de una válvula de drenaje que permite su vaciado cuando no circule fluido por el mismo.

Para aislar o conectar el bypass se utilizan tres válvulas de mariposa, de la empresa KSB modelo AQUISORIA 10, dos de ellas de diámetro nominal 16 pulgadas y una de ellas de diámetro nominal 24 pulgadas (ver plano), bridada clase 150 (ASME B16.5), con presión máxima 10 bar y actuación manual. Ha de cuidarse siempre que la apertura y cierre de estas válvulas se haga en un tiempo nunca inferior al tiempo crítico, con el objetivo de no producir golpes de ariete. Este tiempo crítico de cierre/apertura aparece en el anexo correspondiente.

A continuación se coloca un venteo, cuya misión es eliminar las posibles burbujas de aire que sean succionadas por el sistema y así proteger al sistema de filtrado que viene seguidamente. Por ello esta línea también ha de tener la misma pendiente que la zona de la toma de pozo y entrada a planta, con el fin de que se acumule el aire en las partes altas del sistema.

Se elige de la empresa ARMSTRONG modelo 1-AVC, presión máxima 10 bar, el flujo máximo de aire que puede eliminar es 7,3 m³/h, mucho mayor del que puede llegar a darse.

Aunque en los análisis del agua bruta no aparecen, el agua de pozo es anóxica y puede contener catión ferroso (Fe²⁺) y/o ácido sulfhídrico (H₂S). El catión ferroso, al entrar en contacto con el oxígeno se oxida a catión férrico, formándose hidróxido férrico (Fe(OH)₃), que es un compuesto muy insoluble que puede precipitar en las membranas. El ácido sulfhídrico puede pasar de igual modo a azufre coloidal que

también precipitaría sobre las membranas. Esto ha sido una razón para decidir no usar oxidantes como el hipoclorito sódico para la desinfección previa.

En esta zona se localizan los instrumentos necesarios para la medida de los parámetros de operación. Estos parámetros son:

- pH: es necesario medirlo para comprobar que la dosis añadida de ácido sulfúrico es adecuada
- Temperatura: el flujo a través de las membranas depende en gran medida de la temperatura del agua. Una vez conocido el valor se modifica la presión proporcionada por la bomba mediante su correspondiente variador de frecuencia.
- Conductividad: es una medida indirecta del contenido en sólidos disueltos totales. Éste tiene gran influencia sobre la presión que es necesario aplicar al agua para que permee.

Hay que tener precaución en la localización de estos instrumentos, ya que cualquier inestabilidad en el flujo se traduce en inestabilidades en las medidas. Para evitarlo se deja suficiente longitud (normalmente 5-10 diámetros equivalentes de tubería) de tubería recta antes y después del instrumento. Ninguno de los tres instrumentos ha de penetrar demasiado en la tubería, por lo que producen unas pérdidas de presión despreciables y no alteran el flujo. Así, podemos colocarlos próximos entre sí, aunque alejados de codos, tes, válvulas, etc.

El orden en que los coloquemos es indiferente. Se colocan a un metro entre sí tan solo, ya que no producen una gran alteración del flujo. Primero situamos el conductímetro, luego el phmetro y a continuación el termómetro.

El conductímetro debe medir unas conductividades en el rango de los $60.000 \mu S / cm$. Se elige conductímetro Hamilton Conducell 2UP con rango 1,0-200.000 $\mu S / cm$. Con compensación de temperatura.

El rango de pH que hay que medir se sitúa alrededor de $pH = 6,4$. Se elige el mismo modelo que para la entrada a la planta, de la empresa Hamilton, modelo Polyplast Pro, con rango de $pH = 0-14$. Se encuentra protegido por una armadura exterior que conecta a la tubería principal con una unión Triclamp 1 ½". La armadura

se elige de forma que la profundidad de inmersión en la tubería principal sea la menor posible.

Se elige termorresistencia de la empresa OMEGA INSTRUMENTS modelo TX92-1 con rango $-40/49^{\circ}\text{C}$ y precisión $0,089^{\circ}\text{C}$. Salida 4/20 mA. Conexión NPT $\frac{1}{4}''$ y una longitud de inmersión de 12". El sensor está construido en AISI 304, que resiste menos la corrosión, pero dado el bajo precio del sensor puede reponerse sin problemas.

3.3 FILTRACIÓN

El agua que llega a la planta tiene un contenido en sólidos en suspensión muy bajo. Su SDI vale 0,25, mientras que el SDI de una toma superficial suele valer al menos 3. Este proceso de filtración es muy importante para la preservación de las membranas de ósmosis inversa. Cuanto menor sea el contenido en sólidos en suspensión, mayor será el tiempo que se pueden operar las membranas sin necesidad de realizar ninguna limpieza de las mismas. Los sólidos en suspensión forman con el transcurso del tiempo una capa sobre las membranas que hace que disminuya el flujo a través de ellas.

En plantas desaladoras con tomas superficiales primero se realiza una filtración grosera a través de filtros de arena o arena/antracita y a continuación una filtración fina a través de cartuchos de polipropileno de cinco micras de paso. Este proceso suele favorecerse añadiendo al agua coagulantes que forman partículas de mayor tamaño y más fácilmente filtrables. En el caso presente, la filtración grosera la realiza el propio material del acuífero, al ir atravesando el agua las distintas capas del mismo. Para evitar que parte del material del acuífero se infiltre en nuestro sistema se diseña adecuadamente un filtro de grava alrededor de la rejilla del pozo con una distribución de tamaños adecuada a la distribución de tamaños del acuífero.

Así nuestra planta no necesita de la filtración grosera, sólo es necesario filtrar a cinco micras, que es el valor que recomienda el fabricante de las membranas. Tradicionalmente se utilizan filtros de cartuchos. Con el tiempo van colmatándose y al alcanzar cierto grado de colmatación detectado por un aumento de la caída de presión a través del filtro se procede al recambio de los mismos.

No se añadirán coagulantes, pues estos suelen ser cloruro férrico o de aluminio y si la dosis es mayor de la estrictamente necesaria, el hidróxido férrico o aluminico formado y que no se ha agregado a las partículas pasa sin problemas a través de los filtros y precipitaría en las membranas, formando una capa gelatinosa que es difícil de limpiar. Por otro lado el SDI del agua bruta es lo bastante bajo como para prescindir de los coagulantes, ya que como se ha expuesto, puede traer más perjuicios que beneficios.

Se ha optado por un sistema de filtración automático a través de mallas metálicas de cinco micras. De la empresa TEKLEEN FILTERS, INC, modelo ABW6-TXLP en AISI 316L, son necesarias 6 unidades en paralelo para tratar el

caudal de alimentación con una pérdida de presión menor de 1 psi, tras haber contactado con la empresa y haberles comunicado las características del agua bruta. La principal ventaja es que no se necesita recambiar periódicamente ninguna de sus partes, se limpian automáticamente cuando la caída de presión a través de ellos alcanza cierto valor, por defecto 7 psi (se puede modificar). En este momento se abre la válvula de limpieza (flushing) haciendo que el flujo se invierta a través de la malla y se retire así la suciedad de la malla. Este ciclo suele durar tan solo 10- 15 segundos, con lo que se desperdicia una pequeñísima fracción del agua de alimentación (es la propia agua de alimentación la que arrastra la suciedad acumulada). Dispone de dos transmisores de presión (uno a la entrada y otro a la salida), un controlador electrónico y una válvula de limpieza que es una válvula de solenoide de 3”.

El fango recogido se recoge a través de una tubería de 4” de diámetro nominal lo más corta y a menor altura posible hasta el depósito donde se almacena. Periódicamente se llevará a una empresa especializada en el tratamiento de estos residuos.

El conjunto de filtros va dentro de un bypass que permite prescindir de los mismos si ocurre algún problema. Previamente a los filtros se encuentra un venteo para protegerlos de sobrepresiones.

Se recomienda una válvula de aislamiento en la entrada para evitar sobrepresiones en el arranque. Sin embargo, al disponer de bombas con variadores de frecuencia programaremos los mismos para que el arranque sea suave.

Es necesaria una válvula de aislamiento en la salida para proporcionar la suficiente presión como para que el ciclo de limpieza pueda funcionar apropiadamente.

A la salida de los filtros se coloca un muestreo y un medidor de turbidez idénticos a los de la entrada a planta para comprobar la eficiencia de los mismos.

3.4 DESINFECCIÓN POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Es necesario desinfectar el agua bruta antes de su ingreso en las membranas de ósmosis inversa. Las membranas elegidas son de poliamida aromática, las cuales

son de textura rugosa y susceptibles de verse afectadas por crecimiento biológico, ya sean bacterias, algas, u hongos. En la zona de contacto entre la membrana y el agua se concentran las sales al estar permeando agua y no sales. Esto provoca que en esta zona haya una mayor concentración de nutrientes que los microorganismos adheridos a la membrana aprovechan. Al igual que el ensuciamiento por materia coloidal, produce un descenso en la cantidad de permeado y a veces en el porcentaje de rechazo de sales.

Por tanto, es necesario asegurar una correcta desinfección. Tradicionalmente esto se viene haciendo mediante la inyección al agua bruta de algún desinfectante químico, entre los cuales destaca el hipoclorito sódico por su facilidad de manejo y menor coste. Posteriormente se elimina este hipoclorito sódico (oxidante) antes de llegar a las membranas usando algún reductor como por ejemplo metabisulfito sódico. Esto debe ser así, pues las membranas son muy sensibles al ataque de los oxidantes. La concentración máxima continua que toleran las membranas es de 0.1 ppm de cloro libre residual.

Sin embargo, el agua que tratamos posee unas características que aconsejan estudiar otras opciones. En primer lugar su baja turbidez sugiere el empleo de radiación ultravioleta como desinfectante. Con tomas superficiales esto sería impensable, pero en una toma de pozo con un SDI y/o turbidez tan bajos puede ser adecuado. Algunos autores afirman que el tratamiento con hipoclorito sódico es más económico. Sin embargo, si tenemos en cuenta que a la cloración le ha de seguir una decloración, el coste total de la desinfección química es sólo algo menor (consultar anexo) que el de la desinfección con ultravioleta, y además es más complicado añadir dos reactivos en las cantidades exactas.

Por otro lado, al tratarse de una toma de pozo, el agua puede contener anhídrido sulfúrico y/o catión ferroso. Al entrar en contacto con oxidantes, como el hipoclorito sódico forman azufre coloidal y hidróxido férrico, ambos insolubles y que precipitarían en las membranas. Por ello no se recomienda el empleo de oxidantes.

Otra ventaja de usar radiación ultravioleta es que no se añade ningún producto químico al agua bruta, por lo que se minimiza el impacto ambiental. Además, el sistema requiere poca atención, apenas el recambio de las lámparas de vapor de mercurio. En el anexo correspondiente se comparan el coste de la esterilización ultravioleta y el coste de la desinfección con hipoclorito sódico.

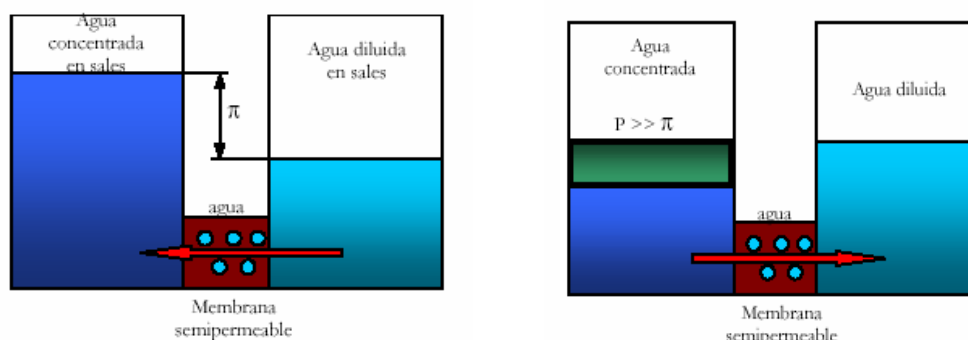
La longitud de onda de esta radiación es de 254 nm, es la que más poder germicida tiene. Hay que tener en cuenta en su diseño que los sólidos disueltos absorben parte de la radiación (consultar anexo) por lo que hay que redimensionar el conjunto de los esterilizadores.

Hay que tener en cuenta que el PVC se ve afectado por la luz ultravioleta. Por ello, las tuberías de entrada y salida de los esterilizadores han de estar construidas en algún material resistente a la luz ultravioleta y a las condiciones del proceso. Se opta por emplear AISI 316L, ya que lo hemos de usar en la zona de alta presión, así no se tendrá que hacer acopio de material distinto. Esta zona en AISI 316L debe prolongarse al menos desde la entrada/salida del esterilizador hasta que los ramales de cada esterilizador se encuentran, así existen dos codos antes de la zona en PVC y se impide que la luz ultravioleta llegue a incidir sobre el PVC.

Se elige esterilizador de la empresa EXCEL WATER TECHNOLOGIES, INC, modelo SUV 800P High Flow o similar. Se necesitan 6 unidades para tratar el caudal. El sistema asegura una eliminación del 99,9% de bacterias y virus cuando se trata agua clara.

3.5 ÓSMOSIS INVERSA

El proceso de ósmosis inversa consiste en aplicar a una solución concentrada una presión mayor a su presión osmótica de modo que el disolvente (agua) atraviesa una membrana semipermeable hacia una solución menos concentrada.



Ósmosis natural e inversa

Fuente : Universidad Zaragoza y CIRCE)

El primer intento de utilizar la ósmosis inversa para desalar agua fue llevado a cabo entre 1953 y 1959 por C.E. Reid J.E. Breton en la Universidad de Florida. Ambos descubrieron varias membranas sintéticas que presentaban un elevado porcentaje de rechazo de sales, pero debieron abandonar el proyecto debido a los bajos caudales de agua que producían.

El primer gran avance en este terreno tuvo lugar el año 1960, con la puesta a punto por parte de S. Loeb y S. Sourirajan de membranas semipermeables, de acetato de celulosa. A partir de 1962, en la Universidad de Los Ángeles, se construyeron y ensayaron las primeras plantas piloto. El 4 de junio de 1965 el agua suministrada por una de las plantas piloto se incorporó a la red de agua potable de la ciudad de Coalinga (California), siendo la primera planta del mundo que suministró agua potable mediante este proceso.

En 1963, H.I. Mahon propuso una membrana de fibra hueca de acetato de celulosa, y al año siguiente, R.Riley, gracias a las imágenes facilitadas por el microscopio electrónico, puso de manifiesto la existencia de una capa superficial extremadamente densa y fina en las membranas de acetato de celulosa fabricadas según la técnica de Loeb y Sourirajan. En el mismo año, P.S. Francis estableció el concepto de membrana compuesta de capa fina y U. Merten propuso las expresiones matemáticas que gobiernan los flujos de soluto y solvente en la ósmosis inversa.

La investigación en este campo sufrió un nuevo impulso en 1968, cuando J. Westmoreland y, posteriormente, D.T. Bray inventaron y patentaron la configuración espiral para los módulos. En 1971 H.H. Hoehn y J.E. Richter patentaron una membrana de fibra hueca fabricada con una poliamida aromática.

En 1981 se produjo otro considerable adelanto con la puesta a punto por parte de J.E. Cadotte, mediante la técnica de policondensación interfacial de las membranas compuestas de capa fina fabricadas con una poliamida totalmente aromática.

Las primeras plantas industriales que permitieron obtener agua potable a partir de agua de mar con este proceso, en un solo paso, se instalaron en la segunda mitad de la década de los años setenta.

Las membranas pueden clasificarse en función de distintos parámetros, como muestra la siguiente tabla.

Parámetros	Tipos
ESTRUCTURA	- Simétricas - Asimétricas
NATURALEZA	- Integrales - Compuestas de capa fina
FORMA	- Planas - Tubulares - De fibra hueca
COMPOSICIÓN QUÍMICA	- Orgánicas - Inorgánicas
CARGA SUPERFICIAL	- Neutras - Catiónicas - Aniónicas
MORFOLOGÍA DE LA SUPERFICIE	- Lisas - Rugosas

Según la estructura que presentan en un corte transversal a la superficie en contacto con la solución a tratar pueden ser :

- Simétricas: también llamadas homogéneas. Son aquellas cuya sección transversal ofrece una estructura porosa uniforme a lo largo de todo su espesor, no existiendo zonas de mayor densidad en una o ambas caras de la membrana. Presentan una elevada permeabilidad al solvente y un bajo rechazo de sales, por lo que se utilizan en otras técnicas pero no son aptas para la ósmosis inversa.
- Asimétricas: su sección transversal presenta al microscopio en su parte exterior, en la cara en contacto con la solución de aporte, una capa extremadamente densa y delgada bajo la cual aparece un lecho poroso. A la capa densa se le llama capa activa y es la barrera que permite el paso de solvente e impide el paso de soluto. El resto de la membrana sólo sirve de soporte a la capa activa, debiendo al mismo tiempo ofrecer la mínima resistencia posible al paso de solvente.

Según su naturaleza las membranas asimétricas de ósmosis inversa pueden ser:

- Integrales: en ellas existe continuidad entre la capa activa y el lecho poroso soporte, estando ambos fabricados con el mismo polímero. Las dos zonas tienen la misma composición química y entre ellas no hay una clara separación, sino un aumento progresivo de la porosidad. El principal inconveniente de este tipo de membranas es que toda mejora de las

características de la capa activa viene acompañada de un peor comportamiento del lecho poroso y viceversa, al tener misiones contrapuestas.

- Compuestas de capa fina: la capa activa y el lecho poroso son de materiales distintos. La membrana consta de tres capas, una capa activa, un lecho poroso soporte de la capa activa y un tejido reforzado responsable de la resistencia mecánica de la membrana. Presentan las siguientes ventajas :
 - o Cada capa puede desarrollarse y optimizarse independientemente, adecuando cada una a su misión específica
 - o Se puede variar el espesor de la capa activa adecuándolo a las necesidades específicas de cada aplicación
 - o Puede alterarse la porosidad de la capa activa y, por tanto, su porcentaje de rechazo de sales así como el flujo de permeado, en función de las necesidades.

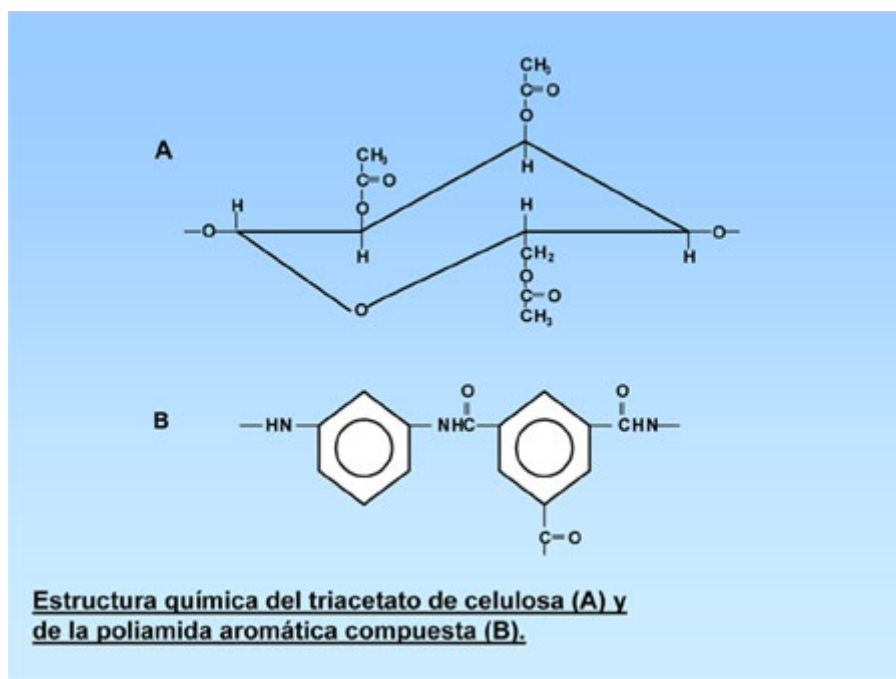
Según su forma se clasifican en :

- Planas: presentan una capa activa plana. Se fabrican en forma de lámina de papel continuo cortándose luego para adoptar distintas formas geométricas: rectangular, disco, circular, elíptica, oval, etc.
- Tubulares: se construyen en forma de tubo hueco. La capa activa suele encontrarse en la superficie interior del tubo. La solución a tratar circula por el interior, el permeado fluye radialmente del interior hacia el exterior y el rechazo se obtiene en el otro extremo del tubo. Las membranas fabricadas con esta forma son mayoritariamente integrales, aunque hay algunas compuestas de capa fina.
- De fibra hueca: también se las llama capilares, ya que su aspecto es el de una fibra de tejer hueca o el de un tubo capilar hueco del tamaño de un cabello humano. La solución a tratar circula por el exterior de la fibra. El permeado fluye radialmente desde el exterior al interior, recogándose en el extremo de la fibra. Por el momento son exclusivamente integrales. Presentan una gran superficie por unidad de volumen.

Según su composición química se clasifican en dos grandes grupos orgánicas e inorgánicas. Las orgánicas son aquellas cuya capa activa está fabricada a partir de un polímero o copolímero orgánicos. De entre las inorgánicas no hay aún ninguna que se pueda utilizar en ósmosis inversa, sólo están disponibles para microfiltración y ultrafiltración. Las principales orgánicas son :

- Acetato de celulosa (CA): es un polímero muy experimentado. Posee una alta permeabilidad, un elevado porcentaje de rechazo de sales, alta tolerancia al cloro libre y un bajo coste. Por otro lado tiene una alta sensibilidad a la hidrólisis y a la biodegradación, alto riesgo de disolución de la membrana, aumento del paso de sales con el tiempo, elevadas presiones de trabajo.
- Triacetato de celulosa (CTA): tiene un mejor comportamiento que el acetato de celulosa frente a la hidrólisis, lo que se traduce en la posibilidad de trabajar en una gama de pH algo más amplia. Presenta un caudal de permeado por unidad de superficie más bajo que las de acetato.
- Poliamidas aromáticas (AP): presentan un elevado porcentaje de rechazo de sales, ausencia de hidrólisis, no son biodegradables, constancia del paso de sales a lo largo del tiempo y presiones de trabajo reducidas. Existen dos polímeros básicos muy similares.
 - o Poliamida aromática lineal (LAP) : se utiliza para fabricar membranas integrales, tanto planas como de fibra hueca.
 - o Poliamida aromática con entrecruzamientos (CAP) : se utiliza para fabricar membranas compuestas de capa fina

La poliamida entrecruzada presenta una menor compactación y un ligero mejor comportamiento frente a los oxidantes que la poliamida lineal.



Fuente: EMALSA

- Poliéter-urea: son siempre compuestas de capa fina. Contiene un exceso de grupos amina, lo que les confiere una naturaleza fuertemente catiónica.

Según la carga superficial se clasifican en neutras, catiónicas y aniónicas. La naturaleza y magnitud de la carga eléctrica superficial tiene mucho que ver tanto con su ensuciamiento como con la aparición y crecimiento de desarrollos biológicos sobre la misma. Una membrana catiónica tendrá gran afinidad por los coloides aniónicos, etc. El mecanismo a través del cual se adhieren las bacterias a la superficie de las membranas está siendo objeto de estudio.

Según la morfología de la superficie se clasifican en lisas y rugosas. Esto tiene importancia tanto desde el punto de vista del ensuciamiento como del de la limpieza de las membranas. Una superficie rugosa, además de ensuciarse más fácilmente, es más difícil de limpiar.

A continuación se comparan las principales membranas orgánicas usadas en ósmosis inversa.

Parámetro	Celulósicas	Poliamida lineal	Poliamida entrecruzada	Poliéter-urea
Permeabilidad	Alta	Baja	Alta	Alta
% Rechazo Cloruros	99,0	99,4	99,4	99,2
% Rechazo Nitratos	85,0	88,0-94,0	98,0	94,0
% Rechazo sílice	90,0 – 93,0	88,0 – 94,0	98,0	95,0
Presion de trabajo(bar)	60-70	70-84	60-70	56-70
Hidrólisis	Sí	No	No	No
Biodegradabilidad	Sí	No	No	No
pH de trabajo	4,5 – 6,5	4-9	4-11	5-10
Resistencia al cloro libre	< 1 ppm	0 ppm	1000 ppm·h	0 ppm
Resistencia a otros oxidantes fuertes	Moderada	Mala	Regular	Muy mala
Carga de la superficie	Neutra	Aniónica	Aniónica	Catiónica
Morfología de la superficie	Lisa	Lisa	Muy irregular	Irregular
Riesgo de ensuciamiento	Bajo	Medio	Alto	Bajo
Compactación	Alta	Alta	Baja	Baja
Temperatura máxima (°C)	35	40	45	45

La que en conjunto ofrece mejores características para el presente fin es sin duda la realizada en poliamida aromática entrecruzada. Ofrece mayor rechazo y menores presiones de operación para un mismo caudal. Aunque el riesgo de ensuciamiento sea mayor que para las otras, hemos tomado agua de pozo, que ya de por sí es lo bastante limpia y la sometemos a una filtración a cinco micras y a una desinfección ultravioleta, por lo que no hay peligro de que sufra oxidación por parte del cloro.

Desde el punto de vista industrial una bomba envía la solución a tratar hacia una membrana semipermeable manteniendo permanentemente una elevada presión en uno de sus lados, con lo que una parte del solvente y una cantidad muy pequeña de soluto atraviesan la membrana. Tanto la solución que atraviesa la membrana como la que es rechazada por ella se evacuan en continuo de sus compartimentos. El rechazo presenta habitualmente una elevada concentración de sustancias disueltas, siendo baja la del producto o permeado. Una válvula de regulación situada en la tubería de rechazo controla el porcentaje de solución que es convertida en producto.

Al lado de la membrana que contiene la solución de agua a tratar se le llama “lado de alta”. Y a la cara de la membrana en contacto con el permeado se le llama “lado de baja”.

Se define porcentaje de recuperación o factor de conversión a la relación entre el caudal de permeado y el caudal de agua a tratar.

El porcentaje de rechazo de sales, es el cociente, expresado en tanto por ciento, entre la concentración de la solución de aporte menos la del permeado y la concentración de la solución de aporte.

Para utilizar industrialmente las membranas con el fin de que puedan soportar las diferentes presiones de trabajo, deben colocarse de una determinada manera. La capacidad de producción de una planta de estas características se consigue instalando en paralelo varias unidades elementales de producción o módulos. Por tanto, un módulo es una agrupación de membranas, con una configuración determinada, que forman la unidad elemental de producción.

Los objetivos que persiguen los distintos fabricantes de módulos de ósmosis inversa son múltiples:

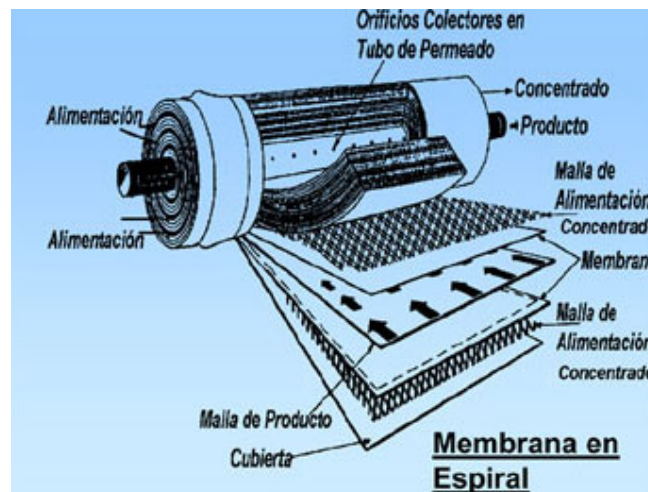
- Obtener el máximo rendimiento de las membranas
- Conseguir un sistema lo más compacto posible
- Minimizar los efectos de polarización de las membranas
- Facilitar la sustitución de las membranas deterioradas
- Mejorar la limpieza de las membranas sucias, etc.

Las configuraciones actualmente disponibles para los módulos son:

- Módulos de placas: son los más antiguos. Está formado por un conjunto de membranas planas, recortadas generalmente en forma rectangular o de disco circular. Se apoyan sobre mallas de drenaje o placas porosas que les sirven de soporte. Las membranas se mantienen separadas entre sí por medio de espaciadores. El módulo se obtiene apilando “paquetes”, formados por espaciador-placa porosa-membrana. El conjunto así formado se comprime mediante un sistema de espárragos de manera que pueda soportar la presión de trabajo.
- Módulos tubulares: se fabrican a partir de membranas tubulares y tubos perforados o porosos que les sirven de soporte. Como esta configuración suele utilizarse para el tratamiento de líquidos cargados, se colocan, a veces, en el interior de los tubos, dispositivos especiales destinados a producir altas turbulencias que aseguren elevadas velocidades de circulación sobre la superficie de las membranas e impidan la deposición sobre ellas de las distintas sustancias en suspensión existentes en el líquido a tratar.
- Módulos espirales: está formada por membranas planas enrolladas en espiral alrededor de un tubo central. Cada “paquete” consta de una lámina rectangular de membrana semipermeable doblada por la mitad de forma que la capa activa quede en su exterior. Entre las dos mitades se coloca un tejido provisto de diminutos canales para recoger el permeado que atraviesa la membrana y conducirlo hacia el tubo central de recogida. Encima de la capa activa de la membrana se coloca una malla provista de canales de distribución para repartir homogéneamente la solución de aporte sobre toda la superficie de la membrana. Para conseguir la estanqueidad entre la solución de aporte y el permeado se colocan, en los laterales de la lámina de ósmosis inversa, cordones de cola entre el tejido colector del permeado y las membranas. Los laterales del tejido colector del permeado se encolan igualmente al tubo central que es de material plástico y va provisto de orificios. El paquete así formado se enrolla

alrededor del tubo central, dando lugar a un cilindro al que se le colocan en sus extremos dos dispositivos plásticos para evitar su deformación, tras lo cual se recubre el conjunto con una capa de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio para darle la rigidez y resistencia mecánica necesarias. Los módulos suelen fabricarse enrollando varios “paquetes” como los descritos pero de longitud reducida.

La solución de aporte circula en dirección axial, paralela al tubo central, conducida por la malla distribuidora existente entre las capas activas de dos membranas consecutivas. El permeado que atraviesa la membrana es recogido por el tejido colector, que lo lleva espiralmente al tubo central del que sale al exterior por uno de sus extremos. El rechazo o solución de aporte que no atraviesa la membrana continúa su avance en dirección axial, abandonando la malla distribuidora por el otro extremo.



Estructura interna de membrana de ósmosis inversa de arrollamiento en espiral

Fuente : EMALSA



Módulo de ósmosis inversa.

Fuente: Dow Chemical Company

Los módulos espirales se interconectan en serie dentro de un tubo, llamado tubo de presión, destinado a soportar la presión de trabajo. En el interior de cada tubo pueden instalarse hasta 8 módulos.

La solución de aporte, a medida que va atravesando los distintos módulos instalados en serie, se va concentrando, siendo evacuada del tubo de presión por el extremo opuesto a su entrada. El permeado puede ser recogido en el mismo extremo que el rechazo o en el opuesto, según convenga.

- Módulos de fibra hueca: se fabrican con varios centenares de miles de membranas de fibra hueca dobladas en forma de “U” y colocadas paralelamente a un tubo central. Las membranas se fijan en ambos extremos mediante resina epoxi para dar estabilidad al haz así formado.

La solución de aporte se introduce en el tubo central, quien la reparte radial y uniformemente a través de todo el haz de fibras. Cuando la solución a tratar entra en contacto con la superficie exterior de la fibra donde se encuentra la capa activa, una parte de la misma (el permeado) atraviesa la fibra moviéndose por su interior hueco hasta el extremo abierto.

El haz de fibras se instala en el interior de un tubo fabricado con epoxi y fibra de vidrio cuya misión es soportar, desde el punto de vista mecánico, las presiones de trabajo.

En la siguiente tabla, se comparan las cuatro configuraciones posibles:

CARACTERÍSTICA	DE PLACAS	TUBULAR	ESPIRAL	FIBRA HUECA
Superficie de membrana por módulo (m ²)	15-50	1,5-7	30-34	370-575
Volumen de cada módulo (m ³)	0,30-0,40	0,03-0,1	0,03	0,04-0,08
Caudal por módulo (m ³ /d)	9-50	0,9-7	30-38	40-70
Grado de compactación (m ² de membrana por m ³)	50-125	50-70	1.000-1.100	5.000-14.000
Productividad por unidad de superficie (m ³ /d por m ²)	0,6-1	0,6-1	1-1,1	0,1-0,15
Productividad por unidad de volumen (m ³ /d por m ³)	30-125	30-70	1.000-1.250	900-1.500
Conversión de trabajo por módulo (%)	10	10	10-50	30-50
Pérdida de carga por tubo de presión (bar)	2-4	2-3	1-2	1-2

Intercambiabilidad por otra marca	Nula	Nula	Total	Nula	
Tolerancia frente a las sustancias coloidales	Mala	Buena	Mala	Mala	
Tolerancia frente a las sustancias en suspensión	Mala	Buena	Mala	Muy mala	
Comportamiento frente a la limpieza	Mecánica	Regular	Bueno	No aplicable	No aplicable
	Químicas	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
	Agua a presión	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno
Pretratamiento necesario	Coagulación + filtración a 5 micras	Filtración	Coagulación + filtración a 5 micras	Coagulación + filtración a 1 micra	
Aplicaciones	Alimentación	Alimentación	Desalación de aguas salobres y de mar	Desalación de aguas salobres y de mar	
	Líquidos poco cargados	Aguas residuales y líquidos cargados	Obtención de aguas de alta pureza	Obtención de aguas de alta pureza	
	Concentración y recuperación de sustancias	Concentración y recuperación de sustancias	Aguas residuales y líquidos poco cargados. Concentración y recuperación de sustancias	Concentración y recuperación de sustancias.	

Como se puede apreciar, los que dan mayor caudal de permeado son los espirales y los de fibra hueca. Sin embargo, el hecho de no poder intercambiar entre distintos fabricantes, hace preferible la elección de módulos en espiral, fácilmente intercambiables.

Luego se eligen módulos en espiral de poliamida aromática. Se eligen de la empresa DOW CHEMICAL COMPANY, modelo SWHRLE-400i. Anteriormente se selecciona el modelo SWXLE-400i que necesita una presión menor para un mismo caudal de permeado. Sin embargo, el porcentaje de rechazo de sales es algo inferior por lo que no es posible alcanzar con este modelo en el permeado en un solo paso una concentración en boro inferior al máximo legal permitido.

El modelo utilizado habitualmente para explicar el transporte de solvente y del soluto a través de una membrana de ósmosis inversa es el de la “solución-difusión”. Según este modelo, cada componente de la solución a tratar se disuelve en la membrana según las leyes de distribución y equilibrio conocidas, difundándose a continuación a su través debido a las diferencias de concentración y de presión existentes a ambos lados de la membrana. La difusión del agua y de las moléculas

polares a través de la membrana sería el resultado de un mecanismo de formación y de destrucción de “puentes de hidrógeno” entre el agua o las moléculas polares por una parte y los grupos hidrófilos de la membrana por otra favorecido por la diferencia de presión.

Experimentalmente se comprueba que el flujo de solvente (caudal por unidad de superficie) es proporcional al gradiente de la presión efectiva a través de la membrana, es decir, a la diferencia entre la variación de la presión externa aplicada y la variación de la presión osmótica.

$$J = A(\Delta P - \Delta \pi)$$

Donde,

J es el flujo de solvente en $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

A es el coeficiente de permeabilidad al solvente en $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{bar}$

$\Delta P = (P_a - P_p)$ es la diferencia de presión hidráulica entre ambos lados de la membrana en bares.

$\Delta \pi = (\pi_a - \pi_p)$ es la diferencia de presiones osmóticas entre ambos lados de la membrana en bares.

$(\Delta P - \Delta \pi)$ es el gradiente de presión efectiva a través de la membrana en bares.

Todo aumento de la presión de trabajo implica un aumento prácticamente lineal del flujo de solvente así como un aumento del rechazo de soluto que tiende a un límite cuando el flujo de solvente es elevado. A medida que la concentración de la solución de aporte aumenta, el flujo de solvente disminuye ya que aumenta la presión osmótica de la solución. El rechazo de soluto disminuye igualmente debido al descenso del flujo de solvente.

Todo aumento de la temperatura de la solución de aporte aumenta el flujo del solvente debido en primer lugar al descenso de su viscosidad y en segundo lugar al aumento de su velocidad de difusión a través de la membrana. El aumento de la temperatura de la solución de aporte, origina, sin embargo, un descenso en el rechazo de soluto debido, por una parte, al aumento de la solubilidad del soluto en la membrana y por otra, al hinchamiento de la estructura de ésta.

El aumento del porcentaje de recuperación incrementa la concentración en el rechazo, elevando la presión osmótica de la solución en contacto con la membrana.

En tales circunstancias se reducen tanto el flujo de solvente como el rechazo de soluto.

En las membranas de poliamida aromática, el flujo de solvente varía muy poco con el pH de la solución de aporte. El rechazo de soluto es máximo por el contrario a un pH próximo a 8,5.

El coeficiente de permeabilidad de la membrana al solvente depende de la presión de operación, de la temperatura, del estado de compactación de la membrana, de su factor de polarización y del grado de ensuciamiento.

A medida que el permeado atraviesa la membrana, las sales disueltas que contenía se quedan en las proximidades de su superficie. El soluto, que no puede atravesar la membrana, debe ser arrastrado por la corriente de rechazo. Ahora bien, igual que ocurre en las paredes de un canal, la velocidad de flujo en las proximidades de la superficie de la membrana es prácticamente nula, por lo que las sales sólo pueden pasar de esta región a la corriente rápida del rechazo por difusión, dando lugar a una zona en la que la concentración de sales es mayor que la del resto de la solución. A esta situación se la conoce como “polarización de la membrana”. Se define el factor de polarización como :

$$\beta = \frac{C_m}{C_{ma}}$$

Donde,

C_m es la concentración máxima de soluto en la superficie de la membrana

C_{ma} es la concentración media de la solución de aporte.

La polarización de las membranas produce los tres efectos siguientes :

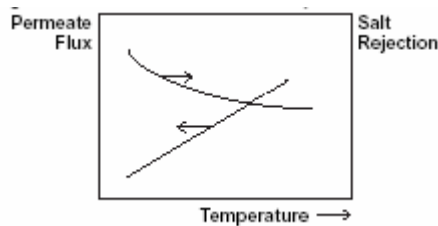
- Reduce, a presión constante, el flujo de solvente y por tanto, el caudal de permeado ya que, al aumentar la concentración en la superficie aumenta la presión osmótica, disminuyendo la presión efectiva a través de la membrana.
- Aumenta el flujo de soluto a través de la membrana y la concentración del permeado al aumentar el gradiente de concentraciones.
- Aumenta el riesgo de precipitación de las sales poco solubles así como de los coloides y materias en suspensión sobre la superficie de la membrana.

Conviene, por tanto, limitar la concentración en la capa límite de forma que el factor de polarización no supere el valor de 1,15. Esto se consigue limitando la recuperación del sistema y haciendo que el flujo sea turbulento en la zona.

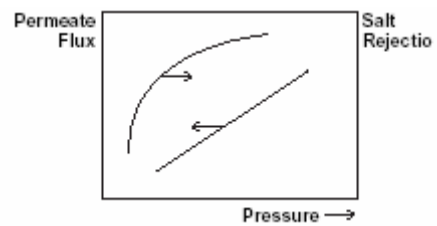
La conversión del sistema va a ser del 35%, por lo que el factor beta pierde importancia. En el apartado correspondiente se justifica la elección de este porcentaje de recuperación. Trabajar a una conversión moderada como en el caso presente permite prescindir de los antiescalantes necesarios cuando la conversión es mayor, a la vez que reduce el riesgo de ensuciamiento de las membranas.

Se define el flux como el caudal de permeado que atraviesa la membrana por unidad de superficie de la misma. El número de membranas ha de ser lo bastante alto como para que la presión de operación sea baja (flux bajo) y lo bastante bajo como para que el coste de amortización de las mismas no se dispare. Además, un número de membranas demasiado elevado conlleva a un permeado de peor calidad, al ser el flujo de solvente menor y mantenerse constante el de sales. Nos ayudamos del programa informático ROSA (Reverses Osmosis System Análisis) que suministra el fabricante de las membranas.

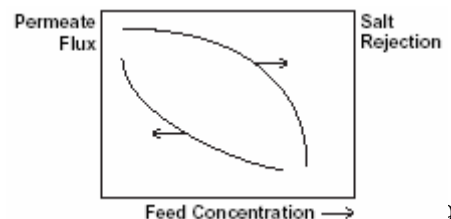
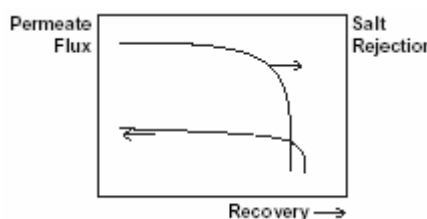
En los siguientes gráficos se muestra cualitativamente el comportamiento del flux de permeado y el rechazo de sales en función parámetros tales como presión, temperatura, porcentaje de recuperación y concentración de la alimentación.



Variación del caudal de permeado y % de rechazo de sales con la temperatura
Fuente: Dow Chemical Company



Variación del caudal de permeado y % de rechazo de sales con la presión
Fuente: Dow Chemical Company



)

Variación del caudal de permeado y
% de rechazo de sales con la recuperación
Fuente: Dow Chemical Company

Variación del caudal de permeado y
% de rechazo de sales con la
concentración en la alimentación
Fuente: Dow Chemical Company

Dado el gran caudal que necesitamos, conviene agrupar los módulos en tubos de presión de 7 elementos de 8 pulgadas de diámetro, para limitar el número de ramales y conexiones. El conjunto de tubos de presión se divide en dos bastidores o dos líneas independientes, cada una con su correspondiente bomba de alta presión y recuperador de energía y una tercera en espera común a las dos líneas.

En función del tipo de toma de agua bruta y del pretratamiento aplicado se recomienda un rango de flux u otro. Para una toma de pozo se recomienda un flux entre 14 – 18 l/m²·h. Se introducen estos datos en el programa: flux, conversión, caudal de permeado, tipo de membrana, composición del agua acidificada y temperatura (peor caso, menor temperatura del agua, 20°C) y se considera el sistema tras tres años de operación. Primero se introduce el flux máximo, es decir, el menor número de membranas posible. Para 18,02 l/m²·h (308 elementos en 44 tubos de presión) se obtiene una presión de 59,6 bares. Para un flux de 14,05 l/m²·h (399 elementos en 57 tubos de presión) se obtiene una presión de 53,96 bares. Sin embargo, la concentración de boro en el permeado se acerca demasiado al límite legal de 1 ppm (0,88 ppm). Luego debemos ir aumentando el flux hasta tener cierto margen de seguridad entre la concentración de boro en el permeado y la máxima legal permitida. Se toma 0,8 ppm de boro en el permeado como un valor seguro. Esto nos lleva a un flux de 16,02 l/m²·h, es decir, 350 membranas agrupadas en 50 tubos de presión. La presión de operación necesaria es de 56,59 bar. Para cuando haya que recuperar el tiempo perdido ha de ser capaz de tratar un 10% más de caudal, esto lleva a una presión de 58,79 bar y a una concentración menor aun en el permeado. La composición del permeado obtenido se detalla en el anexo correspondiente. El permeado abandona los módulos a presión atmosférica. Las membranas se irán ensuciando progresivamente por lo que habrá que aumentar proporcionalmente la presión para obtener la misma producción. Las membranas se lavarán cuando la presión tenga que aumentarse un 10%. Esto supone una presión máxima de 64,669 bar.

Se eligen tubos de presión de la empresa BEKAERT PROGRESSIVE COMPOSITES, CORP modelo PRO 8-1000-EP, para 7 elementos de 8 pulgadas, soporta una presión máxima continua de 1.000 psi (68,97 bar) y con las salidas de

permeado y rechazo en el mismo extremo. Fabricados en resina epoxi reforzada con fibra de vidrio. Se conectan al tubo de alimentación y de rechazo mediante unión Victaulic (Style 77) 1 1/2" y mediante rosca 1-1/4" NPT al lado del permeado (se encuentran a presión atmosférica y son de pequeño diámetro, es posible usar rosca).

El sistema de distribución a los distintos tubos de presión ha de estar construido en AISI 316L. Las conexiones de todas las tuberías y accesorios de esta zona serán también Victaulic, en este caso Style 77, que permiten un montaje y desmontaje sencillo, muy comúnmente utilizadas en estas instalaciones y que soportan una presión de hasta 1.000 psi. Para controlar el flujo que llega a cada línea se disponen dos válvulas de control de bola y dos caudalímetros magnéticos de 10" ambos. Para regular la bomba utilizaremos un variador de frecuencia cuya acción vendrá determinada por la conductividad y temperatura del agua bruta.

Las 3 bombas de alta presión necesarias (1 en espera común a las dos líneas) serán de la empresa SULZER, centrífugas, horizontales partidas horizontalmente en AISI 316L y materiales compatibles con el agua de mar. A la entrada se coloca un presostato de baja presión, con la finalidad de que la bomba nunca opere con presión excesivamente baja en la aspiración y no se den problemas de cavitación. Este presostato, al activarse abre una válvula que descarga el agua en la entrada de la planta, para no desaprovechar agua ya bombeada por los pozos.

Se dispone de transmisores de presión a cada lado de la bomba. A la salida de las bombas de alta presión es necesario colocar una válvula de retención. Se elige de la empresa DEWRANCE modelo F67 DN 6", clase 1000.

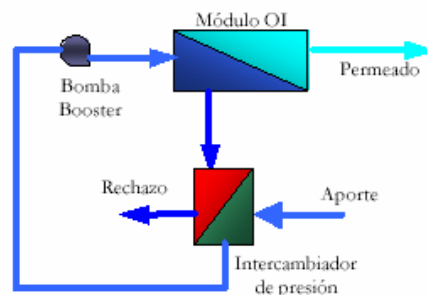
Para poder detectar el ensuciamiento de las membranas, se colocan sendos transmisores de presión en la entrada de agua a tratar en cada tubo y la salida del rechazo. Se eligen de la empresa OMEGA INSTRUMENTS, modelo PX4200-1KGI, con rango de medida 0-1.000 psi, y exactitud de 2,5 psi (+/- 0,172 bar), , con las partes en contacto con el fluido hechas en titanio. Salida 4/20 mA.

3.6 RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

El rechazo al salir de las membranas conserva gran parte de la presión del agua de alimentación, por ello es conveniente recuperar esta presión.

Tradicionalmente esto se ha venido haciendo por medio de turbinas Pelton, que básicamente consisten en una boquilla que transforma el fluido a presión en un chorro a alta velocidad que incide sobre los álabes de una turbina que transforma esta presión en un movimiento giratorio que puede acoplarse al motor de la bomba de alta presión. El rendimiento típico de este tipo de recuperador es del 30% aproximadamente.

Hace algunos años que han aparecido nuevos sistemas que sobrepasan el 90% de eficacia en la recuperación de energía, con el consiguiente ahorro energético para la planta (uno de sus puntos más problemáticos). Entre estos sistemas se encuentran las cámaras isobáricas, que de forma resumida se puede decir que consisten en dos cilindros con pistones y un juego de válvulas. En un lado de uno de los cilindros entra el agua de alimentación sin presión. Cuando se ha llenado se abre una válvula y comienza a entrar por el lado opuesto el rechazo con alta presión, comunicándole la misma al agua de alimentación. Cuando ha llegado al final de la carrera vuelve a repetirse el ciclo. En el otro cilindro se da el mismo ciclo pero invertido de forma que se tenga un caudal lo menos pulsado posible.



Esquema de un proceso de OI con intercambiador de presión

Fuente : Universidad de Zaragoza y CIRCE

Se ha elegido el único sistema español que existe de este tipo, de la empresa GESTAGUA, modelo RO KINETIC K-1000 con capacidad para tratar el caudal necesario. Uno por cada bastidor. Tiene un 98 % de eficiencia, absoluto silencio, sin golpes de ariete y sin mezcla (hay otros sistemas que tienen el pistón agujereado por lo que rechazo y alimentación se mezclan entre un 5-10%). En los lados de alta presión se conecta con uniones Victaulic.

Según la empresa, teniendo en cuenta el consumo energético del pretratamiento, el mínimo de consumo específico de energía en una planta de ósmosis inversa que emplee este recuperador se da con un porcentaje de recuperación entre 35-38%. Se toma un porcentaje de recuperación del 35%.

El agua a alta presión que sale del recuperador aún no tiene la suficiente presión. Hay que recordar que las membranas producen una pérdida de presión y que la eficiencia del recuperador no es del 100%, por ello es necesario colocar una bomba booster tras el recuperador con el fin de igualar la presión de esta agua con la que sale de la bomba de alta presión. El rechazo pierde 2,53 bar y el sistema de ahorro le hace perder 1,5 bar. Por tanto, la presión que ha de dar la bomba booster es de 4 bares y un caudal igual al caudal de rechazo. Esta bomba también dispondrá de variador de frecuencia como método de regulación.

Para equilibrar los flujos es necesario colocar caudalímetros, tanto en la entrada de agua de alimentación a baja presión como en la salida de rechazo a alta presión. El sistema de control debe igualar ambos caudales.

La entrada de agua de mar a baja presión dispone de un caudalímetro y válvula de control que ya se describió anteriormente. La salida a alta presión del rechazo lleva un caudalímetro magnético para alta presión de la empresa. La regulación la realiza el variador de frecuencia de la bomba booster.

3.7 AJUSTE DE pH FINAL Y CONTENIDO EN CALCIO

El agua que sale de las membranas tiene una salinidad muy por debajo de la máxima permisible para un agua potable (138 ppm). Sin embargo, algunos parámetros de esta agua deben ser corregidos. Estos son: pH, contenido en calcio y bicarbonatos.

Según el RD 1138/1990 de 14 de Septiembre, los niveles exigidos para el calcio y el bicarbonato son:

- Dureza total ≥ 60 ppm Ca^{2+} o iones equivalentes (Mg^{2+})
- Alcalinidad ≥ 30 ppm HCO_3^-
- pH : 7,5 – 9,5

Al añadir cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) conseguimos aumentar tanto el pH como el contenido en calcio. Al mismo tiempo, la cal transforma el CO_2 que atraviesa las membranas en alcalinidad.

Sin embargo, no es posible añadir tanta cal como la necesaria para alcanzar 60 ppm de calcio, ya que el pH se encontraría fuera del rango admisible para

consumo humano. Por ello, una vez añadida toda la cal posible (hasta un pH = 8,5 para tener cierto margen de seguridad) se añade cloruro de calcio hasta completar las 60 ppm.

La cal se almacena en un silo que descarga por medio de un tornillo sin fin en una cámara de mezcla que toma parte del permeado y lo mezcla con esta por medio de un agitador para facilitar el mezclado con la corriente principal. Se hace así porque la cal es poco soluble. Se prepara una suspensión al 5% y es esta la que se bombea a la línea principal de proceso.

El cloruro de calcio es mucho más soluble y no necesita de una cámara fuera de la línea principal.

Ambos reactivos se almacenan en silos con capacidad para una semana de postratamiento.

3.8 DESINFECCIÓN FINAL

Según la Resolución del 23 de Abril de 1984 del Ministerio de Sanidad y Consumo, los niveles de cloro residual libre y combinado para aguas de consumo público máximos en los puntos de consumo dependen del pH del agua:

pH	Cloro residual libre(ppm) (máx)	Cloro residual combinado(ppm) (máx)
6,5-7,4	0,2	1,0
7,0-8,0	0,2	1,5
8,0-9,0	0,4	1,8
9,0-9,5	0,8	-

Se necesitan 0,59 ppm de hipoclorito sódico al 100% para llegar a tener 0,4 ppm de cloro residual en el producto. (El máximo permitido según la legislación en el punto de consumo). Se hará añadiendo hipoclorito sódico desde un tanque con capacidad para almacenarlo durante una semana.

3.9 VERTIDO DE SALMUERA

La salmuera sale del recuperador de energía a presión atmosférica. Es necesario bombearla para devolverla al mar. Se bombea a través de un emisario cuya longitud exacta dependerá del estudio de las corrientes marinas en la zona escogida para la construcción de la planta.

3.10 EQUIPO DE LIMPIEZA DE MEMBRANAS (CIP)

Todas las membranas se ensucian. Los síntomas son un descenso del caudal producido y/o un aumento del paso de sales y/o de la presión diferencial. Además el ensuciamiento puede dañar de forma irreversible las membranas.

En nuestro caso se ha tomado un aumento del 10% en la presión necesaria a aplicar como límite para comenzar el ciclo de limpieza de las membranas.

Los agentes causantes del ensuciamiento se dividen en cinco categorías:

- Metales: suelen ser hierro, manganeso y aluminio. A veces también se encuentran zinc, cobre y níquel. El hierro y el manganeso suelen encontrarse en aguas subterráneas como iones divalentes solubles. Si se exponen estos iones al aire o al cloro precipitan sobre la membrana en forma de hidróxidos (insolubles). El ensuciamiento por hierro también puede ser debido a la corrosión en las tuberías o equipos. Otra fuente pueden ser los coagulantes que se usan antes de los filtros, que suelen ser sales de hierro (FeCl_3 es el más común). El ensuciamiento por hidróxido de aluminio también es frecuente y suele ocurrir por un exceso en la utilización de coagulantes basados en aluminio.

En el presente caso, no se dispone de un resultado en los análisis en cuanto a estos tres metales. Sin embargo, se evita el uso de cloro y se minimiza el contacto con el aire, por lo que el posible contenido en estos metales permanece en su forma soluble. Los materiales han sido escogidos para soportar los fluidos, por lo que no se espera que pueda darse corrosión. Y por último no se utilizan coagulantes para ayudar en la filtración, dado el bajo índice de atascamiento del agua bruta.

- Sales: la sobresaturación de algunas sales poco solubles puede incrustar la superficie de las membranas. Las más frecuentes son carbonato cálcico, sulfatos de calcio, estroncio y bario. Menos comunes son la sílice y el fluoruro de calcio. La sílice es difícil de eliminar una vez depositada.
En el presente caso se han calculado los porcentajes de saturación en el concentrado y no se alcanza el 80% del producto de solubilidad para ninguna de las sales susceptibles de precipitar.

- Coloides y sólidos en suspensión: son los agentes de ensuciamiento más comunes y pueden ser arcillas, sílice coloidal y/o bacterias. Los coloides son partículas cuyo diámetro es inferior a una micra y no se decantan de forma natural, permaneciendo en suspensión. Las partículas sólidas en suspensión suelen tener un tamaño superior a una micra y suelen decantarse de forma natural con el tiempo.
Este tipo de suciedad es el que se espera que se presente, dado de que el agua se extrae de un acuífero cuya granulometría corresponde a arenas y/o arcillas. De todas formas, el filtro de grava alrededor de la rejilla de los pozos se ha diseñado para minimizar el ingreso de materiales del acuífero en el sistema.

- Compuestos orgánicos: los ácidos húmicos y fúlvicos resultan de la degradación de hojas y otras plantas que ocurre en aguas superficiales. Pueden causar graves problemas de ensuciamiento dependiendo de la naturaleza del agua y suelen ensuciar más a la poliamida que al acetato de celulosa. Los ácidos de elevado peso molecular son más problemáticos. Los iones calcio y magnesio pueden contribuir a este tipo de ensuciamiento al servir de nexo entre las membranas aniónicas y estos ácidos.

En el presente caso se trata de un agua subterránea, no se esperan compuestos de este tipo.

Dentro de este apartado también se incluye el ensuciamiento biológico. Cuando la solución de aporte contiene suficientes elementos nutritivos se favorece el rápido desarrollo de microorganismos en el interior de los módulos. Dichos desarrollos pueden afectar al rendimiento de la instalación de tres formas distintas:

- o Destruyendo la capa activa de las membranas, ya que pueden digerir enzimáticamente el acetato de celulosa.

- Ensuciando las membranas : produce los mismos efectos que el ensuciamiento por coloides.
 - Apareciendo bacterias en el permeado : las membranas, por sí mismas, no permiten el paso de ninguna bacteria, virus, etc., desde la solución de aporte al permeado, el permeado está separado del rechazo mediante juntas tóricas. Algún pequeño fallo en estas juntas permitiría el paso de algunas bacterias al permeado, contaminándolo.
- Agentes químicos: suelen proceder de reacciones químicas entre dos o más compuestos químicos incompatibles. El ejemplo más común es la reacción entre un antiincrustante polimérico (suelen ser poliacrilatos) y un coagulante orgánico.

En el presente caso no hay peligro de que ocurra esto, pues no es necesario añadir antiincrustantes ni coagulantes.

Cuando las membranas se ensucian y sobre todo si dicho ensuciamiento tiene lugar en un corto período de tiempo, las posibilidades de recuperación dependen fundamentalmente de la rapidez con que se actúe. Si una membrana sucia continua operando, su deterioro puede ser irreversible.

Para determinar si se está produciendo un ensuciamiento es necesario observar la evolución con el tiempo de sus parámetros característicos en condiciones estacionarias, de forma que los valores sean comparables entre sí. Ahora bien, dada la variabilidad del proceso, es preciso corregir los datos reales convirtiéndolos en valores “normalizados” o lo que es lo mismo, comparables entre sí. En el anexo correspondiente se detalla como se realiza esta normalización de los datos de operación.

Las membranas también deben limpiarse antes de una parada prolongada de la instalación (más de una semana).

A modo de resumen, es necesario realizar una limpieza si ocurre cualquiera de las situaciones siguiente:

- El paso de sales se incrementa en más de un 15%
- La producción aumenta o disminuye más de un 10%
- El caudal de rechazo varía en más de un 10%
- La pérdida de carga de los módulos se incrementa en más de un 20%

- La presión de alimentación se incrementa en más de un 10%
- Ante largos períodos de parada (más de una semana)
- Antes de aplicar cualquier reactivo de regeneración de las membranas
- Antes de una parada de más de 24 horas, tras haber operado con un producto orgánico susceptible de favorecer los desarrollos biológicos (ácido cítrico por ejemplo).

Limpieza con permeado a presión (Flushing)

Este tipo de limpieza consiste en hacer llegar a las membranas, siguiendo el mismo camino que la solución a tratar, permeado. Esta técnica se utiliza normalmente durante las paradas del sistema con el objeto de:

- Reducir el retorno de solvente debido al fenómeno de ósmosis natural.
- Desplazar totalmente la solución a tratar del interior de las tuberías y de los módulos del sistema, impidiendo así la corrosión de las partes metálicas y la precipitación de sales.
- Desplazar reactivos cuando se ha sometido a una limpieza química.

Limpieza química

Consiste en recircular a través de los tubos de presión una serie de productos químicos capaces de disolver las precipitaciones o de eliminar los depósitos existentes sobre las membranas.

El producto químico a utilizar dependerá de la naturaleza de las sustancias que constituyen los depósitos. Consecuentemente, lo primero que hay que conocer es el origen y el tipo de ensuciamiento producido para, por un lado tratar de eliminarlo de las membranas, y por otro, evitar que se vuelva a producir en el futuro. Los efectos que produce cada tipo de ensuciamiento sobre los valores normalizados del paso de sales, sobre la pérdida de carga de los módulos y sobre el caudal de permeado así como la localización del problema se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de ensuciamiento	Paso de sales	Caudal de permeado	Pérdida de carga	Localización del problema	Métodos de confirmación

Precipitación de sales : CaCO ₃ CaSO ₄ BaSO ₄ SrSO ₄ CaF ₂ SiO ₂	Incremento importante (10-25%)	Reducción moderada o importante	Aumento moderado o importante	En las últimas membranas del tubo	- Comprobación del S&SDI en el rechazo - Análisis de los iones de la solución de limpieza
Precipitación de óxidos e hidróxidos metálicos	Incremento rápido(24 horas) e importante (mayor o igual al doble)	Reducción importante y rápida (20-50%)	Aumento importante y rápido (mayor o igual al doble)	En las primeras membranas	-Análisis de los iones metálicos en la solución de limpieza
Depósitos de partículas abrasivas	Incremento según el alcance del problema	Incremento según el alcance del problema	Estable o ligera reducción	Sobre todo en la primera membrana	- Presencia de partículas en la solución de aporte - Análisis destructivo de las membranas
Ensuciamiento coloidal	Incremento notable pero no rápido (mayor o igual al doble)	Reducción importante pero no rápida (50%)	Aumento notable pero no rápido (mayor o igual al doble)	Primeras membranas	- Medida del SDI de la solución de aporte - Análisis por difracción de rayos X
Desarrollos biológicos	Incremento gradual e importante sobre todo tras las paradas si no se añade un biocida (mayor o igual al doble)	Descenso gradual e importante sobre todo tras las paradas si no se añade un biocida (50%)	Incremento gradual e importante sobre todo tras las paradas si no se añade un biocida (mayor o igual al doble)	En todas, más acusado en las primeras	- Recuento de bacterias tanto en permeado como en rechazo - Existencia de desarrollos en tuberías y recipientes
Cmpuestos orgánicos	Reducción moderada	Reducción importante	Aumento muy ligero	En todas las membranas	- Análisis destructivo de las membranas

La tabla siguiente recoge las formulaciones de limpieza más recomendables en función del tipo de ensuciamiento existente.

Formulación química	CaCO ₃	CaF ₂	CaSO ₄ BaSO ₄ SrSO ₄	Óxidos metálicos	Coloides inorgánicos	Desarrollos biológicos	Compuestos orgánicos	Sílice
Ácido clorhídrico pH 2	X				X			
H ₃ PO ₄ 0.5%	X		X	X				
NH ₂ SO ₃ 0.2%	X		X	X				
Ácido cítrico 2% NH ₄ OH pH 2	X		X	X	X			
Ácido cítrico 2% Na ₂ EDTA 2% NH ₄ OH hasta pH=4			X	X	X			
Ácido cítrico 2% NH ₄ OH hasta pH 8		X						
Na ₂ EDTA 1,5% NaOH hasta pH 7-8		X						
Na ₄ EDTA 1,5% HCl hasta pH 7-8		X						
Na ₂ EDTA 1% NaOH hasta pH 11-12						X	X	X
NaOH pH 11-12					X			X
Ácido cítrico 2,4% Bifluoruro amónico 2,4% pH 1,5-2,5	X				X			X
Na ₂ S ₂ O ₄ 1-2,4%				X				
Fosfato trisódico 1% Trifosfato sódico 1% Na ₂ EDTA 1%						X	X	
Dodecil sulfato sódico 0,5% NaOH hasta pH 11-12			X		X		X	X
Na ₂ EDTA 0,1% NaOH hasta pH 11-12						X	X	X

Hexametáfosfato de sodio 1%				X	X		X	
Perborato sódico 0,3% Dodecil sulfato sódico 0,25% pH 10					X	X	X	X
Trifosfato sódico 2% Dodecil sulfato sódico 0,2% pH 10					X		X	X
NaHSO ₃ 0,1%						X		
Formaldehído 0,1%						X		

El sistema de limpieza consta de los siguientes elementos:

- Cuba de preparación de la solución (con el volumen necesario para tratar una línea de ósmosis inversa, es decir, el volumen de los tubos más el del sistema de distribución).
- Sistema de calefacción de la cuba (una resistencia eléctrica)
- Agitador
- Bomba circuladora

Se requiere filtrar a 5 micras la solución de limpieza, por lo que a la salida de la bomba circuladora se coloca un filtro de cartuchos de 5 micras.

Se utilizan productos muy corrosivos e incluso peligrosos, por lo que es necesario que el encargado de la unidad de limpieza tengan en cuenta las siguientes normas:

- Conocimiento de las normas de higiene y seguridad relativas al almacenamiento, manejo y preparación de cada reactivo utilizado.
- Conocimiento del procedimiento a seguir para que el vertido de las soluciones de limpiezas, una vez utilizadas, no contamine el medio ambiente.
- Es aconsejable que durante el proceso de limpieza toda persona que manipule los distintos equipos vaya provista de guantes de goma y gafas de seguridad. En una zona próxima a la cuba de preparación debe existir una ducha con lavaojos.

- Durante la preparación de las distintas formulaciones es necesario asegurarse de que todos los reactivos estén disueltos y correctamente mezclados antes de introducirlos en los módulos.
- Antes y después de cada limpieza con una determinada formulación es imprescindible desplazar con permeado los fluidos existentes en el interior de las tuberías y módulos. Si no se realizase esta operación podrían reaccionar entre sí dos formulaciones consecutivas de limpieza originando precipitados o daños en las membranas.
- Tras una limpieza química, a pesar de haber desplazado los reactivos utilizados, es posible que quede alguna traza de los productos integrantes de la solución de limpieza que puede pasar al permeado al entrar de nuevo la planta en funcionamiento. Por este motivo es aconsejable no aprovechar el permeado producido durante los diez primeros minutos una vez que se ha vuelto a poner en funcionamiento la planta.

CAPÍTULO 4. CONTROL DEL PROCESO

A continuación se detallan todos los equipos de la instalación que necesitan de control, indicando el tipo de sensor a instalar, el punto de consigna si existe y el tipo de actuación.

EQUIPO	SENSOR	PUNTO DE CONSIGNA	ACTUACIÓN
Bombas pozos	Medidor de caudal magnético y transmisor de presión a la salida	Mantener caudal al 100-110%	Variador de frecuencia
Entrada a planta	Medidor de caudal magnético	Mantener el caudal al 100-110%	Referencia para los caudalímetros de los pozos
Entrada a planta	pHmetro agua bruta/pHmetro agua acidificada	Llevar pH a 6,4 (depende del pH y alcalinidad inicial del agua)	Bomba dosificadora ácido sulfúrico
Entrada a planta	Turbidímetro agua bruta	-	-
Tanque almacenamiento ácido sulfúrico	Medidor nivel por transmisor de presión	-	Alarma al llegar al 10% de capacidad
Entrada a planta	Medidor de temperatura (RTD)	-	Variador de frecuencia bomba alta presión.
Entrada a planta	Conductímetro	-	Variador de frecuencia bomba alta presión
Filtros	Medidor de presión diferencial (transmisores de presión)	Mantener caída de presión por debajo de 7 psi (este valor es modificable)	Activación del ciclo de limpieza cuando la presión alcance los 7 psi
Salida filtros	Turbidímetro	-	Detener el proceso si turbidez mayor 1 NTU
División de líneas	Caudalímetro magnético	Distribuir el caudal al 50%	Válvula de control de bola
Entrada/salida al recuperador	Caudalímetro magnético	Equilibrar caudales	Válvula de control de bola
Entrada membranas	Transmisores de presión	-	Activar equipo de limpieza al alcanzar una presión de 64,295 bar
Salida permeado	Caudalímetro magnético	Mantener caudal al 100-110%	Variador de frecuencia bomba alta presión
Salida permeado	Conductímetro	Mantener conductividad permeado en 215	Variador de frecuencia bomba de alta presión

		$\mu\text{S/cm}$	
Salida permeado	pHmetro	-	Cálculo dosis cal necesaria
Salida permeado	Conductímetro	Mantener la conductividad del producto en 461 $\mu\text{S/cm}$	Bomba dosificadora de cloruro de calcio
Salida producto	Medidor potencial oxido-reductor	Mantener nivel cloro libre residual en 1 ppm	Bomba dosificadora hipoclorito sódico

La medida de la temperatura además sirve para que el sistema de control calcule las constantes de los equilibrios implicados al añadir ácido sulfúrico, cal, etc., y así pueda calcular las dosis exactas.

Todas las bombas (excepto las dosificadoras y la bomba del equipo de limpieza) llevan un variador de frecuencia.

Todos los sensores indicados proporcionan una señal de salida 4/20 mA. Cada sensor envía su señal al controlador proporcional integral derivativo, el cual una vez analizada la señal/es envía la señal de actuación.

CAPÍTULO 5. MATERIAS PRIMAS

La materia prima básica es el agua de mar recogida por medio de los pozos playeros. A esta se le añaden las siguientes materias primas auxiliares para adecuar sus características a las necesidades del proceso: ácido sulfúrico, cal apagada($\text{Ca}(\text{OH})_2$), cloruro de calcio e hipoclorito sódico.

5.1 Caracterización del agua de mar

El análisis de esta agua de mar da los resultados medios siguientes tras seis meses de estudio es el siguiente :

- Temperatura.....20-22 °C
- SDT.....38.228 ppm
- SDI.....0,25
- Turbiedad.....0,30 NTU
- pH.....7,4-7,6

Aniones

- Cloruros.....21.248 ppm (para que haya electroneutralidad)
- Bicarbonato.....146 ppm
- Sulfatos.....2.772 ppm
- Flúor.....0,9 ppm
- Nitratos.....0 ppm
-

Cationes

- Calcio.....426 ppm
- Sodio.....11.700 ppm
- Magnesio.....1.445 ppm
- Potasio.....398 ppm
- Amonio.....0 ppm
- Estroncio.....13,3 ppm

Otros

- Boro.....5,2 ppm
- Sílice.....1,8 ppm

En este análisis no aparece el recuento de bacterias. Sin embargo, se sabe que la actividad biológica en este tipo de tomas es mucho menor a la de una toma superficial. El mayor o menor contenido en bacterias afectará principalmente a la frecuencia de limpieza de membranas.

Las variaciones a lo largo del año y/o el día en las características del agua de pozo son mínimas. No está tan expuesta a las condiciones ambientales como lo está el agua superficial.

Debe hacerse un comentario acerca del boro. Este constituyente se encuentra en muy pequeña concentración en el agua bruta. Sin embargo, dado su bajo peso atómico no es fácilmente rechazado por las membranas. Las membranas elegidas son de la empresa DOW modelo Filmtec SWHRLE-400i, de poliamida aromática de arrollamiento espiral. Existe otro modelo de la misma empresa (Filmtec SWXLE-400i) que necesita una menor presión para obtener el mismo caudal. Sin embargo, se obtiene un permeado algo más salino, lo cual no sería problema si no fuese porque el contenido en boro del permeado estaría en el límite que marca la ley (1 ppm). Por ello se escoge este modelo de membrana que si bien necesita una mayor presión, mantiene al boro suficientemente alejado del valor marcado por la ley (0,79 ppm).

Otra característica notable de esta agua es su bajo índice de atascamiento (SDI) y turbidez, que la hacen ideal para el proceso de ósmosis inversa, al ser mucho menor la frecuencia de limpiezas de membranas. El fabricante de las membranas señala un SDI igual o menor a 3,5 para tener un intervalo aceptable entre limpieza de membranas. El SDI del agua obtenida del pozo es mucho menor al máximo permitido, con lo que se espera una baja frecuencia entre limpiezas.

5.2 Ácido sulfúrico

Es el primer reactivo que se añade. Su misión es transformar parte de la alcalinidad (HCO_3^- y CO_3^{2-}) a dióxido de carbono, de forma que este, al tratarse de un gas disuelto, atraviese las membranas y pueda posteriormente transformarse en alcalinidad de nuevo al añadir cal, ya que la ley exige que la alcalinidad sea al menos de 30 ppm en HCO_3^- .

Se usará ácido sulfúrico al 98%, para no tener que sobredimensionar el tanque de almacenamiento del mismo. Se podría usar otro ácido fuerte como HCl, pero es más caro que el sulfúrico. La dosis de diseño es de 62 ppm de H₂SO₄ al 98%.

Puesto que este ácido se añade antes de las membranas, no es preciso que sea de grado alimenticio. Sólo hay que tener en cuenta los niveles de impurezas en cuanto a hierro especialmente, pues es perjudicial para las membranas.

En el capítulo de seguridad se incluye la hoja de seguridad de este producto.

5.3 Hidróxido de calcio

Este reactivo se añade al permeado para incrementar su pH y alcalinidad, aprovechando el contenido en dióxido de carbono del mismo.

En este caso si es necesario que sea de grado alimenticio. Las concentraciones comerciales oscilan entre 85-99% de pureza. Se elige una pureza del 95%. La solubilidad del Ca(OH)₂ a 20°C es de 1,7 g/l, y a 33,3°C es de 1,4 g/l.

Según el RD 140/2003, de 7 de Febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, la cal (ya sea viva o apagada) utilizada en el tratamiento del agua de consumo humano ha de cumplir con la norma UNE-EN 12518:2000.

En el capítulo de seguridad se incluye la ficha de seguridad de este reactivo.

5.4 Cloruro de calcio

Este reactivo se añade al permeado tras añadir la cal para alcanzar el contenido mínimo exigido en calcio por la ley.

Es necesario que sea de grado alimenticio. Se elige una pureza del 94%.

Según el RD 140/2003, de 7 de Febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, no se establece ninguna norma para este reactivo. Si debemos tener especial precaución al disolverlo en el agua pues libera una gran cantidad de calor al disolverse.

En el capítulo de seguridad se incluye la hoja de seguridad de este producto.

5.5 Hipoclorito de sodio

Se elige este desinfectante por su bajo coste y por no ser tan peligroso como el cloro gaseoso.

Se añade al permeado tras haber sido corregido su pH, alcalinidad y contenido en calcio. Su misión es garantizar que el agua llega a los puntos de consumo con un contenido en cloro libre residual que garantice la no existencia de microorganismos patógenos en el agua de consumo humano.

Se elige hipoclorito sódico con un contenido en cloro activo de 180 g/l. Con una densidad de 1,269 g/l.

En el capítulo de seguridad se incluye la hoja de seguridad de este producto.

CAPÍTULO 6. MAQUINARIA Y EQUIPOS

6.1 BOMBAS DE LOS POZOS

Se eligen de la empresa LOWARA modelo S10220/1. Sus características principales son las siguientes:

- Sumergibles con motor incorporado
- Centrífuga vertical multietapa con rodets semiaxiales.
- Motor F6 versión con sello mecánico, pudiendo sumergirse hasta 350 m de profundidad
- Máximo contenido en arena : 25 g/m³
- Alimentación trifásica 380-415 V, 50 Hz (2.850 rpm)
- Máximo número de arranque por hora : 20
- Temperatura máxima del agua en contacto con el motor : 30°C
- Altura útil máxima : 39 m
- Potencia requerida en el punto de trabajo : 22,86 kw
- Altura útil en el punto de trabajo : 27 m
- Caudal máximo : 280 m³/h
- NPSH en las condiciones de trabajo : 6 m
- Peso : 132 kg
- Dimensiones : Alto = 1.448 mm, diámetro máximo = 250 mm
- Válvula de pie y colador incorporado

6.2. FILTROS

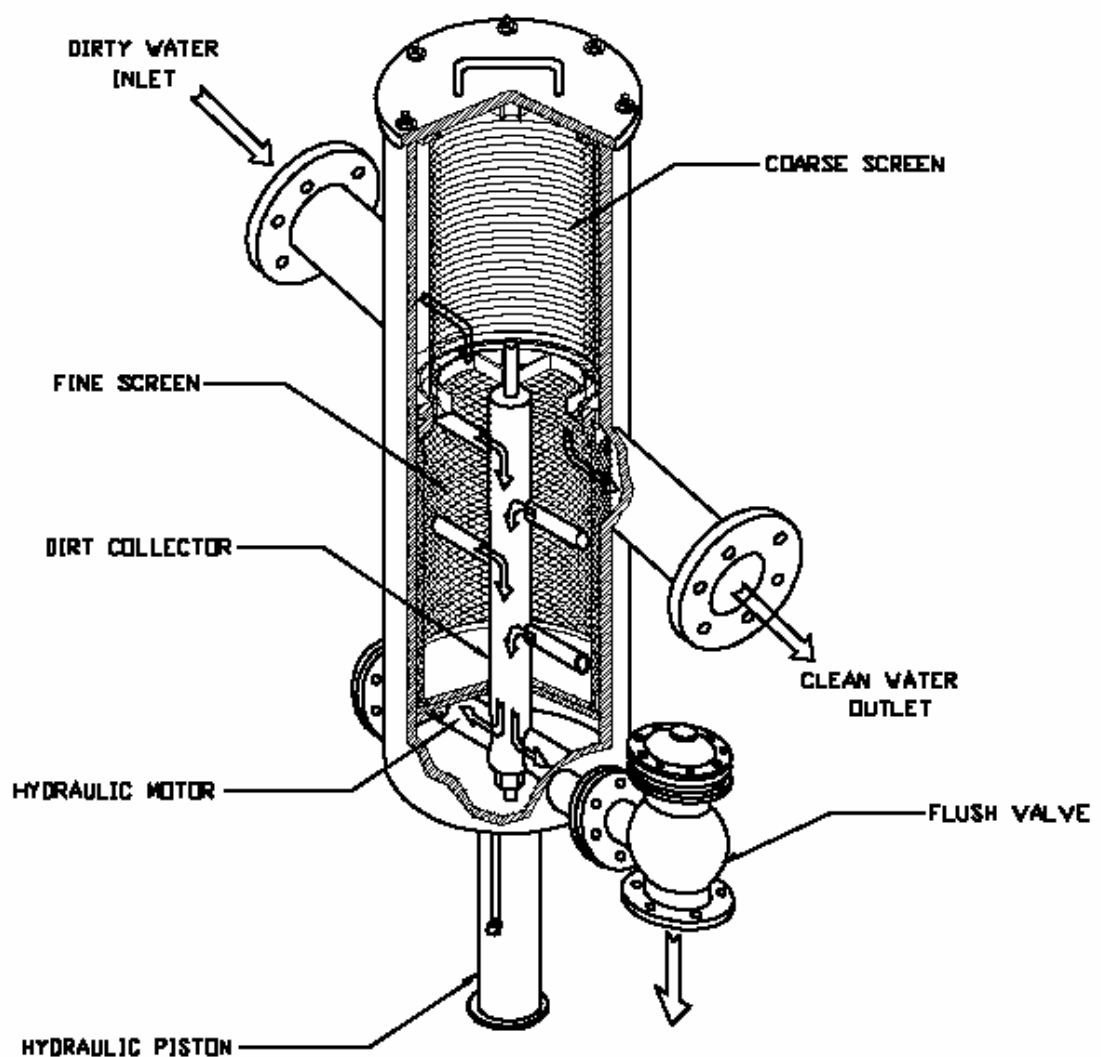
El sistema de filtración lo componen 6 filtros de la empresa Tekleen, Automatic Filtres, Inc., modelo ABW6-TXLP.

Consisten básicamente en una malla metálica en AISI 316L con aberturas de cinco micras.

Las características principales de los mismos son :

- Flujo máximo : 1.500 gpm
- Limpieza automática detectada por incremento de la presión diferencial

- Duración de ciclo de limpieza: 10 – 15 s
- Empleo del agua misma que se filtra como agua de lavado. Consumo reducido de la misma.
- Posibilidad de variar la presión diferencial a la que se produce el lavado
- Medidores de presión diferencial y controlador electrónico incorporados
- Todos sus elementos son recambiables sin necesidad de tener que desmontarlos de la tubería
- Conexión : Bridas 6" Clase 150
- 110/220 V AC, 50/60 Hz ó 9/12V DC
- Peso : 800 lbs



Funcionamiento del filtro automático

Fuente: Tekleen Automatic Filters, Inc.

6.3. ESTERILIZADORES ULTRAVIOLETA

Se elige de la empresa EXCEL WATER TECHNOLOGIES, modelo SUV 800P High Flow. Diseñado para una eliminación del 99,9% de bacterias y virus cuando trabaja con un caudal menor de 181,7 m³/h. Por tanto son necesarias cuatro unidades funcionando en paralelo.

Las características principales de estos esterilizadores son las siguientes :

- Caudal máximo: 181,7 m³/h de agua clara.
- Lámpara de mercurio de baja presión
- Cámaras en AISI 316L
- Conexiones : bridas 8"
- Drenaje para limpiezas
- Panel de control con posibilidad de instalación independiente
- Mirilla de inspección
- Detector de intensidad de radiación
- Detector/alarma de altas temperaturas
- Contador de horas de funcionamiento de las lámparas
- 200-250 V AC , 50/60 Hz
- 36 lámparas UV
- Consumo: 2.740 w
- Máxima presión de operación : 8,62 bar (125 psi)
- Límites de temperatura : 2 – 40 °C



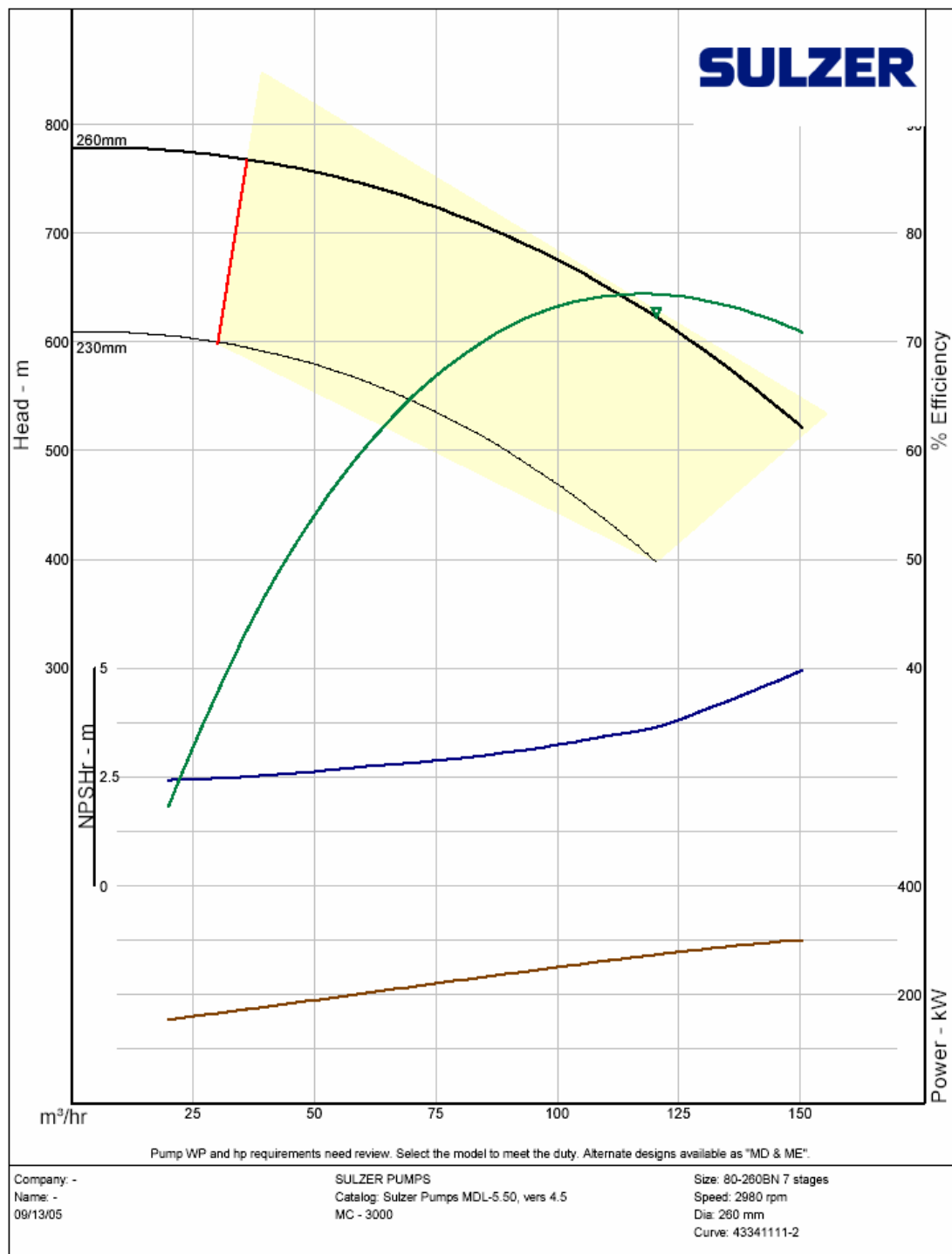
Esterilizador SUV 800 P High Flow

Fuente: Pure Water Corporation

6.4. BOMBA DE ALTA PRESIÓN

De la empresa SULZER, modelo MC 80-260 BN 7 Stages. Es una bomba centrífuga horizontal con 7 etapas. Adecuada para desalación. En acero inoxidable superduplex (una aleación superior al AISI 316L).

En la página siguiente se muestra la curva característica de la misma.



6.5. MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

Se han elegido 350 módulos de la empresa DOW CHEMICAL COMPANY, modelo SWHRLE-400i, de poliamida aromática en arrollamiento espiral.

Sus características son las siguientes:

- Área activa : 37 m²
- Máxima presión de operación : 83 bar
- Máximo flujo de permeado : 28 m³/d
- Rechazo estable de boro : 91%
- Mínimo rechazo de sales : 99,6%
- Rechazo estable de sales : 99,75%
- Diámetro : 201 mm (7,9")
- Longitud : 1.029 mm (40,5")

Estos valores se han obtenido con las siguientes condiciones :

- 32.000 ppm de NaCl
- 5 ppm de boro
- 800 psi
- 25 °C
- pH = 8
- 8% de recuperación

Otras características destacables son:

- Máxima temperatura de operación : 45°C
- Máxima caída de presión por elemento : 0,9 bar
- pH de operación continuo : 2-11
- pH corta duración (limpiezas, 30 minutos máximo) : 1-12
- Máximo SDI de agua de alimentación : 5
- Tolerancia al cloro libre : < 0,1 ppm

Aunque aparezca este dato de la tolerancia al cloro libre, el fabricante recomienda eliminar totalmente el cloro antes de su ingreso en las membranas.

Se evitarán los arranques y paradas bruscos para no someter a las membranas a shock hidráulico. Para ello, la presión de la bomba de alta presión ha de irse subiendo progresivamente en un intervalo de 30-60 segundos.

Se desechará el permeado producido en la primera hora de funcionamiento de las membranas tras su salida de la fábrica.

Los elementos se han de mantener húmedos una vez que hayan sido mojados. En paradas de larga duración se han de llenar de una solución para evitar el crecimiento bacteriano.

La máxima caída de presión permisible en un solo tubo es de 3,4 bar. Se recomienda no someter a presión el lado del permeado, aunque esto depende de las características del tubo de presión, que en este caso permitiría una presión de 125 psi (8,62 bar).

También hemos de reseñar aquí las características de los tubos de presión elegidos. Se eligen tubos de presión de la empresa BEKAERT PROGRESSIVE COMPOSITES, CORP modelo PRO 8-1000-EP, para 7 elementos de 8 pulgadas, soporta una presión máxima de 1.000 psi (68,97 bar) y con las salidas de permeado y rechazo en el mismo extremo. Fabricados en resina epoxi reforzada con fibra de vidrio. Se conectan al tubo de alimentación y de rechazo mediante unión Victaulic (Style 77) 1 1/2" y mediante rosca 1 1/4" NPT al lado del permeado (se encuentran a presión atmosférica y son de pequeño diámetro, es posible usar rosca). Otras características a destacar son:

- Mínima temperatura de operación : -18°C
- Máxima temperatura de operación : 49°C
- Presión de prueba en fabrica : 75,86 bar (1.100 psi)
- Presión de rotura : 413,79 bar (6.000 psi)
- pH de operación continua : 3-11
- pH de corta duración (limpiezas, 30 minutos máximo) : 2-12
- Máxima presión en el lado del permeado : 8,62 bar (125 psi)

Debe dejarse holgura suficiente tanto en la longitud como en el diámetro de los tubos de presión, ya que estos aumentan al someterse a presión. Las holguras que hay que dejar son de 0,4 mm para el diámetro y 6 mm para la longitud. Esto se conseguirá no abrazando muy fuertemente los tubos a los anclajes. La elongación

longitudinal se compensa con las propias uniones Victaulic al tubo. Son 4 uniones Victaulic a cada lado de los tubos, cada una con una capacidad de alargamiento de 1,6 mm, que resulta en 12,8 mm, más que suficiente.

Por último, la rosca de permeado no debe apretarse en exceso.

6.6. RECUPERADOR DE ENERGÍA

Se elige de la empresa GESTAGUA, S.L., modelo RO KINETIC. Sus características principales son:

- Ciclo cinético continuo, los fluidos siempre están en movimiento
- 98% de eficacia
- Absoluto silencio (0 dBA), ausencia de vibraciones
- Simplicidad de mantenimiento
- Sin golpes de ariete
- Sin mezcla entre la salmuera y la alimentación
- Construido en AISI 904L

Está constituido por dos cuerpos de válvulas servocomandadas separados entre sí por dos válvulas inerciales. Los cuerpos de válvulas son los encargados de distribuir de forma secuencial las entradas y salidas del agua de mar y salmuera de las cámaras isobáricas. El diseño de estas válvulas evita que se produzcan turbulencias y excesivas pérdidas de carga.



Intercambiador de presión RO Kinetic

Fuente : Walter Wesson Lora

Su principal ventaja frente a otros sistemas es que sus cámaras isobáricas tienen forma de anillo o bucle cerrado, de tal manera que el agua entra y sale de éstas

está siempre en continuo movimiento, evitando paradas con la consiguiente pérdida de energía cinética. La duración de cada ciclo de llenado-vaciado es de 12 segundos.

El sistema requiere la implantación en su salida de alta presión, de una bomba booster que sea capaz de compensar las pérdidas que se han dado a través de las membranas y los tubos.

El sistema se conecta con uniones Victaulic en los lados de alta presión y con rosca en los de baja.

Como punto débil su tamaño es mayor que el de la mayoría de recuperadores.

6.7. Aerogenerador

La potencia total requerida es de 771,22 kw. Se elige un aerogenerador de potencia nominal 850 kw de la empresa GAMESA, modelo G52 o similar.

Para la localización estudiada (litoral malagueño) se asume que los aerogeneradores dan una energía equivalente a estar operando a la potencia nominal durante un tercio del tiempo. Por tanto, se ahorra un tercio del consumo eléctrico.

CAPITULO 7. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Para la distribución sobre el terreno de los equipos que forman parte de la instalación se han seguido diversos criterios, como son la facilidad de acceso a los equipos para las distintas operaciones de mantenimiento y el libre paso de operarios y camiones cisterna necesarios.

Considerando estos y otros factores, se distribuyen los equipos de forma que la planta ocupe la menor superficie posible, acortando en la medida de lo posible las distancias de trasiego de fluidos.

CAPÍTULO 8. SEGURIDAD

En este capítulo se estudiarán los requisitos que debe cumplir la instalación en cuanto a seguridad y prevención de riesgos laborales.

8.1. Sistema contra incendios

Al no almacenarse líquidos inflamables ni haber equipos que puedan provocar grandes incendios, sólo es necesaria la colocación de extintores para fuego eléctrico. No son necesarios sistemas de alarma antiincendios, bocas de incendio equipadas, etc. Cualquier equipo que se instale para la lucha contra incendios ha de cumplir lo especificado en el “Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios”, que se incluye en el RD 1942/1993 de 5 de Noviembre.

Los extintores de incendios, sus características y especificaciones se ajustarán al “Reglamento de Aparatos a Presión” y su Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP5.

El emplazamiento de los extintores permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a las salidas de evacuación y preferentemente sobre soportes fijados a paramentos verticales, de modo que la parte superior del extintor quede como máximo, a 1.70 metros del suelo. Se utilizará un extintor de polvo químico en cada sitio en que se instale un pulsador de alarma. En el edificio de reactivos se instalará uno en cada planta.

En las zonas con riesgo eléctrico tales como los cuadros eléctricos y bombas, se situarán extintores de CO₂.

Todos los extintores se someterán a las revisiones de conservación que se establecen en el Apéndice II del RD 1942/1993 de 5 de Noviembre, donde se determina el tiempo máximo que puede transcurrir entre dos inspecciones consecutivas.

8.2. Prevención de riesgos laborales

El diseño de la planta debe tener en cuenta la normativa de obligado cumplimiento (Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y sus Reglamentos)

y las recomendaciones del INST. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

Se han seguido, para la realización del proyecto, los principios de acción preventiva que se describen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. De acuerdo con los principios básicos de prevención de riesgos laborales, en la fase de proyecto de una instalación es donde mayor efectividad y menor coste tienen las medidas destinadas a evitar que el trabajo tenga consecuencias negativas sobre los trabajadores. Las medidas que se proponen previamente al proceso de construcción son por ello muy importantes.

En cuanto a los riesgos relacionados con la manipulación y almacenamiento de reactivos, los depósitos comerciales que contienen los productos químicos necesarios, se colocarán dentro de cubetos con capacidad suficiente para contener todo el volumen de los mismos en caso de rotura. Señalar que en el capítulo de Anexos, se recogen las fichas de seguridad de los reactivos principales.

A continuación se enumeran las medidas de seguridad adoptadas en los equipos que suponen algún tipo de riesgo para los trabajadores :

- Ruido: el nivel de ruido será un factor a tener en cuenta durante la selección de las máquinas. Los focos de ruido se reducirán en la medida de lo posible.
- Quemaduras: todo equipo o tubería que pueda encontrarse a una temperatura que pueda provocar quemaduras por contacto, deberá estar aislado convenientemente, o no será posible el acceso al mismo.
- Riesgo eléctrico: todos los sistemas eléctricos contarán con protecciones frente a contactos directos (mediante aislamiento) e indirectos (mediante toma de tierra y corte de intensidad por defecto).
- Agresiones físicas: todas las partes en movimiento de los equipos estarán dotadas de dispositivos de protección de seguridad que impidan el acceso a partes peligrosas de las máquinas.
- Riesgo de caídas: para evitar este tipo de accidente, se dispondrán en las distintas unidades barandillas y suelos de rejilla. También se recomienda al personal de la planta el uso de calzado antideslizante.

Existen otros riesgos de menor importancia que no pueden preverse hasta que la planta esté construida y en operación. Se realizará una Evaluación Inicial de

Riesgos, mediante la que se detectarán y valorarán los posibles riesgos, y se propondrán medidas correctoras encaminadas a su eliminación o reducción al mínimo. La formación continua de los operarios es fundamental.

Durante la fase de construcción de la planta se redactará el Plan de Seguridad y Salud de la Obra, para identificar los peligros en la construcción, aportando las medidas de prevención y protección oportunas.

8.3. Cubetos de retención

Los tanques donde se almacenan los distintos reactivos se dispondrán en el interior de un cubeto de retención con capacidad para contener todo el volumen del tanque en caso de que se produzca una rotura de los mismos.

8.4. Zonas de carga

La plataforma en la que se estacionan los vehículos durante la carga tendrá una pendiente de 1% hacia los sumideros de evacuación.

En esta zona se colocarán los siguientes equipos de protección personal :

- Máscara con filtro para cada operario
- Un equipo de respiración autónoma
- Una manta ignífuga
- Una estación de agua para ducha y lavaojos

8.5. Fichas de seguridad de reactivos

8.5.1. Ácido sulfúrico

ACIDO SULFURICO

ICSC: 0362







ACIDO SULFURICO
 Aceite de vitriolo
 H_2SO_4
 Masa molecular: 98.1

Nº	CAS	7664-93-9
Nº	RTECS	WS5600000
Nº	ICSC	0362
Nº	NU	1830
Nº CE 016-020-00-8		

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. Desprende humos (o gases) tóxicos o irritantes en caso de incendio.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores, agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua

	graves.		abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, vómitos, colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
<p>Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).</p>	<p>Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y alimentos y piensos (véanse Notas). Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable (véanse Notas).</p>	 <p>Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 35 S: (1/2-)26-30-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II CE:</p>

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE


ICSC: 0362

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

ACIDO SULFURICO

ICSC: 0362

D A T O S I M P	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido higroscópico, incoloro, aceitoso e inodoro.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p>
	<p>PELIGROS FISICOS</p>	<p>RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.</p>
	<p>PELIGROS QUIMICOS Por combustión, formación de humos tóxicos de óxidos de azufre. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es</p>	<p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio.</p>

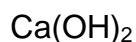
O R T A N T E S	<p>corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8</p>	<p>Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4</p>
DATOS AMBIENTALES	 <p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.</p>	
NOTAS		
<p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-10B Código NFPA: H 3; F 0; R 2; W</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-011 ACIDO SULFURICO		
ICSC: 0362	ACIDO SULFURICO	
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	<p>Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).</p>	

8.5.2. Hidroxido de calcio

DIHIDROXIDO DE CALCIO**ICSC: 0408****DIHIDROXIDO DE CALCIO**

Hidróxido de calcio

Cal apagada



Masa molecular: 74.1

Nº

CAS

1305-62-0

Nº

RTECS

EW2800000

Nº ICSC 0408

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA PRODUCCION DE NIEBLAS!	
• INHALACION	Sensación de quemazón en la nariz, garganta y vías respiratorias superiores, tos.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
• PIEL	Enrojecimiento, aspereza, sensación de quemazón.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Calambres abdominales, sensación de	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. NO dar nada de beber y

	quemazón en la boca, garganta y esófago, vómitos, debilidad.		someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 para partículas nocivas).	Mantener en lugar seco.		
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0408	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994		

DIHIDROXIDO DE CALCIO

ICSC: 0408

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Polvo suave, blanco o blanco grisáceo.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable, sin embargo se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por dispersión.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente produciendo óxido de calcio. La sustancia es moderadamente básica.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. Se recomienda vigilancia médica.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV: 5 mg/m ³ (ACGIH 1990-1991).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.

DATOS AMBIENTALES	
NOTAS	
INFORMACION ADICIONAL	
FISQ: 2-071 DIHIDROXIDO DE CALCIO	
ICSC: 0408	DIHIDROXIDO DE CALCIO

NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).
-------------------------------	--

8.5.3. Cloruro de calcio

CLORURO DE CALCIO (anhidro)

ICSC: 1184

			
<p>CLORURO DE CALCIO (anhidro) CaCl₂ Masa molecular: 111.0</p>			
<p>Nº CAS 10043-52-4 Nº RTECS EV9800000 Nº ICSC 1184 Nº CE 017-013-00-2</p>			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.

EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• INHALACION	Tos, dolor de garganta.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• PIEL	Piel seca, enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• OJOS		Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Sensación de quemazón, náuseas, vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, reposo.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas).	Separado de cinc. Mantener en lugar seco, bien cerrado y bien ventilado.	 Hermético. símbolo Xi R: 36 S: (2-)22-24 CE:	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			

CLOURURO DE CALCIO (anhidro)

ICSC: 1184


D A T O S	ESTADO FISICO; ASPECTO Cristales higroscópicos, incoloros e inodoros.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente a altas temperaturas y al arder, produciendo humos tóxicos y corrosivos. La disolución en agua es una base débil. Ataca	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION

P O R T A N T E S	al cinc en presencia de agua, produciendo gas inflamable de hidrógeno. Se disuelve violentamente en el agua con liberación de gran cantidad de calor.	La sustancia irrita la piel y el tracto respiratorio.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar a la mucosa nasal, dando lugar a ulceraciones.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 1935°C Punto de fusión: 772°C	Densidad relativa (agua = 1): 2.16 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 74.5
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 5-052 CLORURO DE CALCIO (anhidro)		
ICSC: 1184	CLORURO DE CALCIO (anhidro)	
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	

8.5.4. Hipoclorito sódico

HIPOCLORITO DE SODIO (disolución >5%) ICSC: 1119

D A T O	ESTADO FISICO; ASPECTO Solución clara, entre verde y amarillo, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y su aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	

O S I M P O R T A N T E S	<p>PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, en contacto con ácidos y bajo la influencia de luz, produciendo gases tóxicos y corrosivos, incluyendo cloro (véase FISQ:). La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, originando peligro de incendio y explosión. La disolución en agua es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva. Ataca a muchos metales.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.</p>	<p>RIESGO DE INHALACION No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20°C.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol puede originar edema pulmonar. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata (véanse Notas). Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel (véanse Notas).</p>
PROPIEDADES FISICAS	Densidad relativa (agua = 1): 1.21 Solubilidad en agua, g/100 ml a 0°C: 29.3	
DATOS AMBIENTALES	 La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.	
NOTAS		
<p>En general, los blanqueadores que contienen una concentración de hipoclorito sódico del 5% tienen un pH= 11 y son irritantes. Si la concentración de hipoclorito sódico fuera superior al 10% la solución tiene un pH= 13 y es corrosiva. El hipoclorito de sodio no es un agente sensibilizante, aunque puede producir reacciones alérgicas raramente. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). Nombres Comerciales: Chloros, Chlorox, Clorox, Deosan, Javex, Klorocin, Parozone, Purin B. Consultar también la ficha ICSC: 482.</p> <p>Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-45/80G12</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 5-108 HIPOCLORITO DE SODIO (disolución >5%)		
ICSC: 1119		HIPOCLORITO DE SODIO (disolución >5%)
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es	

	<p>independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).</p>
--	--

CAPÍTULO 9. IMPACTO AMBIENTAL

Cualquier proyecto de ingeniería necesita, para poder ejecutarse, de un pronunciamiento favorable por parte de la autoridad competente de Medio Ambiente, en forma de Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

En dicha DIA se determina respecto a los efectos medioambientales previsibles, la conveniencia o no de realizar la actividad proyectada, y en caso afirmativo, las condiciones que deben establecerse en orden a la adecuada protección del medio ambiente.

Para que la administración pueda pronunciarse, es necesario realizar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), que conduce a la elaboración de un documento técnico encaminado a predecir las consecuencias de la ejecución del proyecto sobre el medio ambiente y establecer las pertinentes medidas correctoras. Dicho documento se denomina Estudio de Impacto Ambiental.

Aunque la realización del EIA de un proyecto como éste es una tarea compleja e interdisciplinar que, por tanto, requiere de la participación de varias personas, se presentarán a continuación los aspectos e impactos ambientales más importantes asociados al mismo.

9.1. Problemática ambiental de los vertidos de salmuera

En todo proceso de desalación tenemos una porción del agua previamente introducida que es rechazada y devuelta normalmente al reservorio original de donde se extrajo el agua bruta a desalar.

El problema de estos vertidos debe tratarse cuidadosamente, dependiendo del tipo de proceso utilizado y de las características del reservorio en el que se descarga la salmuera.

En el caso de este proyecto, la planta vierte su rechazo a un mar abierto, como es el Mar Mediterráneo y a una temperatura prácticamente idéntica a la de aportación. El agua bruta presenta un contenido en sólidos disueltos de unos 38.200 ppm y debe verter al mar un rechazo con unos 58.700 ppm.

Se sabe que la fauna marina no queda afectada significativamente por la existencia de emisarios de esta agua gracias a su movilidad, incluso hay experiencias de una mayor cuota de captura pesquera alrededor de desagües de plantas desaladoras.

Sin embargo, hay que tratar con especial atención la flora marina existente, en concreto, las praderas de “Posidonia Oceánica”, una fanerógama marina que recubre los fondos con un calado de 5 a 30 metros (dependiendo de la transparencia del agua y la granulometría de los fondos), de extraordinaria productividad y diversidad, pero a su vez de extraordinaria rareza. Tanto es así que aparece en la lista de hábitats naturales de interés comunitario que es preciso proteger (Directiva del Consejo 92/43/CEE de 21 de Mayo de 1992).

Aunque no se sabe a ciencia cierta el efecto de los vertidos de salmuera en las praderas de Posidonia Oceánica, lo que sí es cierto es que es necesario realizar una serie de medidas de protección para no dañar dichas praderas, con una capacidad de producción de oxígeno incluso mayor que la selva amazónica.

De entre las posibilidades de actuación en cuanto a la evacuación de la salmuera al mar no hay soluciones concluyentes, sobre todo en cuanto a la cuantificación del efecto de cada una de ellas sobre la flora marina. Aquí se muestran las soluciones comúnmente adoptadas:

- Vertido directo al mar a través de ramblas y cauces. Esta posibilidad puede ser la más conveniente en zonas de corrientes y vientos considerables, ya que en zonas cercanas a la costa, los oleajes y la mayor temperatura de las aguas favorecen la mayor dilución de las descargas de salmuera.
- Construcción de emisarios submarinos que sobrepasen la pradera de Posidonia. No está muy claro si el efecto de la obra necesaria para construir el emisario va a ser más perjudicial para la pradera que su vertido en la costa. Además se han realizado estudios sobre la dilución de los emisarios submarinos construidos específicamente para una mejor mezcla con el agua marina, pero la experiencia de laboratorio ha demostrado grandes diferencias con respecto a la dilución real en los fondos marinos, debido fundamentalmente al efecto de las corrientes marinas, oleaje, condiciones del fondo, etc., difícilmente reproducibles en condiciones de laboratorio.

- Utilización de emisarios ya existentes de aguas residuales. Se sabe que las aguas residuales urbanas tienen un efecto más pernicioso para la flora marina que los rechazos de plantas desaladoras. Por lo tanto, un mal menor puede ser verter dichos rechazos a colectores residuales o lugares cercanos a ellos, en zonas ya previamente degradadas por efecto de las aguas residuales urbanas.
- Inyección en sondeos profundos. Requiere de un acuífero aún más profundo del que se está alimentando la planta y que no exista posibilidad de que se comuniquen entre ellos.

9.2. Otros vertidos

Aunque no tienen la misma importancia que los vertidos de salmuera, gracias a la ínfima relación de volúmenes evacuados (la suma total de ellos no supone más del 1 % del total), existen otro tipo de vertidos en una planta desaladora por ósmosis inversa, que se resumen a continuación :

- Agua de lavado de los filtros de arena: constituyen un agua muy cargada de arenas y materia orgánica.
- Productos de limpieza de las membranas: su frecuencia depende mucho del tipo de membranas y de las condiciones de operación, pero en general, al menos se realiza una vez al año con detergentes de naturaleza biodegradable.
- Aditivos provenientes del pre/post-tratamiento del agua bruta/producto. Es posible encontrar en pequeña medida floculantes, antiincrustantes, anticorrosivos y biocidas en las aguas de rechazo. Su carácter poco degradable hace que deban ser controlados periódicamente. En nuestro caso, el rechazo no contiene ningún reactivo, exceptuando el ácido sulfúrico añadido, que supone un cambio de pH únicamente. De todas formas, el pH del rechazo va a ser de aproximadamente 7,13, frente a 7,4-7,6 que puede tener el agua marina.

9.3. Otros impactos

Las plantas desaladoras consumen gran cantidad de energía. Tanto si consumen energía eléctrica como si extraen energía térmica, las emisiones de CO₂,

NO_x, etc., derivadas de la combustión de centrales térmicas debe asociarse a la planta desaladora. Sólo en el caso de que la energía eléctrica utilizada en el proceso de desalación sea de origen renovable, no debe asignarse este impacto ambiental al proceso de desalación.

En nuestro caso se un aerogenerador, de tal forma que sean capaces de alimentar la planta por completo durante aproximadamente un tercio del tiempo total de operación. Por tanto, las emisiones contaminantes de los gases citados se reducirán un tercio comparando con el caso de no utilizar aerogeneradores.

Finalmente, también hay que destacar la contaminación acústica de una planta desaladora y el aerogenerador, que no suelen mencionarse debido a su relativa lejanía de poblaciones y zonas habitadas. Pero debe tenerse en cuenta en pequeñas islas o zonas con escaso terreno edificable. En nuestro caso, la contaminación acústica de la planta desaladora en sí va a ser algo menor de lo habitual, puesto que se han sustituido gran parte de válvulas por variadores de frecuencia. Las válvulas, al estrangular el fluido transforman parte de la energía del fluido en vibraciones y ruido. Los equipos que producen ruido como son las bombas de alta presión principalmente se encuentran dentro de un edificio, por lo que se minimiza la contaminación acústica.

Podría estudiarse la colocación del aerogenerador a varios kilómetros de la costa con lo que se conseguiría por un lado evitar la contaminación acústica de la costa y por otro lado se maximizaría la captación de energía eólica, ya que en mar abierto no hay obstáculos para el viento.

9.4. Consideraciones finales

Resumiendo, el impacto ambiental derivado de la instalación de una planta desaladora acoplada a un aerogenerador tiene varias afecciones destacables: vertido de salmuera, emisiones y ruido.

CAPÍTULO 10. ESTUDIO ECONÓMICO

A continuación se expone la información acerca de la economía del proceso. La misma se encuentra detallada en el apartado de Presupuesto de este Proyecto.

La determinación de los costes se lleva a cabo descomponiendo los costes de acuerdo con su naturaleza, de forma que podemos distinguir distintos costes de acuerdo con su procedencia :

- Costes directos : debido a los equipos, instalación, conducciones, instrumentación, etc., asciende a : 3.883.473 €
- Costes indirectos : referidos a la ingeniería y la construcción, asciende a 1.631.059 €

El coste total de la planta es la suma de los costes directos e indirectos, asciende a 5.514.532 €

Para honorarios del contratista y posibles contingencias se reservan 551.453 €

El capital fijo se establece en un total de 6.065.985 €

- Mano de obra : Se estiman necesarios sólo dos operarios por turno y un director de planta, dado que la planta es de tamaño pequeño-mediano. Asciende a 184800 €/año
- Coste de materias primas : Se han despreciado los reactivos necesarios para limpieza, ya que esta se hará una o dos veces al año. Ascienden a 105767 €/año.
- Requerimientos de la instalación : es el gasto eléctrico de la planta. Se descuenta el ahorro que se obtiene gracias al empleo de aerogeneradores. Asciende a 341.911 €/año.

-
- Coste anual de operación : es la suma de los apartados 3 a 6 más el término de amortización, el mantenimiento y la reposición de membranas. Ascende a 1.237.724 €/año.
 - Análisis de aprovechamiento : una vez determinados los costes de la planta, debemos considerar las ventas del producto final, con un precio en el mercado de **0,746 €/m³**. Con esto se podrán determinar diversos índices económicos orientativos respecto a las ganancias de la instalación, como son:
 - Ingresos.....1.422.715 €/año
 - Ganancia bruta.....184.991 €/año
 - Impuestos.....73.996 €/año
 - Ganancia neta.....717.624 €/año
 - Ganancia bruta marginal.....13,00 %
 - Retorno a la inversión..... 11,83 %
 - Tiempo de pago.....8,5 años

CAPÍTULO 11. BIBLIOGRAFÍA

- “Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones” M. Fariñas Iglesias. Editorial McGraw-Hill (1999)
- “Desalación de aguas salobres y de mar. Ósmosis inversa” Jose Antonio Medina San Juan, Editorial Mundi-Prensa (1999)
- “Perry : Manual del Ingeniero Químico” Editorial McGraw-Hill, Inc (1992)
- “Pump Handbook” I.J.Karasik, J.P. Messina, P. Cooper, C.C.Heald. Editorial McGraw-Hill (2001)
- “Pump User’s Handbook” F. Pollack. Editorial Gulf Publishing Company (1980)
- “Handbook of industrial membrane technology” Mark C. Porter. Editorial Noyes Publications (1990)
- “Manual de bombas y válvulas KSB”
- “Criterios de diseño para tuberías de PVC” Duratec-Vinilit
- “Dewatering and groundwater control” Departments of the Army, the Navy, and the Air Force. Noviembre 1983
- “Water supply. Sources and general considerations” Departments of the Army, the Navy, and the Air Force. Junio 1987
- “La desalación y reutilización como recursos alternativos” Universidad de Zaragoza y Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE) (2002)
- “Los procesos de desalación” Dirección general de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (1995)
- “Beach web intakes for small seawater reverse osmosis plants” J. Schwartz. The Middle East Desalination Research Center. (2000)

-
- “Process engineering equipment handbook” Claire Soares. Editorial McGraw-Hill (2002)
 - “Process industrial instruments and controls handbook” G.K. McMillan. Editorial McGraw-Hill (1999)
 - “Curso de ósmosis inversa” Empresa Mixta de Aguas de Las Palmas, S.A. (EMALSA) (2002)
 - “Texto refundido de las especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares fotovoltaicas para producción de electricidad y las modificaciones de aplicación en el programa Prosol” SODEAN, S.A.
 - “Reverse Osmosis Membranes. Technical Manual” Dow Chemical Company (2004)
 - “Evaluación de inversiones industriales” E. Richart Jordá. Editorial Alambra (1977)
 - “Electricidad solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos” Eduardo Lorenzo. Editorial PROGENSA (Promotora General de Estudios, S.A.) (1994)
 - “Handbook of water and wastewater treatment technologies” N.P. Cheremisinoff. Editorial Butterworth-Heinemann (2002)
 - “Piping handbook” M.L. Nayyar. Editorial McGraw-Hill (1999)
 - “Membrane filtration handbook” J. Wagner. Editorial Osmonics (2001)
 - “Estudio sanitario del agua” A.Mariscal Larrubia. Editorial Universidad de Granada (1999)
 - “Tuberías industriales” D.N.W. Kentish. Editorial Urmo (1989)
 - “Preliminary Chemical Engineering plant design” W.D. Baasel. Editorial Elsevier (1976)

Artículos

- “Seawater intakes for desalination plants” D. Gille. Desalination 156. Editorial Elsevier (2003)
- “Medidores de nivel” Automática e Instrumentación, nº 300 Octubre (1999)
- “Reduction of the energy demand for seawater RO with the pressure exchanger system PES” P. Geisler, W. Krumm, T.A. Peters. Desalination 135. Editorial Elsevier (2001)
- “Seawater reverse osmosis plant using the pressure exchanger for energy recovery : a calculation model” G. Migliorini, E. Luzzo. Desalination 165. Editorial Elsevier (2004)
- “Chemical treatments. Control of calcium fluoride scaling in industrial water systems” Z. Amjad, R.W. Zuhl. Ultrapure Water, Noviembre (2000)
- "The System Carbon Dioxide-Water and the Krichevsky-Kasarnovsky Equation" J.J. Carroll, A.E. Mather. Journal of Solution Chemistry, vol.21 (1992)
- “Estudio comparativo sobre el paso de boro en cuatro modelos de membranas de ósmosis inversa” L. Romero Valbuena. Edita Infilco Española, S.A. (2001)
- “Limpieza de membranas espirales de ósmosis inversa” D. Comstock, W. Wesson. Nº 6 de la Revista de la Asociación Española de Desalación Y Reutilización (AEDYR) (2002)

Normas

- ASME B16.5-1996. “Pipe flanges and flanged fittings”
- ASME B31.3-2002. “Process pipping”

ANEXOS

A LA

MEMORIA

ANEXO I. DISEÑO DE LOS POZOS PLAYEROS

Tenemos que bombear a la planta un caudal de agua de mar de :

$$\frac{5.000m^3 / d}{0,35} = 14.285,71 \frac{m^3}{d} = 2.620,83 \text{ gpm}$$

El caudal máximo típico de este tipo de pozos es de unos 5.000 m³/d. Por tanto, el número de pozos necesarios es:

$$n = \frac{14.285.71m^3 / d}{5.000m^3 / d \cdot \text{Pozo}} = 2,85$$

Es decir, son necesarios tres pozos. Además construiremos uno de reserva ante cualquier avería o para una posible ampliación posterior. Cada uno ha de impulsar un caudal igual a:

$$Q_{\text{pozo}} = 873,61 \text{ gpm}$$

Los pozos estarán lo bastante alejados entre sí como para no interferirse. Esto se consigue haciendo que sus radios de influencia no se superpongan. Hay que tener en cuenta que la longitud máxima de bombeo que hace rentable este tipo de toma está en torno a los 5-10 kilómetros según la bibliografía. Si el espaciamiento entre pozos hace que la distancia de bombeo supere este valor, no será económicamente rentable instalar este sistema.

Antes de empezar los cálculos hay que introducir un factor de seguridad que depende de la calidad de los datos de partida, la experiencia del diseñador y la importancia de la continuidad en el suministro. En nuestro caso tenemos :

- Experiencia del diseñador : Pequeña \Rightarrow 0,25
- Datos de partida : Buenos \Rightarrow 0,10
- Operación : Moderadamente crítica \Rightarrow 0,20

Consideramos operación moderadamente crítica, pues hay un pozo de reserva y no ocurren catástrofes si falla el bombeo de pozo.

Luego tenemos un factor de seguridad igual a $F = 1,55$. Por tanto, el caudal a usar en los cálculos es el caudal por pozo multiplicado por este valor, lo que resulta en :

$$Q_{\text{pozo}} = 873,611111 \cdot 1,55 = 1.354,10 \text{ gpm}$$

Buscamos un acuífero con 50 m de profundidad y una conductividad hidráulica de aproximadamente 54 m/d.

$$K = 54 \frac{m^3}{m^2 \cdot d} = 1.325,33 \frac{gpd}{ft^2} = 0,0625 \frac{cm}{s}$$

Esta conductividad hidráulica se corresponde con un diámetro efectivo de grano que se calcula con la siguiente ecuación empírica :

$$K = C \cdot D_{10}^2$$

K : Conductividad hidráulica en cm/s

C : Coeficiente que suele valer 100 (varía entre 40-150)

D_{10} : Tamaño efectivo de grano en cm

$$\Rightarrow D_{10} = \sqrt{\frac{0,0625}{100}} = 0,025 \text{ cm} = 0,25 \text{ mm}$$

Colocaremos una bomba por pozo. Seleccionamos bombas LOWARA S10220/2C y S10220/1 o similar, con válvula de pie incorporada. El diámetro máximo de la bomba es de 250 mm. El diámetro mínimo del pozo para que pueda succionar sin problemas es de 255 mm.

La hidráulica de los pozos playeros suele tomarse como acuífero no confinado, es decir, freático, en estado estacionario. Para este modelo tenemos la ecuación:

$$Q = \frac{K(H^2 - h^2)}{1.055 \log \frac{R}{r}}$$

K : Conductividad hidráulica, gpd/ft²

R : Radio de influencia del pozo, ft

r : Radio de entrada al pozo, ft. Si no llevase filtro de grava sería el radio de rejilla.

H : Espesor del acuífero, ft

h : Nivel dinámico del pozo, ft. (Nivel cuando se bombea).

El radio de influencia se calcula con la ecuación :

$$R = C \cdot (H - h) \sqrt{K}$$

R : Radio de influencia, ft.

C : Coeficiente que para pozo aislado sea confinado o no, vale 3.

K : Conductividad hidráulica en 10^{-4} cm/s

$H-h$: Pérdida de carga en acuífero, ft.

Si tomamos como máxima admisible una pérdida de carga en el acuífero de 8 m.c.a, el radio de influencia valdrá :

$$R = 3 \cdot 26,246719 \sqrt{\frac{0,0625}{10^{-4}}} = 1.968,503925 \text{ ft} = 600m$$

Ya estamos en condiciones de calcular el caudal máximo que puede dar el pozo :

$$Q = \frac{1.325,328765 \cdot (164,041995^2 - 137,795276^2)}{1.055 \log \frac{1.968,503925}{r}}$$

Para un caudal de 1.354,10 gpm, el diámetro óptimo de rejilla será igual al de la bomba. Es decir, un diámetro de rejilla de 10 pulgadas. A este grosor le hemos de añadir el espesor de la capa de grava que han de llevar las rejillas alrededor para evitar la entrada de materiales finos del acuífero. Le añadimos 5 pulgadas de espesor de filtro de grava. Por tanto el diámetro de pozo va a ser de 20 pulgadas. Si el acuífero no es muy profundo, como es nuestro caso, lo mejor es colocar la rejilla en el fondo o base del acuífero.

$$Q = \frac{1.325,328765 \cdot (164,041995^2 - 137,795276^2)}{1.055 \log \frac{1.968,503925}{0,833}} = 2.950,12 \text{ gpm}$$

El caudal que puede dar cada pozo, supera con creces al necesario.

Para prevenir la infiltración de material del acuífero o del filtro a través de las rejillas, han de cumplirse las siguientes relaciones :

$$\frac{MinFilterD_{15}}{MaxAcuiferD_{15}} \geq 2 - 5$$

$$\frac{MaxFilterD_{15}}{MinAcuiferD_{85}} \leq 5$$

$$\frac{MaxFilterD_{50}}{MinAcuiferD_{50}} \leq 25$$

Tamaño abertura rejillas \leq MinFilter D_{50}

Hasta que no tengamos los datos exactos de la localización, asumimos la siguiente distribución de tamaños del acuífero y del filtro:

ACUÍFERO

- $D_{10} = 0,25$ mm
- $D_{15m\acute{a}x} = 0,28$ mm
- $D_{15min} = 0,12$ mm
- $D_{85min} = 0,40$ mm
- $D_{50min} = 0,22$ mm
- $D_{60medio} = 0,60$ mm
- $C_u = D_{60}/D_{10} = 2,4$

FILTRO

- $D_{15\min} \geq 0,56 - 1,40 \text{ mm}$
- $D_{15\max} \leq 2,00 \text{ mm}$
- $D_{50\max} \leq 5,50 \text{ mm}$
- $D_{50\min} \geq 1,90 \text{ mm}$
- $D_{60\text{medio}} = 5,50 \text{ mm}$
- $D_{10\text{medio}} = 1,70 \text{ mm}$
- $C_u = 3,2$

REJILLAS

- Máxima apertura de rejillas $\leq 1,90$

Escogemos rejilla de la empresa ALLOY MACHINE WORKS, INC, o similar de 10" Pipe Size. El tamaño de abertura elegido es el inmediatamente inferior al calculado. Esto es :

$$1,90 \text{ mm} \cdot \frac{1\text{m}}{1.000\text{mm}} \cdot \frac{1\text{ft}}{0,3048\text{m}} \cdot \frac{1\text{inch}}{0,0833\text{ft}} = 0,074833''$$

La inmediatamente inferior tiene 0,070" de slot opening. El valor de área abierta al flujo es:

$$\text{Área abierta al flujo/ft} = 177,21 \text{ inch}^2/\text{ft} \quad (\% \text{ Área abierta} = 44 \%)$$

$$\% \text{ Área abierta} = \frac{\text{TamañoAbertura}^2}{(\text{TamañoAbertura} + \text{AnchoHilo})^2} \cdot 100$$

Para calcular la longitud de rejilla necesaria primero hemos de estimar a partir de la tabla, la velocidad a partir de la cual se arrastran las partículas del acuífero. Interpolando obtenemos :

$$v = 4,65 \text{ ft/s}$$

La longitud de la rejilla se calcula con:

$$L = \frac{Q}{A \cdot v \cdot 7,48}$$

L : Longitud de rejilla, ft

Q : Caudal pozo, gpm

A : Área abierta al flujo (se toma un medio de la dada por el fabricante), ft²/ft

v : velocidad a partir de la cual se arrastran partículas, ft/s

$$L = \frac{1.354,097222}{\frac{177,21}{2 \cdot 144} \cdot 4,65 \cdot 7,48} = 63,270251 \text{ ft} = 19,28 \text{ m}$$

Comprobamos que la velocidad a través de las aberturas es menor de 0,1 ft/s (Así, la pérdida de carga a través de las rejillas será pequeña).

$$v = \frac{Q(ft^3/s)}{A(ft^2/ft) \cdot L(ft)} = \frac{1.354,097222 \frac{gal}{min} \cdot 0,1337 \frac{ft^3}{s} \cdot \frac{1 min}{60s}}{177,21 \frac{inch^2}{ft} \cdot \frac{0,0833^2 ft^2}{inch^2} \cdot 63,270251 ft} = 0,0388 ft/s < 0,1 ft/s$$

Hay que añadir manómetro a la salida de bombas, caudalímetro (en la descarga) y medidor del nivel del pozo.

- Pérdidas en acuífero = 8 mca
- Pérdidas en entrada a filtro y rejilla (figura) = 0,30 mca
- Pérdidas a lo largo de la rejilla (figura) = $\frac{1 ft}{100 ft} \cdot \frac{63,270251}{2} = 0,10$ mca

Tomamos el pozo más alejado para calcular las pérdidas y las compararemos con los otros para ver si la diferencia es grande. Si es bastante grande, habrá que colocar bombas diferentes.

$$\frac{P_1}{\rho} + gh_1 + \frac{v_1^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{P_2}{\rho} + gh_2 + \frac{v_2^2}{2} + \sum h_f$$

$$\eta \cdot W_p = gh_2 + \frac{v_2^2}{2} + \sum h_f$$

$P_1 = P_{atm}$, ya que es acuífero no confinado.

$P_2 = P_{atm}$ (Queremos que sea así)

$h_1 = 0$

$v_1 = 0$

$h_2 = 5$ m (lo suponemos)

$v_2 = 1,13$ m/s

$$\Rightarrow \eta \cdot W_p = \frac{1,130977^2}{2} + 9,8 \cdot (5) + \sum h_f$$

Para calcular el resto de pérdidas suponemos un caudal igual al medio aumentado un 10% para cuando haya que recuperar el tiempo perdido en una posible avería. Es decir,

$$Q_{por\ cada\ ramal} = 218,25 \text{ m}^3/h$$

$$Q_{\text{entrada planta}}(\text{total}) = 654,76 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\sum h_f = h_{f\text{total pozo}} + h_{f\text{retención}} + h_{f\text{tubo pozo}} + h_{f\text{primer codo}} + h_{f\text{tubo } 8''(2,273\text{m})} + h_{f\text{Caudalímetro magnético}} + h_{f\text{tubo } 8''(1,780\text{m})} + h_{f\text{ensanche}(8-10'')} + h_{f\text{tubo } 10''(5,693\text{m})} + h_{f\text{codo } 10''} + h_{f\text{tubo}(1.800\text{m})} + h_{f\text{ensanche}(10-16'')} + h_{f\text{tubo } 16''(1,192\text{m})} + h_{f\text{Cruz}} + h_{f\text{tubo } 16''(4,070\text{m})} + h_{f\text{ensanche } 16-20''} + h_{f\text{tubo } 20''(16,903\text{m})} + h_{f\text{Té } 20''} + h_{f\text{válvula mariposa } 20''} + h_{f\text{codo } 20''} + h_{f\text{tubo } 20''(10,077\text{m})}$$

$$- h_{f\text{total pozo}} = 8,395003 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 82,27 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{retención bomba}} \Rightarrow \text{Modelo Gestra Discocheck DN 200 (8'')} \text{ PN 16} \Rightarrow k_v = 1.439$$

$$\Rightarrow h_{f\text{retención bomba}} = \frac{1.025 \cdot 218,253968^2}{1.000 \cdot 1.439^2} = 0,0235791 \text{ bar} = 2,30 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{tubo pozo}} \cdot \phi_{\text{int}} = 0,1922 \text{ m} \Rightarrow v = 2,089599 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ y}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = 0,000036 \Rightarrow 4f = 0,0145 \Rightarrow h_f = 0,0145 \frac{37,062406}{0,1922} \cdot \frac{2,089599^2}{2} = 6,10 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{codo } 1} = 12 \cdot 0,0145 \cdot \frac{2,089599^2}{2} = 0,38 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{tubo tras codo}} = 0,0145 \frac{2,273}{0,1922} \cdot \frac{2,089599^2}{2} = 0,37 \text{ J/kg}$$

- h_f Caudalímetro magnético. Se coloca un caudalímetro magnético de la empresa BADGER METER, INC. modelo Magnetoflow DN 8'' bridado. No produce caída de presión.

$$- h_{f\text{tubo } 8''(1,780\text{m})} = 0,0145 \frac{1,780}{0,1922} \cdot \frac{2,089599^2}{2} = 0,29 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{ensanche}(8-10'')} \cdot$$

$$\beta = \frac{D_{\text{int1}}}{D_{\text{int2}}} = \frac{0,1922}{0,2411} = 0,797180$$

$$45^\circ \leq \vartheta \leq 180^\circ \Rightarrow k = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = 0,328988 \Rightarrow h_{f\text{ensanche}} = 0,328988 \cdot$$

$$\frac{1,327930^2}{2} = 0,29 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{f tubo } 10''(5,693\text{m})} \cdot v_2 = \frac{0,0606261 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,2411}{2}\right)^2 \pi} = 1,327930 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} \cong 2,9 \cdot 10^5 \text{ y}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,0145 \Rightarrow h_{\text{f tubo } 10''(5,693\text{m})} = 0,0145 \frac{5,693}{0,2411} \cdot \frac{1,327930^2}{2} = 0,30 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{f codo } 10''} = 12 \cdot 0,0145 \cdot \frac{1,327930^2}{2} = 0,15 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{f tubo } (1,800\text{m})} = 0,0145 \frac{1,800}{0,2411} \cdot \frac{1,327930^2}{2} = 95,45 \text{ J/kg}$$

$$h_{\text{f ensanche } (10-16'')} \cdot \beta = \frac{D_{\text{int } 1}}{D_{\text{int } 2}} = \frac{0,2411}{0,3613} = 0,667312$$

$$45^\circ \leq \vartheta \leq 180^\circ \Rightarrow k = \frac{(1-\beta^2)^2}{\beta^4} = 1,551641 \Rightarrow h_{\text{f ensanche}} = 1,551641 \cdot \frac{0,591335^2}{2} = 0,27 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{f tubo } 16''(1,192\text{m})} \cdot v_2 = \frac{0,0606261}{\left(\frac{0,3613}{2}\right)^2 \pi} = 0,591335 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} \cong 1,9 \cdot 10^5 \text{ y}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,0155 \Rightarrow h_{\text{f tubo } 16''(1,192\text{m})} = 0,0155 \frac{1,192}{0,3613} \cdot \frac{0,591335^2}{2} = 0,01 \text{ J/kg}$$

- $h_{\text{f Cruz}}$. La consideramos equivalente a una té por la que circula el caudal total.

$$\Rightarrow h_{\text{f Cruz}} = 60 \cdot 4f \cdot \frac{1,774006^2}{2} \cdot \text{Re} = 5,7 \cdot 10^5 \text{ y } \frac{\varepsilon}{d} = 0,000019 \Rightarrow 4f = 0,013$$

$$\Rightarrow h_{\text{f Cruz}} = 60 \cdot 0,013 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 1,23 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$- h_{\text{f tubo } 16''(4,070\text{m})} = 0,013 \frac{4,070}{0,3613} \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,23 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{f ensanche } 16-20''} \cdot \beta = \frac{D_{\text{int } 1}}{D_{\text{int } 2}} = \frac{0,3613}{0,4525} = 0,798453$$

$$45^\circ \leq \vartheta \leq 180^\circ \Rightarrow k = \frac{(1-\beta^2)^2}{\beta^4} = 0,323261 \Rightarrow h_{\text{f ensanche}} = 0,323261 \cdot \frac{1,130977^2}{2} = 0,21 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{ftubo}20''(16,903\text{m})} v_2 = 1,130977 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} \cong 4,6 \cdot 10^5 \text{ y } \frac{\varepsilon}{d} = 0,000015 \Rightarrow 4f = 0,0135 \Rightarrow h_{\text{ftubo}20''(16,903\text{m})} = 0,0135 \frac{16,903}{0,4525} \frac{1,130977^2}{2} = 0,32 \text{ J/kg}$$

El bypass normalmente no opera, pero nos pondremos en el peor caso. Consiste en 2 codos, 3 válvulas de mariposa y 2 Tés a 90°.

$$- h_{\text{fTé}20''} = 60 \cdot 0,0135 \frac{1,130977^2}{2} = 0,52 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{fválvulamariposa}20''} = \frac{\left(\frac{1,025}{1,000}\right) 2.882,916667^2}{30.360^2} = 0,00924239 \text{ psi} = 0,06 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{fcodo}20''} = 12 \cdot 0,0135 \frac{1,130977^2}{2} = 0,10 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{ftubo}20''(10,077\text{m})} = 0,0135 \frac{10,077}{0,4525} \frac{1,130977^2}{2} = 0,19 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow \sum h_f = 191,06 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow \eta \cdot W_p = 240,70 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow h_{\text{bomba más alejada}} = 24,56 \text{ m}$$

Para la segunda menos alejada la diferencia principal es que la longitud de impulsión es sensiblemente menor : $\sum h_f = 191,059348$

$$0,0145 \frac{600}{0,2411} \cdot \frac{1,327930^2}{2} = 156,73 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow h_{\text{segunda bomba menos alejada}} = 21,06 \text{ m}$$

El modelo LOWARA S10220/1 da a 218,25 m³/h , h = 26 m, $\eta = 79\%$, NPSH = 6,0 m. Es adecuado para todos los pozos.

El nivel de líquido por encima de esta bomba es : (50-8,39) - 18,040594 - 3,048-1,989 = 18,53 m

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = \frac{P_A - P_S}{\rho \cdot g} - H_s - h_{\text{fac}} = \frac{101.325}{1.025 \cdot 9,8} - 0,232653 + 18,5274 - 8,39 = 19,49 \text{ m}$$

⇒ Bomba correcta.

La P máxima que puede dar esta bomba es : $39 \text{ m} \cdot 1.025 \text{ kg/m}^3 = 4,00 \text{ kg/cm}^2$

La P máxima de trabajo de los tubos de PVC a 23 ° C son según el fabricante :

- DN 8" cédula 80 : 18 kg/cm²
- DN 10 " cédula 80 : 16 kg/cm²
- DN 16" cédula 80 : 15 kg/cm²

Como vemos, cualquiera de ellos soporta perfectamente la máxima presión.

Se utilizarán bridas clase 150 (PN 10), ya que es la máxima que se permite en tubos de materiales termoplásticos.

Para no someter al acuífero a una posible sobreexplotación, hay que asegurar un buen estudio hidrogeológico de la zona.

La grava del pozo ha de ser previamente desinfectada

Antes de poner la planta en marcha hemos de asegurarnos de que el pozo está completado, es decir, se ha dejado circular agua durante un tiempo suficiente para liberar los materiales finos dispersos tras taladrar el pozo.

ANEXO II. CALCULO CÉDULA TUBO Y CLASE BRIDAS DE LAS TUBERÍAS DE ALIMENTACIÓN A LA PLANTA

Aquí se detalla el cálculo del espesor requerido de tubería y la clase de las bridas para la zona comprendida entre los pozos y la succión de las bombas del pretratamiento.

El material elegido es PVC. Las bridas serán pegadas con disolvente al tubo. La clase a usar en las bridas cuando se usan materiales termoplásticos, como el PVC es 150 como máximo.

Debemos comprobar si estos requisitos mínimos satisfacen los requerimientos de presión de nuestro sistema.

A esta zona llega un caudal medio de 14.285,71 m³/d. Incrementamos un diez por ciento este caudal para cuando haya que recuperar el tiempo perdido tras algún problema.

$$\text{Caudal de diseño} = Q_d = 15.714,29 \text{ m}^3/\text{d}.$$

La presión máxima que puede darse en este tramo teniendo en cuenta la bomba es de 4,00 kg/cm²

Para tener unas pérdidas reducidas la velocidad en los tramos de impulsión ha de ser igual o menor de 2 m/s. Por lo tanto la sección necesaria es :

$$S = Q/v \Rightarrow S \geq \frac{0,1818783069 \text{ m}^3 / \text{s}}{2 \text{ m} / \text{s}} = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\phi_{\text{int}} \geq 0,3402754 \text{ m} \Rightarrow \text{El diámetro nominal del tubo ha de ser 16 pulgadas.}$$

Suponemos que la temperatura a la que va a estar sometida la tubería es la misma que la del agua, es decir, una máxima de 22°C. El caudal que circula por ellas es lo suficientemente grande como para poder despreciar los efectos de la radiación solar o la temperatura ambiente.

Según la hoja de datos del fabricante, un tubo de PVC cédula 80, de diámetro nominal 16 pulgadas tiene las siguientes características:

Diámetro exterior = 406,4 mm

Diámetro interior = 361,3 mm

Espesor = 21,4 mm

Presión máxima de trabajo a 23°C = 15 kg/cm²

La presión de prueba ha de ser 1,5 veces la presión máxima de trabajo es decir:

$$P_{\text{prueba hidrostática}} = 1,5 \cdot 3.9975 \text{ kg/cm}^2 = 6,00 \text{ kg/cm}^2$$

Hemos de tener en cuenta también el golpe de ariete que se pueda producir. La presión creada por este golpe de ariete ha de sumarse a la máxima de trabajo para comprobar que el tubo soporta esta presión.

El golpe de ariete viene dado por :

$$h = \frac{av}{g}$$

Donde,

h = presión creada por el golpe de ariete, m

v = velocidad fluido, m/s = 1,774006 m/s

a = velocidad onda de presión, m/s

g = aceleración de la gravedad, m/s²

A su vez, la velocidad de la onda de presión viene dada por :

$$a = \frac{1.420}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} \cdot \frac{\phi_{\text{int}}}{e}}}$$

Donde,

K = módulo de compresión del agua = 20.600 kg/cm²

E = módulo de elasticidad del material de la tubería = 28.100 kg/cm² para el PVC

ϕ_{int} = diámetro interior tubería, mm

e = espesor de pared, mm

$$a = \frac{1.420}{\sqrt{1 + \frac{20.600}{28.100} \cdot \frac{361,3}{21,4}}} = 388,25 \text{ m/s}$$

Por lo que la presión creada por el golpe de ariete es

$$h = \frac{388,247905 \cdot 1,774006}{9,81} = 70,281034 \text{ m} = 7,20 \text{ kg/cm}^2$$

Por tanto, la presión máxima a la que se va a ver sometido el tubo, incluido el golpe de airete es:

$$P_{\text{máxima incluido golpe de ariete}} = 7,203806 + 3,9975 \text{ kg/cm}^2 = 11,20 \text{ kg/cm}^2.$$

Por tanto el tubo aguanta perfectamente la presión de la línea y la presión producida al cerrar las válvulas bruscamente. Sin embargo, las bridas son clase 150, lo que significa que pueden soportar una presión máxima a temperatura ambiente de $10,20 \text{ kg/cm}^2$, por lo que se recomienda no cerrar las válvulas en menos tiempo del tiempo crítico, que se calcula con :

$$T = \frac{2L}{a}$$

Donde,

T = tiempo crítico, s

L = longitud de la tubería, m = aproximadamente 1.800 m

a = velocidad de la onda de presión, m/s = 388,25 m/s

$$T = \frac{2 \cdot 1.800}{388,247905} = 9,3 \text{ s.}$$

Se recomienda no cerrar nunca las válvulas en un tiempo menor a este tiempo. Lo mismo puede decirse con respecto a la parada de las bombas. Al llevar incorporado un variador de frecuencia se pueden programar para arrancar y apagarse lentamente.

ANEXO III. CÁLCULO BOMBA NECESARIA PRETRATAMIENTO Y PRESIONES EN LAS TUBERÍAS DEL PRETRATAMIENTO

Para determinar la bomba necesaria se aplica Bernouilli entre la succión de la bomba del pretratamiento(1) y la entrada al recuperador de energía, que requiere una una presión mínima de entrada de 2 barg. Se toma una presión a la entrada del recuperador de 2,2 barg. La diferencia de alturas que pueda haber entre la bomba del pretratamiento y el recuperador va a ser despreciable.

La velocidad de aspiración recomendada es como máximo 1 m/s. Nuestro caudal de diseño es el caudal medio diario aumentado un 10% para cuando haya que recuperar el tiempo perdido tras una avería. Estamos en condiciones de calcular el diámetro nominal de la tubería de aspiración:

$$S \geq \frac{Q}{v} \Rightarrow S \geq \frac{0,181878307m^3 / s}{1} = 0,18 m^2 \Rightarrow \phi_{int} \geq 0,48 m$$

⇒ El diámetro nominal mínimo ha de ser 24 “

⇒ Tubería aspiración : PVC diámetro nominal 24” en principio cédula 80.

$$\phi_{ext} = 609,6 \text{ mm}$$

$$\phi_{int} = 544,0 \text{ mm}$$

$$e_{min} = 30,9 \text{ mm}$$

$$\text{Presión máxima a } 23^{\circ}\text{C} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

Con lo que la velocidad del agua en esta zona es :

$$v = \frac{0,181878307m^3 / s}{0,232428m^2} = 0,78 \text{ m/s}$$

Ahora se calcula el diámetro de las tuberías de impulsión de esta zona. En impulsión, la velocidad máxima recomendada es de dos metros por segundo.

$$S \geq \frac{Q}{v} \Rightarrow S \geq \frac{0,181878307m^3 / s}{2} = 0,09 m^2 \Rightarrow \phi_{int} \geq 0,34 m$$

⇒ El diámetro nominal mínimo ha de ser 16 “

⇒ Tubería impulsión : PVC diámetro nominal 16" en principio cédula 80.

$$\phi_{ext} = 406,4 \text{ mm}$$

$$\phi_{int} = 361,3 \text{ mm}$$

$$e_{min} = 21,4 \text{ mm}$$

$$\text{Presión máxima a } 23^{\circ}\text{C} = 15 \text{ kg/cm}^2$$

Aplicando Bernouilli entre la succión de la bomba de pretratamiento y la entrada al recuperador de energía:

$$\frac{101.325}{1.025} + \frac{0,782516^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{220.000 + 101.325}{1.025} + \frac{0,914352^2}{2} + \sum h_f$$

$$v_2 = \frac{0,05911044974 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,2869}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,914352 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow \eta \cdot W_p = 214,746000 + \sum h_f$$

Se utiliza el plano correspondiente para ir calculando las pérdidas tramo a tramo.

$$\begin{aligned} \sum h_f = & h_{ftubo16"(3,613m)} + h_{fretención16"} + h_{fcodo16"} + h_{ftubo16"(4,525m)} + h_{fvalvulariposa16"} + h_{fTé90"(16")} + \\ & h_{ftubo16"(12,898m)} + h_{fTé16"(90°)} + h_{fducción16-10"} + h_{ftubo10"(1,2055m)} + h_{fTé(10"-nodesviado)} + h_{ftubo10"(1,2055m)} + h_{fTé(10"-nodesviado)} \\ & h_{ftubo10"(1,2055m)} + h_{fcodo10"} + h_{fducción(10-6")} + h_{ftubo6"(1,45m)} + h_{fmariposa6"} + h_{fcodo6"} + \\ & h_{ffiltro} + h_{fcodo6"} + h_{fmariposa6"} + h_{ftubo6"(1,45m)} + h_{faumento(6-10")} + h_{fcodo10"} + \\ & h_{ftubo10"(1,2055m)} + h_{fTé(10"-nodesviado)} + h_{ftubo10"(1,2055m)} + h_{fTé(10"-nodesviado)} + h_{ftubo10"(1,2055m)} + \\ & h_{faumento(10-16")} + h_{fTé(16"-90°)} + h_{ftubo16"(7,2260m)} + h_{fTé90"(16")} + h_{ftubo16"(1,8065m)} + h_{fTé16"(nodesviado)} + \\ & h_{ftubo16"(1,8065m)} + h_{fcodo16"} + h_{fducción16-12"} + h_{ftubo12"(2,869m)} + h_{fmariposa12"} + h_{fducción12-8"} + \end{aligned}$$

$$h_{fcodo\ 8''} + h_{festeriliz\ adorUV} + h_{fcodo\ 8''} + h_{faumento\ 8-12''} + h_{fmariposa\ 12''} + h_{fubo\ 12''(2,869\ m)} +$$

$$h_{faumento\ 12-16''} + h_{fcodo\ 16''} + h_{fubo\ 16''(1,8065\ m)} + h_{fTé\ 16''(nodesviado)} + h_{fubo\ 16''(1,8065\ m)} +$$

$$h_{fTé\ 16''(90^\circ)} + h_{fubo\ 16''(3,613\ m)} + 2h_{fcodo\ 16''} + h_{fubo\ 16''(22,875\ m)} + h_{fubo\ 16''(1,807\ m)} h_{fTé\ 16''(90^\circ)} +$$

$$+ h_{frecuccion\ 16-10''} + h_{fubo\ 10''(10,367\ m)} h_{fválvulaco\ ntrol\ 10''} +$$

$$h_{fcodo\ 10''} + h_{fubo\ 10''(2,411\ m)} + h_{fTé\ 10''(90^\circ)} + h_{fubo\ 10''(8,381\ m)} + h_{fválvulaco\ ntrol\ 10''}$$

$$+ h_{fcodo10''} + h_{fubo10''(2,411m)} + h_{faumento10-12''} + h_{fubo12''(15,782m)} + h_{fcodo90^\circ12''}$$

$$\cdot h_{fubol6''(3,613m)} = 4f \cdot \frac{3,613}{0,3613} \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,1818783069m^3/s}{\left(\frac{0,3613}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1,774006\ m/s$$

$$Re = \frac{1.025 \cdot 1,774006 \cdot 0,3613}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 5,7 \cdot 10^5 \quad y \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,3613} \cong 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,013$$

$$\Rightarrow \cdot h_{fubol6''(3,613m)} = 0,20\ J/kg$$

$$\cdot h_{fretencion16''(ROVALVE)} = \frac{\left(\frac{1.025}{1.000}\right) \cdot 2.882,916667^2}{9.700^2} = 0,61\ J/kg$$

$$\cdot h_{fcodo16''} = 12 \cdot 0,013 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,25\ J/kg$$

$$\cdot h_{fubol6''(4,525m)} = 0,013 \cdot \frac{4,525}{0,3613} \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,26\ J/kg$$

$$\cdot h_{fmariposa16''(AQUISORIA)} = \frac{\left(\frac{1.025}{1.000}\right) \cdot 2.882,916667^2}{17.135^2} = 0,20\ J/kg$$

$$\cdot h_{fTé90^\circ(16'')} = 60 \cdot 0,013 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 1,23\ J/kg$$

$$\cdot h_{fubol6''(12,898m)} = 0,013 \cdot \frac{12,898}{0,3613} \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,73\ J/kg$$

$$\cdot h_{fT\dot{\epsilon}90^{\circ}(16'')(mediocaudal)} = 60 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0909391534m^3/s}{\left(\frac{0,3613}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,887003 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{1.025 \cdot 0,887003 \cdot 0,3613}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2,9 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\epsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,3613} \cong 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,0145$$

$$\Rightarrow \cdot h_{fT\dot{\epsilon}90^{\circ}(16'')(mediocaudal)} = 0,34 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{reducci3n}16''-10''(mediocaudal)} = k \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0909391534m^3/s}{\left(\frac{0,2411}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1,991896 \text{ m/s}$$

$$\theta = 19,164670 \leq 45^{\circ}$$

$$\Rightarrow k = \frac{0,8 \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{0,8 \cdot \sin(9,582335) \cdot \left(1 - \left(\frac{241,1}{361,3}\right)^2\right)}{\left(\frac{0,2411}{0,3613}\right)^4}$$

$$\Rightarrow \cdot h_{f\text{reducci3n}16''-10''(mediocaudal)} = 0,74 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{ubol}0''(1,2055m)(mediocaudal)} = 4f \cdot \frac{1,2055}{0,2411} \frac{1,991896^2}{2}$$

$$\text{Re} = \frac{1.025 \cdot 1,991896 \cdot 0,2411}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 4,3 \cdot 10^5$$

$$\text{y} \quad \frac{\epsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,2411} \cong 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,0135 \Rightarrow \cdot h_{f\text{ubol}0''(1,2055m)(mediocaudal)} = 0,13 \text{ J/kg}$$

$$\cdot h_{fT\dot{\epsilon}\text{nodesviado}10''(mediocaudal\text{menosuntercio})} = 20 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_2 = \frac{0,0606261023m^3/s}{\left(\frac{0,2411}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1,327930 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} = \frac{1.025 \cdot 1,327930 \cdot 0,2411}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2,9 \cdot 10^5$$

$$\text{y} \quad \frac{\epsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,3613} \cong 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,0145$$

$$\Rightarrow \cdot h_{fT\dot{\epsilon}90^{\circ}(10'')(mediocaudal)} = 0,26 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{ubol}0''(1,2055m)(mediocaudal)} = 0,0145 \cdot \frac{1,2055}{0,2411} \frac{1,327930^2}{2} = 0,06 \text{ J/kg}$$

$$\cdot h_{fTénodesviado10''(\text{unsexto decaudal})} = 20 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,03031305 m^3 / s}{\left(\frac{0,2411}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,663965 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1,025 \cdot 0,663965 \cdot 0,2411}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 1,4 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,2411} \cong 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,017$$

$$\Rightarrow \cdot h_{fTénodesviado10''(\text{unsexto decaudal})} = 0,07 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{tubo}10''(1,2055\text{m})} = 0,017 \cdot \frac{1,2055}{0,2411} \cdot \frac{0,663965^2}{2} = 0,02 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{codo}10''} = 12 \cdot 0,017 \cdot \frac{0,663965^2}{2} = 0,04 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{reducción}10''-6''(\text{interciodecaudal})} = k \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,03031305 m^3 / s}{\left(\frac{0,145}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1,835709 \text{ m/s}$$

$$\theta = 30,213150 \leq 45^\circ \Rightarrow k = \frac{0,8 \cdot \sin\left(\frac{30,21315}{2}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{145,0}{241,1}\right)^2\right)}{\left(\frac{145,0}{241,1}\right)^4}$$

$$\Rightarrow h_{f\text{reducción}10''-6''(\text{interciodecaudal})} = 1,71 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{tubo}6''(2,961\text{m})(\text{interciodecaudal})} = 4f \cdot \frac{2,961}{0,145} \cdot \frac{1,835709^2}{2}$$

$$\text{Re} = \frac{1,025 \cdot 1,835709 \cdot 0,145}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2,4 \cdot 10^5$$

$$\text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,145} \cong 0,00005 \Rightarrow 4f = 0,015 \Rightarrow h_{f\text{tubo}6''(2,961\text{m})(\text{interciodecaudal})} = 0,52 \text{ J/kg}$$

$$\cdot h_{f\text{mariposa}6''(\text{AQUISORIA})} = \frac{\left(\frac{1,025}{1,000}\right) \cdot 480,486111 (\text{gpm})^2}{2,990^2} = 0,0264693 \text{ psi} = 0,18 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{codo}6''} = 12 \cdot 0,015 \cdot \frac{1,835709^2}{2} = 0,303284 \text{ J/kg}$$

- h_{filtros} . Consideramos que siempre operan sucios todos, que es el peor caso posible. Esto representa una pérdida de 7 psi.

$$\Rightarrow \cdot h_{\text{filtros}} = 7 \text{ psi} = 47,10 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{\text{faumento } 6''-10''(\text{unterciodecaudal})} = k \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

$$\theta = 30,213150 \leq 45^\circ \Rightarrow k = \frac{2,6 \cdot \sin\left(\frac{30,21315}{2}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{145,0}{241,1}\right)^2\right)^2}{\left(\frac{145,0}{241,1}\right)^4}$$

$$\Rightarrow \cdot h_{\text{faumento } 6''-10''(\text{unterciodecaudal})} = 0,47 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{\text{faumento } 10''-16''(\text{mediodecaudal})} = k \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

$$\theta = 19,164670 \leq 45^\circ \Rightarrow k = \frac{2,6 \cdot \sin\left(\frac{19,164670}{2}\right) \cdot \left(1 - (0,667312)^2\right)^2}{(0,667312)^4}$$

$$\Rightarrow \cdot h_{\text{faumento } 10''-16''(\text{mediodecaudal})} = 0,671565 \cdot \frac{0,887003^2}{2} = 0,26 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fT \approx 90^\circ(16'')(\text{todoelcaudal})} = 60 \cdot 0,013 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 1,23 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{\text{tubo } 16''(7,226\text{m})\text{todoaual}}} = 0,013 \cdot \frac{7,226}{0,3613} \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,41 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fT \approx 90^\circ(16'')(\text{mediocaudal})} = 60 \cdot 0,0145 \cdot \frac{0,887003^2}{2} = 0,34 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{\text{tubo } 16''(1,8065\text{m})\text{mediocaudal}}} = 0,0145 \cdot \frac{1,8065}{0,3613} \cdot \frac{0,887003^2}{2} = 0,03 \text{ J/kg}$$

$$\cdot h_{fT \text{énodesviado } 16''(\text{unterciodelcaudal})} = 20 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0606261 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,3613}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,591335 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1,025 \cdot 0,591335 \cdot 0,3613}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,3613} \cong 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,0160$$

$$\Rightarrow \cdot h_{fTénodesviado16"(unterciodecaudal)} = 0,06 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{tubo16"(1,8065m)(unterciodecaudal)}} = 0,016 \cdot \frac{1,8065}{0,3613} \cdot \frac{0,591335^2}{2} = 0,01 \text{ J/kg}$$

$$\cdot h_{fTénodesviado16"(unsexto delcaudal)} = 20 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0303131 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,3613}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,295668 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1,025 \cdot 0,295668 \cdot 0,3613}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 1 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,3613} \cong 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,018$$

$$\Rightarrow \cdot h_{fTénodesviado16"(unsexto delcaudal)} = 20 \cdot 0,018 \cdot \frac{0,295668^2}{2} = 0,02 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{tubo16"(1,8065m)(unterciodecaudal)}} = 0,018 \cdot \frac{1,8065}{0,3613} \cdot \frac{0,295668^2}{2} = 0,00 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{codo16"(1/6caudal)}} = 12 \cdot 0,018 \cdot \frac{0,295668^2}{2} = 0,01 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f_{reducción16"-12"(1/6delcaudal)}} = k \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0303131 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,2869}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,468898 \text{ m/s}$$

$$\theta = 11,930875 \leq 45^\circ \Rightarrow k = \frac{0,8 \cdot \sin\left(\frac{11,930875}{2}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{286,9}{361,3}\right)^2\right)}{\left(\frac{286,9}{361,3}\right)^4} = 0,076984$$

$$\Rightarrow \cdot h_{f_{reducción16"-12"(uncuartodecaudal)}} = 0,01 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f_{tubo12"(2,869m)(1/6delcaudal)}} = 4f \cdot 10 \cdot \frac{0,468898^2}{2} \quad \text{Re} = \frac{1,025 \cdot 0,46889 \cdot 0,2869}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 1,2 \cdot 10^5$$

$$\text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,2869} \cong 0,000025 \Rightarrow 4f = 0,017 \Rightarrow \cdot h_{f_{tubo12"(2,869m)(1/6delcaudal)}} = 0,02 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fmariposa12''(AQUISORIA)} = \frac{\left(\frac{1.025}{1.000}\right) \cdot 480,486111(gpm)^2}{12.650^2} = 0,00147878 \text{ psi} = 0,01 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{reducción}12''-8''(1/6\text{delcaudal})} = k \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0303131m^3 / s}{\left(\frac{0,1922}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1,044798 \text{ m/s}$$

$$\theta = 26,312653 \leq 45^\circ \Rightarrow k = \frac{0,8 \cdot 0,227609 \cdot (1 - 0,669920^2)}{0,669920^4} = 0,498314$$

$$\Rightarrow \cdot h_{f\text{reducción}12''-8''(\text{uncuartodecaudal})} = 0,27 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{codo}8''(1/6\text{delcaudal})} = 12 \cdot 4f \cdot \frac{1,044798^2}{2} \quad \text{Re} = \frac{1.025 \cdot 1,567199 \cdot 0,1922}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 1,8 \cdot 10^5$$

$$\text{y } \frac{\varepsilon}{D} \cong 0,000035 \Rightarrow 4f = 0,016 \Rightarrow h_{f\text{codo}8''(1/4\text{caudal})} = 0,10 \text{ J/kg}$$

- $h_{\text{festerilizadorUV}}$. Consultando con el fabricante se tiene una pérdida de carga de cómo máximo 3 pies.

$$\Rightarrow h_{\text{festerilizadorUV}} = 3\text{ft} = 8,96 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{aument}8''-12''(\text{uncuartodecaudal})} = k \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

$$\theta = 26,312653 \leq 45^\circ \Rightarrow k = \frac{2,6 \cdot \sin \frac{26,312653}{2} \cdot (1 - 0,669920^2)^2}{0,669920^4} = 0,89$$

$$\Rightarrow h_{f\text{aument}8''-12''(\text{uncuartodecaudal})} = 0,892688 \frac{0,703347^2}{2} = 0,22 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{aument}12''-16''(\text{uncuartodecaudal})} = k \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

$$\Rightarrow k = \frac{2,6 \cdot \sin \frac{11,930875}{2} \cdot (1 - 0,794077^2)^2}{0,794077^4} = 0,092757$$

$$\Rightarrow h_{f\text{aument}12''-16''(\text{uncuartodecaudal})} = 0,092757 \cdot \frac{0,443502^2}{2} = 0,009122 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fTénodesviado16''(\text{mediodecaudal})} = 20 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,090939153m^3 / s}{\left(\frac{0,3613}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,887003 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow h_{fTénodesviado16''(\text{mediodecaudal})} = 20 \cdot 0,0145 \cdot \frac{0,887003^2}{2} = 0,11 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{tubo}16''(1,8065m)(\text{mediocaudal})} = 0,03 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fTé90''(16''(\text{todocaudal}))} = 60 \cdot 0,013 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 1,23 \text{ J/kg}$$

$$- \cdot h_{f\text{tubo}16''(3,613m)(\text{todoelcaudal})} = 0,013 \cdot 10 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,20 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{codo}16''} = 12 \cdot 0,013 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,25 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{tubo}16''(22,875m)} = 0,013 \cdot \frac{22,875}{0,3613} \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 1,30 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{tubo}16''(1,807m)} = 0,013 \cdot 5 \cdot \frac{1,774006^2}{2} = 0,10 \text{ J/kg}$$

$$- - h_{fTe16''(90''\text{mediocaudal})} = 60 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,09093915}{\left(\frac{0,3613}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,887003 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow \text{Re} = \frac{1.025 \cdot 0,887003 \cdot 0,3613}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2,9 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,0145 \Rightarrow$$

$$h_{fTe16''(90''\text{mediocaudal})} = 60 \cdot 0,0145 \cdot \frac{0,887003^2}{2} = 0,34 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{reducción}16''-10''(\text{mediocaudal})} = 0,74 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{tubo}10''(10,367m)} = 0,0135 \cdot \frac{10,367}{0,2411} \cdot \frac{1,991896^2}{2} = 1,15 \text{ J/kg}$$

- $h_{f\text{válvula de control}10''(\text{mediocaudal})}$. Se elige válvula de bola de la empresa KTM, modelo V Control Ball Valve (Full Port) de 10''. Suponemos que la regulación máxima

necesaria se corresponde con un 70% de apertura. C_v vale en estas condiciones 1.820.

⇒

$$- h_{fvalvulacontrol10''(KTM)(mediocaudal)} = \frac{\left(\frac{1.025}{1.000}\right) \cdot 1.441,458333(gpm)^2}{1.820^2} = 0,642962 \text{ psi} = 4,33 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fcodol0''(1/2caudal)} = 12 \cdot 4f \cdot \frac{1,991896^2}{2} \quad \text{Re} = \frac{1.025 \cdot 1,991896 \cdot 0,2411}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 4,3 \cdot 10^5$$

$$\text{y } \frac{\varepsilon}{D} \cong 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,014 \Rightarrow h_{fcodol0''(1/2caudal)} = 0,333283 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubol0''(2,411m)} = 0,014 \cdot 10 \cdot \frac{1,991896^2}{2} = 0,28 \text{ J/kg}$$

$$\cdot h_{fT\dot{\varepsilon}90''} = 60 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0591104497m^3/s}{\left(\frac{0,2411}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 1,294732 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1.025 \cdot 1,294732 \cdot 0,2411}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2,8 \cdot 10^5 \quad \text{y } \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,2411} \cong 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,015$$

$$\Rightarrow \cdot h_{fT\dot{\varepsilon}90''} = 0,75 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubol0''(8,381m)} = 0,015 \cdot \frac{8,381}{0,2411} \cdot \frac{1,294732^2}{2} = 0,44 \text{ J/kg}$$

- $h_{fvalvuladecontrol10''(mediocaudal)}$. Se elige válvula de bola de la empresa KTM, modelo V Control Ball Valve (Full Port) de 10". Suponemos que la regulación máxima necesaria se corresponde con un 70% de apertura. C_v vale en estas condiciones 1.820.

⇒

$$- h_{fvalvulacontrol10''(KTM)(mediocaudal)} = \frac{\left(\frac{1.025}{1.000}\right) \cdot 936,947916(gpm)^2}{1.820^2} = 0,271651 \text{ psi} = 1,83 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fcodol0''} = 12 \cdot 0,015 \cdot \frac{1,294732^2}{2} = 0,15 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubo10''(2,411m)} = 0,015 \cdot 10 \cdot \frac{1,294732^2}{2} = 0,13 \text{ J/kg}$$

$$- h_{faumento10-12''} \cdot \theta = 12,872412 \leq 45^\circ \quad y \quad \beta = 0,840362$$

$$\Rightarrow k = \frac{2,6 \cdot \sin \frac{12,872412}{2} \cdot (1 - 0,840362^2)^2}{0,840362^4} = 0,050440$$

$$v_2 = \frac{0,05911045 m^3 / s}{\left(\frac{0,2869}{2}\right)^2 \cdot \pi} = 0,914352 \text{ m/s} \Rightarrow h_{faumento10-12''} = 0,02 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubo12''(15,782m)} = 4f \cdot \frac{15,782}{0,2869} \cdot \frac{0,914352^2}{2} \cdot \text{Re} = \frac{1,025 \cdot 0,914352 \cdot 0,2869}{1,15 \cdot 10^{-3}} = 2,3 \cdot 10^5$$

$$y \frac{\varepsilon}{D} = 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,0155 \Rightarrow h_{ftubo12''(15,782m)} = 0,36 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fcodo90^\circ 12''} = 12 \cdot 0,0155 \cdot \frac{0,914352^2}{2} = 0,08 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow \sum h_f = 83,73 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow \eta \cdot W_p = 214,832757 + 83,731304 = 298,56 \text{ J/kg} = 30,47 \text{ m}$$

Esta es la presión comunicada al fluido. La presión en estas tuberías es la proporcionada por la bomba más la que el fluido llevaba antes de atravesar la bomba. Pero la presión que llevaba el fluido es la atmosférica, por lo que no hay que añadirla.

La presión de prueba hidráulica es : $P_{prueba} = 1,5 P_{diseño} = 45,70 \text{ m}$

A la presión normal de funcionamiento hemos de sumarle la presión que puede originarse tras el cierre brusco de alguna válvula, es decir, el golpe de ariete.

Viene dado por:

$$h = \frac{a \cdot v}{g}$$

Como v se toma la máxima que se da en este tramo de circuito, es decir, $v = 1,99$ m/s. A su vez :

$$a = \frac{1,420}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} \cdot \frac{\phi_{\text{int}}}{e}}}$$

Como diámetro interno tomamos el menor (peor caso) que se corresponde con los tramos de seis pulgadas.

$$\phi_{\text{int}} = 145 \text{ mm}$$

$$e = 11 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow a = 434,85 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow h_{\text{ariete}} = 88,38 \text{ m}$$

Por tanto, la presión total máxima, incluido el golpe de ariete es :

$$h_{\text{máx}} = 118,85 \text{ m} = 12,182192 \text{ kg/cm}^2 = 11,94 \text{ bar}$$

La menor presión que soportan los distintos tubos de PVC de cédula 80 (bridas clase 300) es de 15 kg/cm^2 . Por lo tanto, aguantarían incluso un golpe de ariete. Sin embargo, se evitará cerrar las válvulas y parar las bombas en un tiempo menor al tiempo crítico.

$$T = \frac{2L}{a} = \frac{2 \cdot 87,995943 \cdot 1,1}{434,848181} = 0,45 \text{ s}$$

Se ha tomado como longitud, la suma de los tramos rectos y se ha aumentado un 10% para tener en cuenta codos, equipos, etc.

Si cerramos las válvulas en un tiempo mayor o igual al calculado no habrá golpe de ariete y los tubos trabajarán con un factor de seguridad de :

$$F_{\text{seguridad}} = \frac{15}{3,423042} = 4,38$$

La mínima presión que ha de proporcionar la bomba es : $30,47 \text{ m}$, y el caudal que ha de tratar es de $654,76 \text{ m}^3/\text{h}$.

⇒ Se elige bomba centrífuga de la empresa KSB modelo ETABLOC MN 11 R250-500 recomendada para impulsar agua de mar, con las siguientes características:

- Diámetro rodete = 520 mm
- Caudal máximo : 900 m³/h
- 960 rpm
- Rendimiento = 85%
- $h_{\max} = 40$ m
- h en el punto de trabajo : 34 m
- NPSH = 2,62 m
- Potencia requerida en el punto de trabajo = 65,48 kw

ANEXO IV. CÁLCULO DÓISIS ÁCIDO SULFÚRICO, CAL Y CLORURO DE CALCIO

El agua para consumo humano ha de cumplir los siguientes requisitos, según el RD 140/2003, de 7 de febrero :

- pH = 6,5-9,5
- $[Ca^{2+}] \geq 60$ ppm Ca
- $[HCO_3^-] \geq 30$ ppm HCO_3^-
- $[Cl^-] \leq 250$ ppm
- $[Na^+] \leq 200$ ppm
- $[SO_4^{2-}] \leq 250$ ppm
- Boro ≤ 1 ppm
- Conductividad $\leq 2.500 \mu S/cm$ a $20^\circ C$

- El agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante. El resultado de calcular el índice de Langelier debería estar comprendido entre +/-0,5

El agua permeada cumple con todos los requisitos excepto en cuanto a su alcalinidad, pH, contenido en calcio y agresividad. Es necesario corregir estos parámetros.

La agresividad del agua se suele medir con el índice de Langelier (LSI). Así, valores negativos del mismo indican un agua agresiva, con tendencia a disolver precipitados de carbonato cálcico. Valores positivos indican un agua incrustante, con tendencia a formar precipitados de carbonato cálcico. Un valor igual a cero indica un agua equilibrada en cuanto a carbonato cálcico, ni disuelve ni forma precipitados. Interesa un agua ligeramente incrustante, tanto para el consumo humano como para la conservación de las tuberías. Tomaremos un índice de Langelier igual a $LSI = 0,2$

Para corregir el agua se añade ácido sulfúrico al agua bruta para formar dióxido de carbono a partir de la alcalinidad. De esta forma el dióxido de carbono pasa sin impedimento a través de las membranas al tratarse de un gas disuelto. Al añadir cal al permeado, el dióxido de carbono vuelve a convertirse en alcalinidad, al mismo tiempo que aumentamos su contenido en calcio y su pH.

El índice de saturación de Langelier viene dado por :

$$LSI = pH - pH_s$$

,donde,

pH : pH del agua en cuestión

pH_s : pH de saturación o pH al cual el carbonato ni precipita ni se disuelve en esta agua

A su vez, el pH de saturación se calcula con la siguiente expresión :

$$pH_s = pCa + pAlc + C$$

, donde,

pCa = - log [Ca²⁺] expresado en mol/l de CaCO₃ equivalente

pAlc = - log [HCO₃⁻] expresado en mol/l de CaCO₃ equivalente

C : constante que depende de la temperatura y del contenido en sólidos disueltos totales.

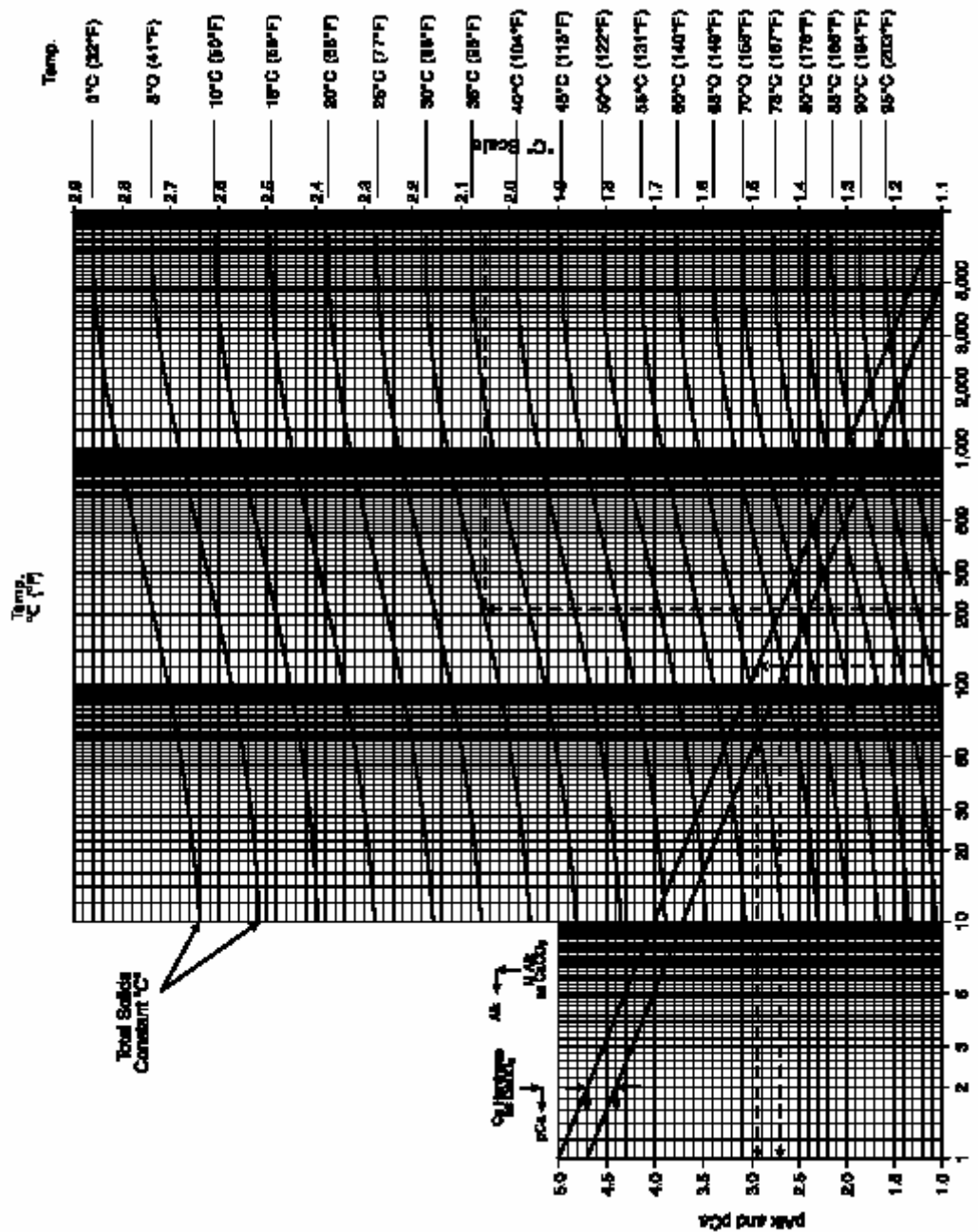
En nuestro caso :

$$- [Ca^{2+}] = 60 \text{ ppm Ca} \cdot \frac{2,5 \text{ ppm CaCO}_3}{1 \text{ ppm Ca}^{2+}} = 150 \text{ ppm CaCO}_3 = 1,498662 \cdot 10^{-3} \text{ M (Es el valor que debemos conseguir en el permeado)}$$

$$\Rightarrow pCa = 2,82$$

- pAlc, es la variable que dejamos sin especificar, la obtendremos.

Para una temperatura igual a 20°C y un contenido en sólidos disueltos totales de aproximadamente 250 ppm (el permeado tiene 137,62 ppm y se le ha de añadir cal, suponemos un valor final de 250 ppm), tenemos una valor para la constante C :



$$C = 2,26$$

Por lo tanto, el pH de saturación vale :

$$pH_s = 2,824296 + pAlc + 2,26$$

Si se busca un LSI = 0,2

$$0,2 = pH - 5,084296 - pAlc$$

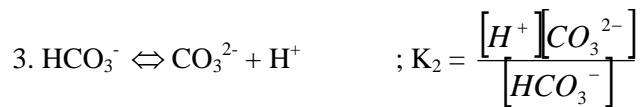
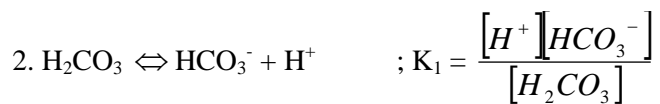
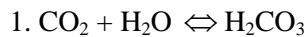
Se toma un pH máximo en el agua producto de 8,5, ya que el máximo legal está en 9,5 y se debe dar cierto margen de seguridad. Así, ya se puede determinar el contenido en alcalinidad que va a tener el producto.

$$pAlc = 3,22$$

$$\Rightarrow [HCO_3^-] = 6,085496 \cdot 10^{-4} \text{ M CaCO}_3 = 1,217354 \cdot 10^{-3} \text{ M HCO}_3^- = 74,28 \text{ ppm}$$

Cantidad mayor de los 30 ppm exigidos.

Con este valor y el pH que ha de tener el producto podemos calcular la cantidad de carbono total que ha de haber en el permeado. Esto se hace por medio de las constantes de disociación del ácido carbónico.



En realidad, la primera constante de disociación que suele aparecer en la bibliografía engloba a los dos primeros equilibrios en la constante de disociación del ácido carbónico. A la temperatura de 20 °C estas constantes y el producto iónico del agua valen :

$$- K_1 = 4,140296 \cdot 10^{-7}$$

$$- K_2 = 3,961606 \cdot 10^{-11}$$

$$- k_w = 6,188125 \cdot 10^{-15}$$

La concentración de carbono total es igual a:

$$C_{\text{total}} = [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [H_2CO_3]$$

$[H_2CO_3]$ engloba al ácido carbónico y al dióxido de carbono disuelto. A efectos de cálculo no distinguimos entre uno y otro pues uno por ser gas y otro por ser un compuesto sin carga atraviesan sin problemas las membranas. De aquí en

adelante cuando se hable de dióxido de carbono se estará refiriendo a la suma de dióxido de carbono y ácido carbónico. De todas formas, sólo un 0,2-1% está como ácido carbónico, la mayoría es dióxido de carbono solvatado.

$$C_{\text{total}} = [\text{HCO}_3^-] + \frac{k_2 [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} + \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{k_1} = [\text{HCO}_3^-] \cdot \left(1 + \frac{k_2}{[\text{H}^+]} + \frac{[\text{H}^+]}{k_1} \right)$$

⇒

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{C_{\text{total}} \cdot k_1 \cdot [\text{H}^+]}{k_1 k_2 + k_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{C_{\text{total}} \cdot k_1 k_2}{k_1 k_2 + k_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

$$[\text{CO}_2] = \frac{C_{\text{total}} \cdot [\text{H}^+]^2}{k_1 k_2 + k_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

Si pH = 8,5 ⇒ $[\text{H}^+] = 3,162278 \cdot 10^{-9}$ M, y $[\text{HCO}_3^-] = 74,8$ ppm = $1,217354 \cdot 10^{-3}$ M ⇒

$$C_{\text{total}} = \frac{[\text{HCO}_3^-] (k_1 k_2 + k_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2)}{k_1 [\text{H}^+]}$$

$$1,217354 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,162278 \cdot 10^{-9} + (3,162278 \cdot 10^{-9})^2}{4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,162278 \cdot 10^{-9}} \right)$$

$$C_{\text{total}} = 1,24 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Este es el contenido en carbono total que ha de haber en el permeado y que ha de proceder del dióxido de carbono formado al acidificar. Se asume que el dióxido de carbono se distribuye por igual forma en permeado y rechazo, tienen la misma concentración que el agua bruta acidificada.

Por tanto, es necesario formar $1,24 \cdot 10^{-3}$ M de dióxido de carbono. Podemos ya calcular el pH al que debemos llevar el agua bruta para formar $1,24 \cdot 10^{-3}$ M de dióxido de carbono.

$$[\text{CO}_2] = \frac{C_{\text{total}} \cdot [\text{H}^+]^2}{k_1 k_2 + k_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

En este caso, el contenido en carbono total es el del agua bruta. Se calcula con el pH inicial del agua y su alcalinidad:

$$\text{pH inicial} = 7,6 \Rightarrow [\text{H}^+] = 2,511886 \cdot 10^{-8} \text{ M}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 146 \text{ ppm} = 2,392765 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

\Rightarrow

$$C_{\text{Ctotalaguabruta}} = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot k_1 k_2 + k_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}{k_1 [\text{H}^+]} =$$

$$= \frac{2,392765 \cdot 10^{-3} \cdot (1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 2,511886 \cdot 10^{-8} + (2,511886 \cdot 10^{-8})^2)}{4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 2,511886 \cdot 10^{-8}}$$

$$\Rightarrow C_{\text{total agua bruta}} = 2,54 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

El pH al que debemos llevar el agua bruta viene dado por :

$$[\text{CO}_2] = \frac{C_{\text{Ctotal}} \cdot [\text{H}^+]^2}{k_1 k_2 + k_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

\Rightarrow

$$1,241903 \cdot 10^{-3} = \frac{2,541706 \cdot 10^{-3} \cdot [\text{H}^+]^2}{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

\Rightarrow

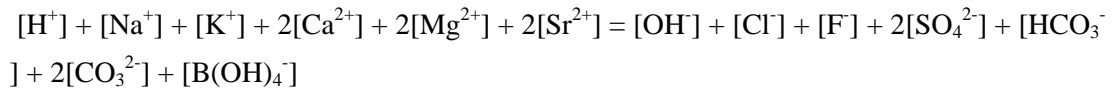
$$1,299803 \cdot 10^{-3} \cdot [\text{H}^+]^2 - 5,141846 \cdot 10^{-10} \cdot [\text{H}^+] - 2,036997 \cdot 10^{-20} = 0$$

Ecuación de segundo grado cuya solución es:

$$[\text{H}^+] = 3,955469 \cdot 10^{-7} \text{ M} \Rightarrow \text{pH}_{\text{agua acidificada}} = 6,40$$

Debemos llevar el pH del agua bruta de 7,6 a 6,40. Para ello añadiremos ácido sulfúrico al 98%. Para calcular la dosis a aplicar nos basamos en el hecho de que la electroneutralidad debe conservarse al añadir el ácido, es decir :

$$\text{Carga total cationes} = \text{Carga total aniones}$$



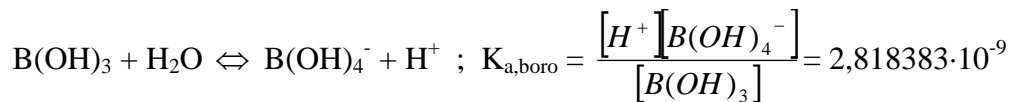
Nota: la mayoría de la sílice se encuentra como H_4SiO_4 , en parte disuelta y en parte coloidal y sólo una muy pequeña fracción se encuentra como H_3SiO_4^- , por lo que la despreciamos en estos balances.

$$[\text{OH}^-] = \frac{6,188125 \cdot 10^{-15}}{3,955469 \cdot 10^{-7}} = 1,564448 \cdot 10^{-8} \text{ M}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{2,541706 \cdot 10^{-3} \cdot 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,955469 \cdot 10^{-7}}{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,955469 \cdot 10^{-7} + (3,955469 \cdot 10^{-7})^2} = 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{2,541706 \cdot 10^{-3} \cdot 1,640222 \cdot 10^{-17}}{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,955469 \cdot 10^{-7} + (3,955469 \cdot 10^{-7})^2} = 1,30 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

El boro se encuentra en el agua de mar participando en el siguiente equilibrio :



Igual que hicimos para el ácido carbónico :

$$C_{\text{total boro}} = [\text{B}(\text{OH})_3] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] = [\text{B}(\text{OH})_3] \left(1 + \frac{K_{a,\text{boro}}}{[\text{H}^+]} \right)$$

$$\Rightarrow [\text{B}(\text{OH})_3] = \frac{C_{\text{total boro}} \cdot [\text{H}^+]}{K_{a,\text{boro}} + [\text{H}^+]} \quad \text{y} \quad [\text{B}(\text{OH})_4^-] = \frac{C_{\text{total boro}} \cdot K_{a,\text{boro}}}{K_{a,\text{boro}} + [\text{H}^+]}$$

El contenido total en boro es de 5,2 ppm, es decir : $C_{\text{total boro}} = 4,81 \cdot 10^{-4} \text{ M}$

$$\Rightarrow [\text{B}(\text{OH})_4^-] = \frac{4,809916 \cdot 10^{-4} \cdot 2,818383 \cdot 10^{-9}}{2,818383 \cdot 10^{-9} + 3,955469 \cdot 10^{-7}} = 3,40 \cdot 10^{-6} \text{ M}$$

Introduciendo estos datos y los del permeado en el balance de cargas :

$$3,955469 \cdot 10^{-7} + 5,115222 \cdot 10^{-1} + 1,017851 \cdot 10^{-2} + 2,125749 \cdot 10^{-2} + 1,188713 \cdot 10^{-1} + 3,035837 \cdot 10^{-4} = \\ 1,564448 \cdot 10^{-8} + 6,019237 \cdot 10^{-1} + 4,737241 \cdot 10^{-5} + 2[\text{SO}_4^{2-}] + 1,299800 \cdot 10^{-3} + 2,603634 \cdot 10^{-7} + \\ 3,402954 \cdot 10^{-6}$$

$$\Rightarrow [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{agua acidificada}} = 0,03 \text{ M}$$

La cantidad de sulfatos en el agua acidifica es la suma del contenido inicial en sulfatos y el añadido en forma de ácido sulfúrico. Por tanto, la cantidad de sulfato añadido es:

$$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{añadido H}_2\text{SO}_4} = 0,0294295 - 0,028856 = 0,0005735 \text{ M} = 55,09 \text{ ppm}$$

Cada 1 ppm de ácido sulfúrico añadido produce 1 ppm de sulfatos, por lo que el valor anterior es la dosis de ácido sulfúrico al 100% que habría que añadir.

$$\text{Dosis H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 98\% = 55,091328 / 0,98 = 56,22 \text{ ppm}$$

Tomaremos una dosis de diseño de 62 ppm (10% seguridad) de ácido sulfúrico al 98% para las posibles variaciones que se puedan dar en el agua bruta.

No hay problema de que se formen burbujas de dióxido de carbono. Su solubilidad a 20°C y 1 bar es de 88 ml CO₂/l agua = 161 ppm CO₂.

Ya tenemos el permeado con la cantidad adecuada de dióxido de carbono. Ahora calcularemos cuanto cal hemos de añadir para llegar a un contenido en bicarbonato de 74,28 y un pH_{producto} = 8,5. Igual que antes, al añadir cal se debe conservar la electroneutralidad.

$$3,162278 \cdot 10^{-9} + 2,088752 \cdot 10^{-3} + 4,756790 \cdot 10^{-5} + 1,143468 \cdot 10^{-4} + 2[\text{Ca}^{2+}] + 2,282584 \cdot 10^{-7} = \\ \frac{1,956857 \cdot 10^{-6} + 2,237892 \cdot 10^{-3} + 0 + 2,144457 \cdot 10^{-5} + \\ 1,241903 \cdot 10^{-3} \cdot 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,241510 \cdot 10^{-9}}{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,162278 \cdot 10^{-9} + (3,162278 \cdot 10^{-9})^2} + \frac{7,307372 \cdot 10^{-5} \cdot 2,818383 \cdot 10^{-9}}{2,818383 \cdot 10^{-9} + 3,162278 \cdot 10^{-9}}$$

Resolviendo esta ecuación obtenemos:

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{producto}} = 6,463436 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{añadido comocal}} = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{producto}} - [\text{Ca}^{2+}]_{\text{permeado}} - [\text{Mg}^{2+}]_{\text{permeado}}$$

$$\Rightarrow [\text{Ca}^{2+}]_{\text{añadido comocal}} = 6,014334 \cdot 10^{-4} \text{ M} = 24,11 \text{ ppm.}$$

$$\text{Dosis de Ca(OH)}_2 = 6,014334 \cdot 10^{-4} \frac{74,09474 \text{ g}}{1 \text{ mol Ca(OH)}_2} = 44,56 \text{ ppm cal pura.}$$

Las concentraciones comerciales oscilan entre 85-99%. Se elige $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 95%, grado alimenticio. Por tanto, la dosis de reactivo comercial ha de ser:

$$\text{Dosis } \text{Ca}(\text{OH})_2(95\%) = 46,91 \text{ ppm}$$

Se toma una dosis de diseño de 52 ppm (10% de seguridad) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 95%.

Para llegar a las 60 ppm de calcio que exige la ley tenemos que añadir cloruro de calcio. El contenido en calcio antes de añadir cloruro de calcio es 25,91 + 1,39 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) Seguir añadiendo más cal nos llevaría a pH demasiado elevados.

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{añadido como CaCl}_2} + [\text{Ca}^{2+}]_{\text{trasañadir Ca}(\text{OH})_2} = 60 \text{ ppm}$$

$$\Rightarrow [\text{Ca}^{2+}]_{\text{añadido como CaCl}_2} = 60 - 27,295451 = 32,704549 \text{ ppm} = 8,159817 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$\Rightarrow \text{Dosis } \text{CaCl}_2 \text{ (al 100\%)} = 8,159817 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol} \cdot 110,986 \text{ g}}{\text{l} \cdot 1 \text{ mol CaCl}_2} = 90,56 \text{ ppm}$$

Tomamos CaCl_2 , grado alimenticio con una pureza del 94%. Por tanto, la dosis de este producto ha de ser :

$$\text{Dosis } \text{CaCl}_2 \text{ (94\%)} = 96,34 \text{ ppm}$$

Tomaremos una dosis de diseño de 106 ppm de CaCl_2 (94%). (10% de seguridad)

De todas formas, sería posible prescindir de parte de la dosificación de cloruro de calcio, si el agua producto se mezcla con otras aguas del abastecimiento público que tengan un contenido elevado en calcio.

La composición del agua antes de añadir el hipoclorito sódico es la siguiente :

$$[\text{K}^+] = 1,86 \text{ ppm}$$

$$[\text{Na}^+] = 48,02 \text{ ppm}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = 1,39 \text{ ppm}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 58,61 \text{ ppm}$$

$$[\text{Sr}^{2+}] = 0,01 \text{ ppm}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 74,28 \text{ ppm}$$

$$\Rightarrow 1,217354 \cdot 10^{-3} = \frac{C_{\text{carbonototalpermeado}} \cdot 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,162278 \cdot 10^{-9}}{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,162278 \cdot 10^{-9} + (3,162278 \cdot 10^{-9})^2}$$

$$\Rightarrow C_{\text{carbonototalpermeado}} = 1,241903 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{1,241903 \cdot 10^{-3} \cdot 1,640222 \cdot 10^{-17}}{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,162278 \cdot 10^{-9} + (3,162278 \cdot 10^{-9})^2} = 1,525065 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{M} = 0,92 \text{ ppm}$$

$$[\text{CO}_2] = \frac{1,241903 \cdot 10^{-3} \cdot 3,162278^9}{1,640222 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} \cdot 3,162278 \cdot 10^{-9} + (3,162278 \cdot 10^{-9})^2} = 9,297918 \cdot 10^{-6} \text{ M}$$

$$= 0,41 \text{ ppm}$$

$$[\text{Cl}^-] = 79,34 + 2 \cdot 90,562550 \frac{90,562550 \text{ ppm CaCl}_2}{110,986} \cdot 35,453 = 108,27 \text{ ppm}$$

$$[\text{F}^-] = 0 \text{ ppm}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 1,03 \text{ ppm}$$

$$[\text{Boro}] = 0,79 \text{ ppm}$$

$$[\text{SiO}_2] = 0,01 \text{ ppm}$$

$$\text{SDT} = 295,19 \text{ ppm (se excluye al CO}_2\text{)}$$

$$\text{pH} = 8,5$$

Supusimos un contenido en SDT de 250 ppm. C valdría para SDT = 295,19 ppm C=2,28, el que se usó era C=2,26. La diferencia va a ser mínima. No es necesario volver a repetir los cálculos con este SDT final.

ANEXO V. DOSIFICACIÓN DEL ÁCIDO SULFÚRICO

El volumen útil del tanque de ácido sulfúrico ha de ser $3,37 \text{ m}^3$. Asumiendo una relación altura/diámetro igual a 1,5, podemos calcular el diámetro interno y altura útil que ha de tener el recipiente. Se toma como base para el diseño la norma ASME Boiler Pressure Vessel y ASME B31.3-2002 (Pressure Piping)

$$V = 3 \cdot \pi \cdot R^3 \Rightarrow \phi_{\text{int}} = 1.419,6 \text{ mm} ; \text{ y } h_{\text{útil}} = 2.129,3 \text{ mm}$$

Se construirá en AISI 316L o superior.

$$\mu_{\text{ácidosulfúrico98\%}} (20^\circ \text{C}) = 0,027 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

El caudal de ácido es, aumentándolo un 10% para cuando el sistema tenga que recuperar el tiempo perdido tras una avería:

$$62 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 14.285714,286 \frac{\text{l}}{\text{d}} \cdot 1.1 = 974,285714 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \frac{\text{1l}}{1,84\text{kg}} = 529,503106 \frac{\text{l}}{\text{d}} = 0,53 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

ANEXO VI. COMPARACIÓN CLORACIÓN-DESINFECCIÓN ULTRAVIOLETA

La dosis típica de hipoclorito sódico en aguas de alimentación de plantas desaladoras es de 3 ppm. En la práctica se necesitan 3 ppm de metabisulfito de sodio por cada ppm de hipoclorito sódico. Hacemos el balance de materia para calcular cuanto volumen diario de solución comercial con 180g/l de NaClO necesitamos.

$$Q_{\text{aguamarina}} + Q_{\text{hipoclorito}} = Q_{\text{aguade sin fectada}}$$

$$Q_{\text{aguamarina}} C_{\text{hipoclorito en aguamarina}} + Q_{\text{hipoclorito}} C_{\text{hipoclorito comercial}} = Q_{\text{aguade sin fectada}} D_{\text{dosis hipoclorito}}$$

Sustituyendo tenemos :

$$14.285,714286 + Q_{\text{hipoclorito}} = Q_{\text{aguade sin fectada}}$$

$$Q_{\text{hipoclorito}} \cdot 180.000 \text{ ppm} = Q_{\text{aguade sin fectada}} \cdot 3 \text{ ppm}$$

Sistema de ecuaciones cuya solución es :

$$Q_{\text{hipoclorito}} = 0,238099 \text{ m}^3/\text{d} = 238,10 \text{ l/d}$$

Sabiendo que el coste de esta solución comercial de hipoclorito es de 0,23 €/l esto supone un coste diario de 55,01 €/d, lo que se traduce en 0.011 €/m³ de agua producto asignable a la cloración.

El metabisulfito es un sólido de pureza 98%. Son necesarios por tanto :

$$14.285,952385 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 9 \text{ g/m}^3 / 0,98 = 131,20 \text{ kg/d}$$

Sabiendo que el precio del metabisulfito sódico es de 0,34 €/kg, esto supone un coste diario de : 44,61 €/d. Lo que se traduce en un coste final de la cloración de 0,089 €/m³ de agua producto.

Por lo tanto, el coste final de operación de la cloración-decloración es de : 0,020 €/m³ de agua producto. A esto habría que añadir el coste de amortización de los tanques y bombas dosificadoras de ambos productos, así como el sistema de instrumentación y control asociado. Podemos suponer un coste final incrementando un 20% este valor, lo que supone 0,024 €/m³.

Los cuatro esterilizadores cuestan 136.260 € Cada uno tiene 36 lámparas con una vida de aproximadamente un año y un precio de 85€ cada una. Por lo tanto, el coste total a lo largo de la vida útil de la planta (25 años) es de :

$$136.260 + 36 \cdot 25 \cdot 6 \cdot 85 = 595.260 \text{ €}$$

Esto supone un coste de amortización de :

$$595.260 \text{ €} = 5.000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 365 \text{ d} \cdot 0,95 \cdot \frac{1 - (1,04)^{-25}}{0,04} \cdot \text{Coste amortización} (\text{€} / \text{m}^3)$$

$$\Rightarrow \text{Coste amortización} = 0,022 \text{ €m}^3$$

El consumo de las lámparas supone :

$$2.740 \frac{\text{w}}{\text{esterilizador}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{\text{d}} \cdot 6 \text{ esterilizadores} \cdot \frac{1 \text{ kw}}{1.000 \text{ w}} = 394,56 \text{ kwh} / \text{d}$$

Asumiendo un precio del kwh de 0,08 €kwh se traduce en un coste total de la esterilización ultravioleta de 0,028 €m³.

Como vemos, la esterilización no es mucho más cara que la cloración-decloración y por otro lado, como ya se explicó ofrece una serie de ventajas.

ANEXO VII. CÁLCULO UNIDADES ESTERILIZADOR NECESARIAS

La dosis media que han de recibir los microorganismos encontrada en la bibliografía es de unos 30.000 microwatios·s/cm² para una eliminación del 99,9% de los mismos. Sólo algunas esporas requieren dosis mayores. Esta dosis es el producto de la potencia de la radiación, el tiempo de exposición (o de retención en el esterilizador) dividido por el área expuesta.

La potencia de la radiación incidente se ve afectada por las cubiertas de cuarzo que protegen a las lámparas. Se considera el peor caso, es decir, que están incrustadas debido a las características del agua. Esto supone que absorben el 70% de la radiación incidente.

Sabemos que la potencia que irradian las lamparas es de 2.080 watos, que el esterilizador está diseñado para una eliminación del 99,9% de los microorganismos cuando el medio tiene una transmitancia del 85% (que se define como el cociente entre la radiación transmitida y la radiación incidente) y se trata un caudal de 181,69 m³/h y que la dosis que alcanza a los microorganismos es de 30.000 microwatios·s/cm² y que el volumen de las cámaras de esterilización suma 0,075 m³. El tiempo de retención es por tanto de:

$$T_{\text{retención}} = \frac{0,075m^3}{181,69 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3.600s}} = 1,49 \text{ segundos}$$

Podemos calcular el área expuesta a la radiación.

$$30.000 \frac{\mu w \cdot s}{cm^2} = 2.080w \frac{10^6 \mu w}{1w} 1,486s \cdot 0,85 \cdot 0,7 \frac{1}{\text{Área expuesta}(cm^2)}$$

$$\Rightarrow \text{Área expuesta} = 61.302 \text{ cm}^2$$

Para el agua de mar filtrada la transmitancia vale 0,53, y este es el valor que hemos de sustituir por el 0,85 para el que el esterilizador está diseñado. Así se obtendrá un nuevo tiempo de retención, lógicamente mayor, para conseguir los mismos resultados.

$$\Rightarrow T_{\text{retención}} = 61.302cm^2 \cdot 30.000 \frac{\mu w}{cm^2} \frac{1}{0,53 \cdot 0,7} \cdot \frac{1}{2.080w} \frac{1w}{10^6 \mu w} = 2,38 \text{ segundos.}$$

Por lo tanto, para tratar el caudal de alimentación, que en las peores condiciones es de $0,182 \text{ m}^3/\text{s}$, son necesarias las siguientes unidades :

$$0,181878 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 2,383 \frac{\text{unidad}}{0,075 \text{m}^3} = 5,78 \text{unidades}$$

Es decir son necesarias 6 unidades para tratar agua marina en lugar de agua dulce.

ANEXO VIII. CÁLCULO BAP Y BOOSTER NECESARIAS Y PRESIONES MÁXIMAS EN LA LÍNEA DE ALTA PRESIÓN

Primero se calcula la presión que ha de proporcionar la bomba de alta presión. Para ello, se ha de conocer el valor de la presión del agua en la succión de la bomba de alta presión. Se sabe que al recuperador de energía el agua llega con una presión de 2,2 bar. Para conocer la presión con que llega a la bomba de alta presión se añaden las pérdidas correspondientes al tramo desde la derivación al recuperador y se le restan las correspondientes al tramo derivación-succión de la bomba.

Las pérdidas del tramo derivación-recuperador son :

$$\sum h_f = h_{f_{codo12''}} + h_{f_{tubo12''(15,782m)}} + h_{f_{faumento10-12''}} + h_{f_{codo10''}} + h_{f_{tubo10''(2,411)}} + h_{f_{tubo10''(8,381m)}} +$$

$$h_{f_{válvulacontrol10''}} + h_{f_{TÉ10''(90^\circ)}}$$

La mayoría están ya calculadas en el apartado correspondiente a las tuberías del pretratamiento.

$$\sum h_{f_{añadir}} = 0,077752 + 0,356418 + 0,021085 + 0,150870 + 0,125725 + 0,473038 +$$

$$+ 1,827764 + 0,754349 = 3,79 \text{ J/kg}$$

Y las pérdidas que hay que restar son :

$$\sum h_{f_{arestar}} = h_{f_{TÉnodesvüdo}} + h_{f_{tubo10''(2,411)}} \quad v_2 = \frac{0,031828704}{\left(\frac{0,2411}{2}\right)^2 \pi} = 0,697164 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow \text{Re} = \frac{1,025 \cdot 0,697164 \cdot 0,2411}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 1,5 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,017$$

$$\Rightarrow \sum h_{f_{arestar}} = 20 \cdot 0,017 \cdot \frac{0,697164^2}{2} + 0,017 \cdot 10 \cdot \frac{0,697164^2}{2} = 0,12 \text{ J/kg}$$

Por tanto, la presión en la succión vale :

$$P_{\text{succión}} = 2,27 \text{ bar}$$

Ya estamos en condiciones de plantear la ecuación de Bernouilli entre la succión de la bomba de alta presión y la entrada a las membranas. A las membranas ha de llegar con una presión de 64,67 bar (58,79 bar incrementado un 10% para cuando operen sucias)

$$\frac{227.102,4}{1.025} + \frac{0,697164^2}{2} + \eta W_p = \frac{6.466.900}{1.025} + 9,8 \cdot 4,5 + \frac{2,768690^2}{2} + \sum h_f$$

$$\eta W_p = 6.135,297218 + \sum h_f$$

$$\sum h_f = h_{ftubo6''(1,934m)} + h_{fretención6''} + h_{ftubo6''(1,2055m)} + h_{faumento6-10''} + h_{ftubo10''(1,2055)} + h_{fTé10''nodesviado} +$$

$$h_{ftubo10''(3,147m)} + h_{fcodo10''} + h_{fTreducida10-3.5''(90^\circ)} + h_{ftubo3.5''(2,777m)} + h_{fTéreducida3.5-1.5''(90^\circ)} + h_{fbola} +$$

$$h_{ftubo 1.5''(0,637 m)}$$

$$- h_{ftubo6''(1,934m)} \quad v_2 = \frac{0,031828704}{\left(\frac{0,1532}{2}\right)^2 \pi} = 1,726679 \Rightarrow Re = 2,5 \cdot 10^5 \quad y \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,000045$$

$$\Rightarrow 4f = 0,016 \Rightarrow h_{ftubo6''(1,934m)} = 0,30 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fretención6''} = \frac{1.025}{1.000} \cdot \frac{504,510417^2}{831^2} = 0,377800 \text{ psi} = 2,54 \text{ J / kg}$$

$$- h_{ftubo6''(1,2055m)} = 0,016 \frac{1,2055}{0,1532} \frac{1,726679^2}{2} = 0,19 \text{ J/kg}$$

$$- h_{faumento6-10''} \quad \theta = 32,79875 \quad y \quad \beta = 0,616297 \Rightarrow k = 1,957006 \quad y$$

$$v_2 = \frac{0,031828704}{\left(\frac{0,25451}{2}\right)^2 \pi} = 0,625633 \text{ m/s} \Rightarrow h_{faumento6-10''} = 0,38 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubo10''(1,2055)} \quad Re = \frac{0,625633 \cdot 1025 \cdot 0,25451}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 1,5 \cdot 10^5$$

$$- h_{fTé10''nodesviado} \quad v_2 = \frac{0,090939153 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,25451}{2}\right)^2 \pi} = 1,787522 \text{ m/s} \Rightarrow Re = 4 \cdot 10^5 \text{ y}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,0135 \Rightarrow$$

$$h_{fTé10^{\circ}\text{nodesviado}} = 20 \cdot 0,0135 \cdot \frac{1,787522^2}{2} = 0,43 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubo10^{\circ}(3,147m)} = 0,0135 \cdot \frac{3,147}{0,25451} \cdot \frac{1,787522^2}{2} = 0,27 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fcodo10^{\circ}} = 12 \cdot 0,0135 \cdot \frac{1,787522^2}{2} = 0,26 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fTreducida10-3,5^{\circ}(90^{\circ})} = 60 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0181878307}{\left(\frac{0,09012}{2}\right)^2 \pi} = 2,851338 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} = 2 \cdot 10^5 \text{ y}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00008 \Rightarrow 4f = 0,016 \Rightarrow h_{fTreducida10-3,5^{\circ}(90^{\circ})} = 3,90 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubo3,5^{\circ}(2,777m)} = 0,016 \cdot \frac{2,777}{0,09012} \cdot \frac{2,851338^2}{2} = 2,00 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fTéreducida3,5-1,5^{\circ}(90^{\circ})} = 60 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,00363756614}{\left(\frac{0,0409}{2}\right)^2 \pi} = 2,768690 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} = 1 \cdot 10^5$$

y

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00017 \Rightarrow 4f = 0,0195 \Rightarrow h_{fTreducida10-3,5^{\circ}(90^{\circ})} = 4,48 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fbola} = \frac{1,025}{1,000} \cdot \frac{57,658333^2}{600^2} = 0,009465 \text{ psi} = 0,06 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubo1,5^{\circ}(0,637m)} = 0,0195 \cdot \frac{0,637}{0,0409} \cdot \frac{2,768690^2}{2} = 1,16 \text{ J/kg}$$

⇒

$$\sum h_f = 16,00 \text{ J/kg}$$

⇒

$$\eta W_p = 6.151,30 \text{ J/kg}$$

Esta es la presión que ha de proporcionar la bomba, suponiendo las membranas sucias.

$$P_{\text{bomba alta presión}} = 627,68 \text{ m} = 63,05 \text{ bar}$$

Ahora se hacen los cálculos correspondientes a la bomba booster. A las membranas ha de llegar con la de llegar también con 64,67 bar. El concentrado abandona las membranas a 61,09 bar. El sistema de recuperación transmite esta presión con una eficiencia del 97,5%, lo que supone que el agua de mar a baja presión abandona el recuperador con una presión de 59,56 bar.

$$\frac{5.956.275}{1.025} + 9,8 \cdot 1,661 + \frac{v_1^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{6.466.900}{1.025} + 9,8 \cdot 4,5 + \frac{v_2^2}{2} + \sum h_f$$

$$v_1 = \frac{0,0591104497 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,30481}{2}\right)^2 \pi} = 0,810058 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 2,768690 \text{ m/s}$$

$$\frac{5.956.275}{1.025} + 9,8 \cdot 1,661 + \frac{0,810058^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{6.466.900}{1.025} + 9,8 \cdot 4,5 + \frac{2,768690^2}{2} + \sum h_f$$

$$\eta \cdot W_p = 529,497657 + \sum h_f$$

$$\sum h_f = h_{\text{fcodo}12''} + h_{\text{ftubo}12''(4,877\text{m})} + h_{\text{fcodo}12''} + h_{\text{ftubo}12''(2,322\text{m})} + h_{\text{ftubo}10''(1,2055\text{m})} + h_{\text{fretención}10''} +$$

$$h_{\text{ftubo}10''(1,2055\text{m})} + h_{\text{fTé}10''(90^\circ)} + 12,144299$$

$$- h_{\text{fcodo}12''} \cdot v_2 = \frac{0,059110449 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,30481}{2}\right)^2 \pi} = 0,810058 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1.025 \cdot 0,810058 \cdot 0,30481}{1,15 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^5 \text{ y } \frac{\varepsilon}{D} = 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,0155$$

$$\Rightarrow h_{\text{fcodo}12''} = 12 \cdot 0,0155 \cdot \frac{0,810058^2}{2} = 0,06 \text{ J/kg}$$

$$- h_{\text{ftubo}12''(4,877\text{m})} = 0,0155 \cdot \frac{4,877}{0,30481} \cdot \frac{0,810058^2}{2} = 0,08 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{\text{tubo}12''(2,322m)}} = 0,0155 \cdot \frac{2,322}{0,30481} \cdot \frac{0,810058^2}{2} = 0,04 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{\text{tubo}10''(1,2055m)}} \quad v_2 = \frac{0,059110449 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,25451}{2}\right)^2 \pi} = 1,161889 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1.025 \cdot 1,161889 \cdot 0,25451}{1,15 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,015$$

$$\Rightarrow h_{f_{\text{tubo}10''(1,2055m)}} = 0,015 \cdot \frac{1,2055}{0,25451} \cdot \frac{1,161889^2}{2} = 0,05 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{\text{retención}10''}} \text{ De la empresa DEWARANCE modelo F67 DN 10''} \Rightarrow C_v = 2.365$$

$$\Rightarrow h_{f_{\text{retención}10''}} = \frac{\frac{1.025}{1.000} 936,947917^2}{2.365^2} = 0,160876 \text{ psi} = 1.109,492760 \text{ Pa} = 1,08 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{\text{tubo}10''(1,2055m)}} = 0,05 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f_{T\acute{e}10''(90^\circ)}} = 60 \cdot 4f \cdot \frac{v_2^2}{2} \quad v_2 = \frac{0,0909391534 \text{ m}^3 / \text{s}}{\left(\frac{0,25451}{2}\right)^2 \pi} = 1,787522 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1.025 \cdot 1,787522 \cdot 0,25451}{1,15 \cdot 10^{-3}} = 4 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,0135$$

$$\Rightarrow h_{f_{T\acute{e}10''(90^\circ)}} = 60 \cdot 0,0135 \cdot \frac{1,787522^2}{2} = 1,29 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow \eta \cdot W_p = 529,497657 + 14,858877 = 544,356534 \text{ J/kg}$$

Esta es la presión que ha de proporcionar la bomba booster. Suponen 55,54 m = 5,58 bar.

La bomba booster ha de dar como mínimo 55,54 m y un caudal de 212,80 m³/h. Se elige de la empresa KSB, modelo ETABLOC 80-200, compatible con agua de mar y con las siguientes características:

- Diámetro rodete : 219 mm
- Caudal máximo : 260 m³/h
- Presión máxima : 66 m
- NPSH (en el punto de trabajo) : 5,80 m
- Eficiencia (en el punto de trabajo) : 83%
- Potencia requerida : 37,07 kw
- 2.900 rpm

También llevará variador de frecuencia.

ANEXO IX. CÁLCULO PORCENTAJES SATURACIÓN EN CONCENTRADO

Debemos calcular los porcentajes de saturación de las distintas sales que pueden precipitar en el rechazo al ir aumentando la concentración de las mismas.

Estas sales son carbonato cálcico, sulfato de calcio, sulfato de estroncio, fluoruro de calcio y sílice.

Son necesarios los productos de solubilidad de estas sales. A su vez, el producto de solubilidad depende de la temperatura y de la fuerza iónica (I) del agua en cuestión.

Se calcula la fuerza iónica del concentrado, partiendo de la composición que da el programa suministrado por el fabricante de las membranas:

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2$$

Donde,

m_i = molalidad de cada ión (mol/kg)

z_i = carga del ión

La composición del concentrado es :

$$[K^+] = 611,31 \frac{mg}{l} \cdot \frac{1g}{1.000mg} \cdot \frac{1molK}{39,102g} \cdot \frac{1laguarechazo}{1,0385kg} = 1,505 \cdot 10^{-2} m$$

$$[Na^+] = 17.974,49 \text{ ppm} = 7,529 \cdot 10^{-1} m$$

$$[Mg^{2+}] = 2.222,35 \text{ ppm} = 8,802 \cdot 10^{-2} m$$

$$[Ca^{2+}] = 655,17 \text{ ppm} = 1,574 \cdot 10^{-2} m$$

$$[Sr^{2+}] = 20,45 \text{ ppm} = 2,247 \cdot 10^{-4} m$$

$$[CO_3^{2-}] = 0,94 \text{ ppm} = 1,508 \cdot 10^{-5} m$$

$$[HCO_3^-] = 181,50 \text{ ppm} = 2,864 \cdot 10^{-3} m$$

$$[Cl^-] = 32.635,67 \text{ ppm} = 8,864 \cdot 10^{-1} m$$

$$[\text{F}^-] = 1,38 \text{ ppm} = 6,994 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 4.310,57 \text{ ppm} = 4,321 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Podemos despreciar la contribución de la base conjugada del ácido bórico.

$$\Rightarrow I = 1,123049$$

A la temperatura de 20 °C y con una fuerza iónica de 1,12, los productos de solubilidad de las distintas sales valen :

$$K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4) = 1,9 \cdot 10^{-3} = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$$K_{\text{sp}}(\text{SrSO}_4) = 2,3 \cdot 10^{-5} = [\text{Sr}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$$K_{\text{sp}}(\text{CaF}_2) = 3,4 \cdot 10^{-10} = [\text{Ca}^{2+}][\text{F}^-]^2$$

Sílice

La solubilidad de la sílice a 20°C es de 117 ppm, muchísimo mayor que la concentración existente en el permeado. El sílice no precipitará para una conversión del 35%. Esto era de esperar, ya que la sílice suele ser problemática sólo en aguas salobres.

Para tener cierto margen de seguridad, el producto iónico de las distintas especies ha de ser menor de 0,8 veces el producto de solubilidad.

Sulfato de calcio

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 4.310,57 \text{ ppm} = 4,487 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 655,17 \text{ ppm} = 1,635 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$0,8 \cdot K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4) = 1,52 \cdot 10^{-3}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] = 7,34 \cdot 10^{-4} \leq 1,52 \cdot 10^{-3}$$

Por tanto, el sulfato cálcico no precipitara. El porcentaje de saturación es el cociente entre el producto iónico y el producto de solubilidad multiplicado por 100.

$$\% \text{Saturación CaSO}_4 = \frac{7,335187 \cdot 10^{-4}}{1,52 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 48,26 \%$$

Sulfato de estroncio

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 4.310,57 \text{ ppm} = 4,487 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$[\text{Sr}^{2+}] = 20,45 \text{ ppm} = 2,334 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$0,8 \cdot K_{sp}(\text{SrSO}_4) = 1,84 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{Sr}^{2+}] [\text{SO}_4^{2-}] = 1,05 \cdot 10^{-5} \leq 1,84 \cdot 10^{-5}$$

Por tanto, el sulfato de estroncio no precipitara.

$$\% \text{Saturación SrSO}_4 = \frac{1,047309 \cdot 10^{-5}}{1,84 \cdot 10^{-5}} \cdot 100 = 56,92 \%$$

Fluoruro de calcio

$$[\text{Ca}^{2+}] = 655,17 \text{ ppm} = 1,635 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$[\text{F}^-] = 1,38 \text{ ppm} = 7,264 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$0,8 \cdot K_{sp}(\text{CaF}_2) = 2,72 \cdot 10^{-10}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] [\text{F}^-]^2 = 8,62 \cdot 10^{-11} \leq 2,72 \cdot 10^{-10}$$

Por tanto, el fluoruro cálcico no precipitara.

$$\% \text{Saturación CaF}_2 = \frac{8,624830 \cdot 10^{-11}}{2,72 \cdot 10^{-10}} \cdot 100 = 31,71 \%$$

Carbonato de calcio

En este caso empleamos el índice de estabilidad de Stiff & Davis (S&DSI), que no es más que una modificación del índice de saturación de Langelier para aguas con un contenido en sólidos disueltos totales superiores a 10.000ppm

$$S\&SDI = pH_{\text{concentrado}} - pH_{\text{saturación}}$$

En este caso el pH de saturación viene dado por :

$$pH_s = pCa + pAlc + K$$

donde K es una constante que depende de la temperatura y la fuerza iónica del concentrado.

$$[Ca^{2+}] = 655,17 \text{ ppm} \Rightarrow pCa = 1,786094$$

$$[HCO_3^-] = 181,50 \text{ ppm} = 1,486972 \cdot 10^{-3} \text{ M} \Rightarrow pAlc = 2,827697$$

K a 20° C y para una fuerza iónica de 1,12 vale :

$$K = 3,52$$

$$\Rightarrow pH_s = 1,786094 + 2,827697 + 3,52 = 8,133791$$

Como el pH del rechazo vale $pH_{\text{concentrado}} = 6,60$

$$\Rightarrow S\&DSI = 6,60 - 8,133791 = -1,53 < 0$$

Por tanto, el carbonato cálcico no precipita.

No precipita ninguna de las sales citadas. Por ello, no es necesario añadir antiescalante para la conversión de 35% elegida. Aún así se preveé la construcción de un tanque para contener hexametáfosfato sódico con una dosis de 1 ppm durante una semana.

Calculamos también el S&DSI del agua bruta :

$$S\&SDI = pH_{\text{agua bruta}} - pH_{\text{saturación}}$$

En este caso el pH de saturación viene dado por :

$$pH_s = pCa + pAlc + K$$

donde K es una constante que depende de la temperatura y la fuerza iónica del concentrado.

$$[Ca^{2+}] = 426 \text{ ppm} \Rightarrow pCa = 1,973038$$

$$[HCO_3^-] = 146 \text{ ppm} = 1,196132 \cdot 10^{-3} \text{ M} \Rightarrow pAlc = 2,922221$$

La fuerza iónica se obtiene a partir de la del concentrado :

$$I_{\text{concentrado}} = I_{\text{alimentación}} \left(\frac{1}{1-Y} \right)$$

Por tanto,

$$I_{\text{alimentación}} = I_{\text{concentrado}} (1-Y) = 1,123049 (1-0,35) = 0,729982$$

K a 20° C y para una fuerza iónica de 0,73 vale : K = 3,42

⇒

$$pH_s = 1,973038 + 2,922221 + 3,42 = 8,315259$$

⇒

$$S\&DSI = 7,60 - 8,315259 = -0,72$$

Por tanto, el agua bruta tiene un carácter algo corrosivo en lugar de incrustante.

ANEXO X. COMPOSICIÓN AGUA PRODUCTO

- $[\text{Ca}^{2+}] = 58,61 \text{ ppm}$
 - $[\text{K}^+] = 1,86 \text{ ppm}$
 - $[\text{Na}^+] = 48,02 \text{ ppm}$ (sin añadir NaClO)
 - $[\text{Mg}^{2+}] = 1,39 \text{ ppm}$
 - $[\text{Sr}^{2+}] = 0,01 \text{ ppm}$
 - $[\text{HCO}_3^-] = 74,28 \text{ ppm}$
 - $[\text{CO}_3^{2-}] = 0,92 \text{ ppm}$
 - $[\text{CO}_2] = 0,41 \text{ ppm}$
 - $[\text{Cl}^-] = 108,27 \text{ ppm}$
 - $[\text{F}^-] = 0 \text{ ppm}$
 - $[\text{SO}_4^{2-}] = 1,03 \text{ ppm}$
 - $[\text{Boro}] = 0,79 \text{ ppm}$
 - $[\text{SiO}_2] = 0,01 \text{ ppm}$
 - $\text{SDT} = 295,19 \text{ ppm}$ (se excluye al CO_2)
 - $\text{pH} = 8,5$
-
- $[\text{Cloro libre residual}] = 0,4 \text{ ppm Cl}_2$ (Se supone que el agua permeada no consume ninguna cantidad de cloro añadido como hipoclorito)

ANEXO XI. CALCULO DE LA BOMBA Y TUBERÍAS NECESARIAS PARA BOMBEAR EL PRODUCTO

El permeado abandona las membranas a presión atmosférica y descargan ambas líneas en una línea común donde se bombea el permeado hacia la red. Antes de abandonar la planta se le añade la cal, el cloruro de calcio y el hipoclorito sódico. Suponemos que la red municipal posee una presión en el punto de entronque de 0,5 barg.

$$\frac{101.325}{1.000} + 9,8 \cdot 2,381 + \frac{v_1^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{151.325}{1.000} + \frac{v_2^2}{2} + \sum h_f$$

$$v_1 = \frac{0,001273148 m^3 / s}{\left(\frac{0,0345}{2}\right)^2 \pi} = 1,361918 \text{ m/s (Tubo PVC cédula 40 DN 1 1/4")}$$

$$v_2 = \frac{0,063657407 m^3 / s}{\left(\frac{0,2534}{2}\right)^2 \pi} = 1,262251 \text{ m/s (Tubo PVC cédula 40 DN 12")}$$

$$\eta \cdot W_p = \sum h_f + 26,535428$$

$$\sum h_f = h_{f_{tubo1.25''(0,326m)}} + h_{f_{Téaumentada1.25''-4''}} + h_{f_{tubo4''(3,793m)}} + h_{f_{Téaumentada4-8''}} + h_{f_{codo8''}} +$$

$$+ h_{f_{tubo8''(2,191m)}} + h_{f_{codo8''}} + h_{f_{tubo8''(4,752m)}} + h_{f_{aumentado8-10''}} + h_{f_{tubo10''(5,659m)}} + h_{f_{Té10''(90^\circ)}} +$$

$$h_{f_{tubo10''(14,336m)}} + h_{f_{tubo10''(6,354m)}} + h_{f_{fretención10''}} + h_{f_{codo10''}} + h_{f_{tubo10''(14,704m)}} + h_{f_{codo10''}} + h_{f_{tubo10''(89,043m)}}$$

$$+ h_{f_{mariposa10''}} + h_{f_{Té10''90^\circ}}$$

$$- h_{f_{tubo1.25''(0,326m)}} = 4f \cdot \frac{0,326}{0,0345} \cdot \frac{1,361918^2}{2} \quad \text{Re} = \frac{1.000 \cdot 1,361918 \cdot 0,0345}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,7 \cdot 10^4$$

y

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,0345} = 0,0002 \Rightarrow 4f = 0,022 \Rightarrow h_{f_{tubo1.25''(0,326m)}} = 0,19 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fT\acute{e}aumntada1.25"-4"} \cdot v_2 = \frac{0,0063657407 m^3 / s}{\left(\frac{0,1015}{2}\right)^2 \pi} = 0,786732 \quad \text{m/s}$$

$$\Rightarrow \text{Re} = \frac{1.000 \cdot 0,786732 \cdot 0,1015}{1 \cdot 10^{-3}} \cong 8 \cdot 10^4 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,1015} = 0,00007 \Rightarrow 4f = 0,020$$

$$h_{fT\acute{e}aumntada1.25"-4"} = 60 \cdot 0,020 \cdot \frac{0,786732^2}{2} = 0,37 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{ubo}4"(3,793m)} = 0,020 \cdot \frac{3,793}{0,1015} \cdot \frac{0,786732^2}{2} = 0,23 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fT\acute{e}aumntada4-8"} \quad v_2 = \frac{0,031828704}{\left(\frac{0,2017}{2}\right)^2 \pi} = 0,996133 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\text{Re} = \frac{1.000 \cdot 0,996133 \cdot 0,2017}{1 \cdot 10^{-3}} \cong 2 \cdot 10^5 \quad \text{y} \quad \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000007}{0,2017} = 0,000035 \Rightarrow 4f = 0,016$$

$$\Rightarrow h_{fT\acute{e}aumntada4-8"} = 60 \cdot 0,016 \cdot \frac{0,996133^2}{2} = 0,48 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{codo}8"} = 12 \cdot 0,016 \cdot \frac{0,996133^2}{2} = 0,10 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{ubo}8"(2,191m)} = 0,016 \cdot \frac{2,191}{0,2017} \cdot \frac{0,996133^2}{2} = 0,09 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{ubo}8"(4,752m)} = 0,016 \cdot \frac{4,752}{0,2017} \cdot \frac{0,996133^2}{2} = 0,19 \text{ J/kg}$$

$$- h_{f\text{aument}8-10"} \quad v_2 = \frac{0,031828704}{\left(\frac{0,2534}{2}\right)^2 \pi} = 0,631126 \text{ m/s} \quad \text{y} \quad \theta = 16,525994 \quad \text{y}$$

$$\beta = 0,795975 \Rightarrow k = \frac{2,6 \cdot \sin(8,262997) \cdot (1 - (0,795975)^2)^2}{(0,795975)^4} = 0,124983$$

$$\Rightarrow h_{f\text{aument}8-10"} = 0,124983 \cdot \frac{0,631126^2}{2} = 0,02 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fubo10''(5,659m)} \quad Re = \frac{1.000 \cdot 0,631126 \cdot 0,2534}{1 \cdot 10^{-3}} \cong 1,6 \cdot 10^5 \quad y \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,016$$

$$\Rightarrow h_{fubo10''(5,659m)} = 0,016 \cdot \frac{5,659}{0,2534} \cdot \frac{0,631126^2}{2} = 0,07 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fT\acute{e}10''(90^\circ)(todoelcaudal)} v_2 = \frac{0,0636574}{\left(\frac{0,2534}{2}\right)^2 \pi} = 1,262251 \text{ m/s} \quad \Rightarrow$$

$$Re = \frac{1.000 \cdot 1,262251 \cdot 0,2534}{1 \cdot 10^{-3}} \cong 2,8 \cdot 10^5 \quad y \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,00003 \Rightarrow 4f = 0,015 \Rightarrow$$

$$h_{fT\acute{e}10''(90^\circ)(todoelcaudal)} = 60 \cdot 0,015 \cdot \frac{1,262251^2}{2} = 0,72 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fubo10''(14336m+6,354+14,704+89,043)} = 0,015 \cdot \frac{124,437}{0,2534} \cdot \frac{1,262251^2}{2} = 5,87 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fretenci\acute{o}n10''(ROVALVE)} = \frac{1.009,020833^2}{3.800^2} = 0,0705071 \text{ psi} = 0,47 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fcodo10''} = 12 \cdot 0,015 \cdot \frac{1,262251^2}{2} = 0,14 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fmariposa10''} = \frac{1.009,020833^2}{11.385^2} = 0,00785478 \text{ psi} = 0,05 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fT\acute{e}10''90^\circ} = 60 \cdot 0,015 \cdot \frac{1,262251^2}{2} = 0,72 \text{ J/kg}$$

$$\Rightarrow \sum h_f = 9,95 \text{ J/kg} \quad \Rightarrow \quad \eta \cdot W_p = 36,48307 \text{ J/kg} = 3,72 \text{ m}$$

Esta es la presi3n que ha de proporcionar al fluido la bomba del producto.

Se elige de la empresa KSB, modelo ETANORM 125-200 con las siguientes caracter3sticas principales :

- Di3metro rodete : 208 mm

- Altura máxima : 11,5 m
- Altura en el punto de trabajo : 8,5 m
- Caudal máximo : 300 m³/h
- Eficiencia en el punto de trabajo : 80,5%
- NPSH_R : 2,6 m
- Potencia requerida : 2,88 kw

No es necesario realizar ningún cálculo para comprobar que un tubo de PVC cédula 40 soporta con creces esta presión. Bridas clase 150 unidas con disolvente al tubo.

ANEXO XII. CÁLCULO BOMBA Y TUBERÍAS NECESARIAS PARA LA DEVOLUCIÓN DEL RECHAZO AL MAR

El recuperador de energía descarga la salmuera sin presión a presión atmosférica. Se supone que la longitud que ha de tener el emisario es de unos 200 m hacia el interior del mar. También se supone una profundidad de unos 10 m. La densidad del rechazo es ligeramente superior a la del agua de mar. Concretamente vale 1.038 kg/m^3 para un contenido en SDT de 58.690 ppm

$$\frac{101.325}{1.038} + \frac{1,294732^2}{2} + \eta \cdot W_p = \frac{201.775}{1.025} - 9,8 \cdot 10 + \frac{1,294732^2}{2} + \sum h_f$$

$$\eta \cdot W_p = 1,238052 + \sum h_f$$

$$\begin{aligned} \sum h_f = & h_{fcodo12''} + h_{ftubo12''(2,534m)} + h_{fcodo12''} + h_{ftubo12''(3,680m)} + h_{fmariposa12''} + h_{fTé12''(90^\circ)} + \\ & + h_{ftubo12''(3,020m)} + h_{ftubo16''(3,794m)} + h_{fretención16''} + h_{ftubo16''(3,794m)} + h_{ftubo16''(3,794m)} + h_{fcoco16''} + \\ & + h_{ftubo16''(9,809m)} + 2 \cdot h_{fcodo16''} + h_{ftubo16''(3,794m)} + h_{fcodo16''} + h_{ftubo16''(292m)} + h_{fsalida16''} \end{aligned}$$

$$- h_{fcodo12''} \quad v_2 = \frac{0,059110450}{\left(\frac{0,302}{2}\right)^2 \pi} = 0,825202 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow \text{Re} = \frac{1.038 \cdot 0,825202 \cdot 0,302}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 2 \cdot 10^5$$

$$y \quad \frac{\varepsilon}{D} = 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,016 \Rightarrow h_{fcodo12''} = 12 \cdot 0,016 \frac{0,825202^2}{2} = 0,07 \text{ J/kg}$$

$$- h_{ftubo12''(6,214m)} = 0,016 \frac{6,214}{0,302} \cdot \frac{0,825202^2}{2} = 0,11 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fmariposa12''} = \frac{1.038}{1.000} \frac{936,947917^2}{11.000^2} = 0,0075308 \text{ psi} = 0,05 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fTé12''(90^\circ)} \quad v_2 = \frac{0,118220899}{\left(\frac{0,302}{2}\right)^2 \pi} = 1,650405 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow \text{Re} = \frac{1.038 \cdot 1,650405 \cdot 0,302}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 4,5 \cdot 10^5$$

$$y \frac{\varepsilon}{D} = 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,0135 \Rightarrow h_{fT\acute{e}12"(90^\circ)} = 60 \cdot 0,016 \cdot \frac{0,825202^2}{2} = 0,33 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fubo12"(3,020m)} = 0,016 \frac{3,020}{0,302} \frac{1,650405^2}{2} = 0,22 \text{ J/kg}$$

-

$$h_{fubo16"(316,985m)} v_2 = \frac{0,118220899}{\left(\frac{0,3794}{2}\right)^2 \pi} = 1,045706 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} = \frac{1.038 \cdot 1,045706 \cdot 0,3794}{1,15 \cdot 10^{-3}} \cong 3,5 \cdot 10^5$$

0⁵

$$y \frac{\varepsilon}{D} = 0,00002 \Rightarrow 4f = 0,014 \Rightarrow h_{fubo16"(316,985m)} = 0,014 \cdot \frac{316,985}{0,3794} \cdot \frac{1,045706^2}{2} = 6,40 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fretenci3n16"(ROVALVE)} = \frac{1,038}{1,000} \frac{1,873,895833^2}{9.700^2} = 0,038739 \text{ psi} = 0,26 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fcodo16"} = 12 \cdot 0,014 \frac{1,045706^2}{2} = 0,09 \text{ J/kg}$$

$$- h_{fsalida16"} = 1 \frac{1,045706^2}{2} = 0,55 \text{ J/kg}$$

$$\sum h_f = 8,405089 \text{ J/kg}$$

$$\eta \cdot W_p = 9,643141 \text{ J/kg} = 0,98 \text{ m}$$

Esta es la presión que ha de comunicar la bomba al rechazo para que pueda descargar a través del emisario.

Se elige de la empresa KSB modelo SEWATEC K 300-401 con las siguientes características principales :

- Diámetro rodete : 480 mm
- Altura máxima : 3,9 m
- Caudal máximo : 600 m³/h
- Altura en el punto de trabajo : 2,75 m

- Eficiencia en el punto de trabajo : 77,5 %
- $NPSH_R$: 1,6 m
- Potencia motor requerida : 1,51 kw

No es preciso realizar cálculos para comprobar que un tubo de PVC cédula 40 DN 12" y 16" aguantan perfectamente la presión generada en cualquier momento por la bomba.

ANEXO XIII. CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL REQUERIDA

Los equipos principales en cuanto a consumo energético son :

- 3 bombas de los pozos
- 1 bomba pretratamiento
- 2 bombas de alta presión
- 2 bombas booster
- 1 bomba producto
- 1 bomba rechazo

Bombas pozo

Requieren cada una 22,86 kw. Si suponemos una eficiencia del motor del 95% y un 97% para el variador de frecuencia , la potencia total consumida por las tres es de : 74,42 kw.

Bomba pretratamiento

La bomba consume 65,48 kw. Suponiendo una eficiencia del conjunto motor-variador de frecuencia del 92,15% (95 % x 97 %), la potencia total consumida es de : 71,06 kw

Bomba de alta presión

Cada una requiere 260 kw, y suponiendo un 92,15% para el conjunto motor-variador de frecuencia la potencia total consumida por cada una es de : 282,15 kw.

Bomba booster

Requiere 37,07 kw cada una. Suponiendo una eficiencia del conjunto motor-variador de frecuencia del 92,15%, la potencia total consumida es de : 40,23 kw

Bomba producto

Requiere 2,88 kw. Suponiendo una eficiencia del conjunto motor-variador de frecuencia del 92,15%, la potencia total consumida es de : 3,13 kw

Bomba rechazo

Requiere 1,51 kw. Suponiendo una eficiencia del conjunto motor-variador de frecuencia del 92,15%, la potencia total consumida es de : 1,64 kw

A esto habría que añadirle el consumo de los esterilizadores ultravioleta. Cada uno de ellos consume 2,74 kw y son seis, por lo tanto hay que añadir 10,96 kw.

Por lo tanto la potencia total máxima necesaria es de: 771,22 kw. Esto supone un consumo específico por metro cúbico de agua producida de :

$$771,22kw \cdot \frac{24h}{1d} \cdot \frac{1d}{5.500m^3} = 3,37 \text{ kwh/m}^3$$

Se elige aerogenerador de potencia nominal 850 kw para cubrir posibles incidencias.

ANEXO XIV. DOSIFICACIÓN DE CAL

La dosis de diseño de cal apagada es de 52 ppm. Por lo que la cantidad que debe almacenar el silo de cal es de :

$$52 \frac{mg}{l} \cdot 5.000 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1.000l}{1m^3} \cdot \frac{1kg}{10^6 mg} \cdot \frac{7d}{1semana} = 1.820 \text{ kg/semana}$$

Sabiendo que la densidad de la cal apagada es de 2.200 kg/m³, el volumen útil que ha de tener el silo es de :

$$V_{\text{útil silo cal}} = \frac{1.820}{2.200} = 0,83 \text{ m}^3$$

Si la relación altura/diámetro del mismo es de 1,5, las dimensiones útiles del tanque serán :

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3\pi \cdot R^3 \Rightarrow D_{\text{int}} = 888,8 \text{ mm} \quad \text{y} \quad h = 1333,3 \text{ mm}$$

La solubilidad de la cal en el agua es muy baja. Por esto, es poco práctico tratar de preparar una solución debido al gran volumen de tanque requerido. Es más usual preparar una suspensión con una concentración de hasta 5%.

Por tanto, la cantidad a añadir de esta suspensión desde el tanque agitado es :

$$52 \frac{mgCal}{l} \cdot \frac{100mgsuspensión}{5mgCal} = 1.040 \text{ mg/l de suspensión de cal al 5\%}$$

⇒ La dosificadora ha de dar un caudal igual a (suponemos que la densidad de esta suspensión es aproximadamente la del agua) :

$$1.040 \frac{mgsuspensión}{l} \cdot \frac{1l}{1.000mgsuspensión} \cdot 5.000 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1.000l}{1m^3} = 1.040 \text{ l/d}$$

La aplicación de cal provoca, en la práctica, gran cantidad de dificultades, por la obstrucción de tuberías y dosificadores. Asimismo, las suspensiones de cal no pueden dejarse mucho tiempo en contacto con el aire, ya que reaccionan con el dióxido de carbono formando carbonato de calcio, que precipita. Por lo anterior, se

requiere un cuidadoso mantenimiento para conservar el sistema de dosificación en buenas condiciones.

ANEXO XV. DOSIFICACIÓN DE CLORURO DE CALCIO

La dosis de diseño de cloruro de calcio es de 106 ppm. Por lo que la cantidad que debe almacenar el silo de cloruro de calcio es de :

$$106 \frac{mg}{l} \cdot 5.000 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1.000l}{1m^3} \cdot \frac{1kg}{10^6 mg} \cdot \frac{7d}{1semana} = 3.710 \text{ kg/semana}$$

Sabiendo que la densidad del cloruro de calcio es de 2.160 kg/m³, el volumen útil que ha de tener el silo es de :

$$V_{\text{utilsilocal}} = \frac{3.710}{2.160} = 1,72 \text{ m}^3$$

Si la relación altura/diámetro del mismo es de 1,5, las dimensiones útiles del tanque serán :

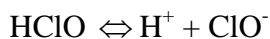
$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3\pi \cdot R^3 \Rightarrow D_{\text{int}} = 1.133,9 \text{ mm} \quad \text{y} \quad h = 1.700,9 \text{ mm}$$

ANEXO XVI. DÓISIS HIPOCLORITO SÓDICO

Según la Resolución del 23 de Abril de 1984 del Ministerio de Sanidad y Consumo, los niveles de cloro residual libre y combinado para aguas de consumo público máximos en los puntos de consumo dependen del pH del agua:

pH	Cloro residual libre(ppm) (máx)	Cloro residual combinado(ppm) (max)
6,5-7,4	0,2	1,0
7,0-8,0	0,2	1,5
8,0-9,0	0,4	1,8
9,0-9,5	0,8	-

Esto es debido a que en medio ácido, el equilibrio anión hipoclorito-ácido hipocloroso se desplaza hacia la formación de este último. Este ácido hipocloroso tiene una capacidad de desinfección mucho mayor que la del anión hipoclorito.

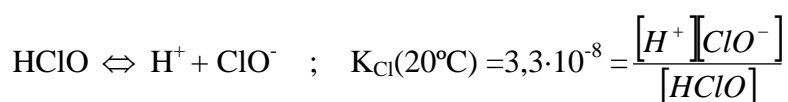


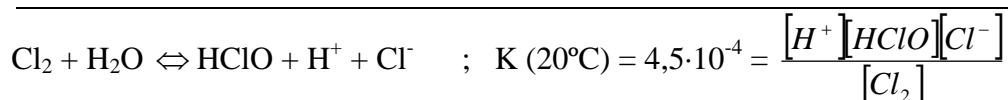
En nuestro caso, la dosis máxima de cloro libre que puede haber en el agua en el punto de consumo será de 0,4 ppm. Puesto que es agua desalada, apenas consumirá cloro libre. Tomaremos una dosis tal de hipoclorito sódico que garantice un contenido en cloro libre residual a la salida de la planta de 0,4 ppm.

La cantidad de cloro libre es la suma de ácido hipocloroso, anión hipoclorito y cloro gas presente en el agua expresada como mg/l de Cl_2 . En este caso, el cloro libre disponible es:

Se considera despreciable la variación de pH producida al añadir NaClO .

Los equilibrios implicados son :





Según la estequiometría de estas reacciones, la cantidad total de cloro añadido debe ser igual a :

$$C_{\text{Clinicial}} = [\text{HClO}] + [\text{ClO}^-] + [\text{Cl}_2]$$

Al añadir hipoclorito sódico, este se disocia en catión sodio y anión hipoclorito, y este a su vez se transforma en parte a ácido hipocloroso y cloro gas en una proporción, que como se puede apreciar en las ecuaciones estequiométricas, depende del pH.

$$C_{\text{Clinicial}} = [\text{ClO}^-] + \frac{[\text{H}^+][\text{ClO}^-]}{K_{\text{Cl}}} + \frac{[\text{H}^+][\text{HClO}][\text{Cl}^-]}{K} = [\text{ClO}^-] \left[1 + \frac{[\text{H}^+]}{K_{\text{Cl}}} + \frac{[\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]}{K \cdot K_{\text{Cl}}} \right]$$

$$C_{\text{Clinicial}} = [\text{ClO}^-] \left[\frac{K \cdot K_{\text{Cl}} + K[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]}{K \cdot K_{\text{Cl}}} \right]$$

$$[\text{ClO}^-] = \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} K \cdot K_{\text{Cl}}}{K \cdot K_{\text{Cl}} + K[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]} \right]$$

$$[\text{HClO}] = \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} K \cdot [\text{H}^+]}{K \cdot K_{\text{Cl}} + K[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]} \right]$$

y

$$[\text{Cl}_2] = \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} \cdot [\text{H}^+]^2}{K \cdot K_{\text{Cl}} + K[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]} \right]$$

La suma de estas tres especies expresadas como ppm de Cl_2 debe ser igual a 0,5 ppm:

$$[\text{Cl}_2] \frac{70,906 \text{ g}}{1 \text{ mol Cl}_2} \cdot \frac{1.000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} + [\text{HClO}] \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{2 \text{ mol HClO}} \frac{70,906 \text{ g}}{1 \text{ mol Cl}_2} \cdot \frac{1.000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} +$$

$$+ [\text{ClO}^-] \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{2 \text{ mol ClO}^-} \frac{70,906 \text{ g}}{1 \text{ mol Cl}_2} \cdot \frac{1.000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0,4 \text{ ppm Cl}_2$$

Es decir,

$$70.906 \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} \cdot [3,162278 \cdot 10^{-9}]^2}{1,485000 \cdot 10^{-11} + 1,423025 \cdot 10^{-12} + [3,162278 \cdot 10^{-9}]^2 \cdot 3,053902 \cdot 10^{-3}} \right] +$$

$$+ 35.453 \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} \cdot 1,423025 \cdot 10^{-12}}{1,485000 \cdot 10^{-11} + 1,423025 \cdot 10^{-12} + [3,162278 \cdot 10^{-9}]^2 \cdot 3,053902 \cdot 10^{-3}} \right] +$$

$$+ 35.453 \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} \cdot 1,485000 \cdot 10^{-11}}{1,485000 \cdot 10^{-11} + 1,423025 \cdot 10^{-12} + [3,162278 \cdot 10^{-9}]^2 \cdot 3,053902 \cdot 10^{-3}} \right] = 0,5 \text{ ppm Cl}_2$$

$$4,357273 \cdot 10^{-2} C_{\text{Cloro inicial}} + 3.100,252708 C_{\text{Cloro inicial}} + 32.352,736399 C_{\text{Cloro inicial}} = 0,4 \text{ ppm Cl}_2$$

$$C_{\text{Cloro inicial}} = 1,128253 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

Este es el contenido inicial en hipoclorito sódico que ha de añadirse.

$$\text{Dosis Hipoclorito sódico} = 1,128253 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol HClO}}{\text{l}} \frac{52,46037 \text{ g}}{1 \text{ mol HClO}} \frac{1.000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0,59 \text{ ppm NaClO (100\%).}$$

La disolución comercial empleada tiene un contenido de 180 g/l de NaClO. El volumen que debemos añadir de esta solución es haciendo balances de materia total y al cloro activo en el punto de mezcla de la corriente principal con el hipoclorito sódico :

$$Q_{\text{permeado}} + Q_{\text{desinfectante}} = Q_{\text{producto final}}$$

$$C_{\text{cloro disol.comercial}} \cdot Q_{\text{desinfectante}} = C_{\text{cloro producto final}} \cdot Q_{\text{productofinal}}$$

$$5.000 + Q_{\text{desinfectante}} = Q_{\text{producto final}}$$

$$180.000 Q_{\text{desinfectante}} = 0,591886 Q_{\text{productofinal}}$$

$$Q_{\text{productofinal}} = 5000,02 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{desinfectante}} = 1,644133 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{d} = 16,44 \text{ l/d disol. Hipoclorito sódico con 180g/l de cloro activo.}$$

Para diseñar el tanque de almacenamiento de hipoclorito sódico se tomará un caudal de diseño de 20 l/d.

ANEXO XVII. DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO SÓDICO

El volumen necesario diario de hipoclorito sódico (solución con 180 g/l de NaClO) es de 30 l/d. Para una semana son necesarios 210 l.

Sin embargo, hemos de añadir a este el volumen necesario para poder limpiar la zona de pretratamiento cuando haya evidencias de que se están desarrollando microorganismos. Emplearemos una dosis alta, de 15 ppm de NaClO. Para calcular el volumen necesario, hemos de considerar que ha de inundar el pretratamiento por completo, la solución se va haciendo recircular por el pretratamiento.

El volumen de esta zona de pretratamiento es aproximadamente el del tanque de agua bruta más los tramos de tubería recta incrementados un 15% para tener en cuenta codos, tes, filtros, etc.

Esto supone un volumen de aproximadamente : 268 m³. Por tanto, el volumen adicional que ha de almacenar el tanque de hipoclorito sódico es :

$$268m^3 \text{ agua} \cdot 15 \frac{mgNaClO}{\text{lagua}} \cdot \frac{1 \text{ disolución comercial}}{180.000mgNaClO} \frac{1.000 \text{ lagua}}{1m^3} = 22,33L$$

Se toma un caudal de diseño de 25 L.

Por tanto, el volumen final total que ha de tener este tanque es de : 235 L = 0,24 m³.

Si la relación altura/diámetro del mismo es de 1,5, las dimensiones útiles del tanque serán :

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3\pi \cdot R^3 \Rightarrow D_{\text{int}} = 584,3 \text{ mm} \quad \text{y} \quad h = 876,4 \text{ mm}$$

ANEXO XVIII. EQUIPO DE LIMPIEZA DE LAS MEMBRANAS (CIP)

El sistema de limpieza consta de los siguientes elementos :

- Cuba de preparación de la solución
- Sistema de calefacción de la cuba (una resistencia eléctrica) que permita calentar el contenido de la cuba hasta unos 45°C.
- Agitador
- Bomba circuladora
- Filtro cartuchos de 5 micras

La cuba de preparación se construirá en fibra de vidrio reforzada. Con tapa desmontable y un termómetro.

El volumen que ha de tener es el necesario para inundar el sistema que va a limpiar, es decir, tubos de presión y las tuberías de distribución a cada uno de los tubos.

ANEXO XVII. NORMALIZACIÓN DE LOS DATOS DE OPERACIÓN

Durante el funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa, las variaciones de parámetros como la presión, temperatura, etc., originan modificaciones en el caudal de permeado y en el paso de sales. Para evaluar de manera efectiva el comportamiento del sistema, es necesario comparar los caudales de permeado y los pasos de sales en las mismas condiciones. Como estos datos no siempre pueden obtenerse en las mismas condiciones, es necesario convertir los obtenidos en las condiciones reales en los que se obtendrían en unas condiciones determinadas y constantes, lo que significa normalizar los datos de funcionamiento de la planta de ósmosis inversa.

El caudal de permeado en las condiciones normalizadas se calcula utilizando las siguiente ecuación:

$$Q_{pn} = \frac{\left[P_{an} - \frac{\Delta P_{arn}}{2} - P_{pn} - \pi_{arn} + \pi_{pn} \right] (FCT_n)}{\left[P_{aa} - \frac{\Delta P_{ara}}{2} - P_{pa} - \pi_{ara} + \pi_{pa} \right] (FCT_a)} \cdot Q_{pa}$$

Q_{pn} = Caudal de permeado en las condiciones normalizadas

P_{an} = Presión de alimentación en las condiciones normalizadas, bar

$\frac{\Delta P_{arn}}{2}$ = Mitad de la pérdida de carga del sistema en condiciones normalizadas, bar

P_{pn} = Presión del permeado en condiciones normalizadas, bar

π_{arn} = Presión osmótica promedio en el interior del módulo en condiciones normalizadas, bar

π_{pn} = Presión osmótica del permeado en condiciones normalizadas, bar

FCT_n = factor de corrección por temperatura en condiciones normalizadas

Q_{pa} = Caudal de permeado en las condiciones actuales

P_{aa} = Presión de alimentación en las condiciones actuales, bar

$\frac{\Delta P_{ara}}{2}$ = Mitad de la pérdida de carga del sistema en las condiciones actuales, bar

P_{pa} = Presión del permeado en las condiciones actuales, bar

π_{ara} = Presión osmótica promedio en el interior del módulo en las condiciones actuales, bar

π_{pa} = Presión osmótica del permeado en las condiciones actuales, bar

FCT_a = factor de corrección por temperatura en las condiciones actuales.

Los valores de FCT_n y FCT_a deben obtenerse del fabricante de los módulos.

El paso de sales en las condiciones normalizadas se calcula utilizando la ecuación siguiente :

$$\%P_{sn} = \frac{\left[P_{aa} - \frac{\Delta P_{ara}}{2} - P_{pa} - \pi_{ara} + \pi_{pa} \right] (C_{arn}) \cdot (C_{aa})}{\left[P_{an} - \frac{\Delta P_{arn}}{2} - P_{pn} - \pi_{arn} + \pi_{pn} \right] (C_{ara}) \cdot (C_{an})} \cdot \%P_{sa}$$

$\%P_{sn}$ = Porcentaje de paso de sales normalizado

$\%P_{sa}$ = Porcentaje de paso de sales en las condiciones actuales

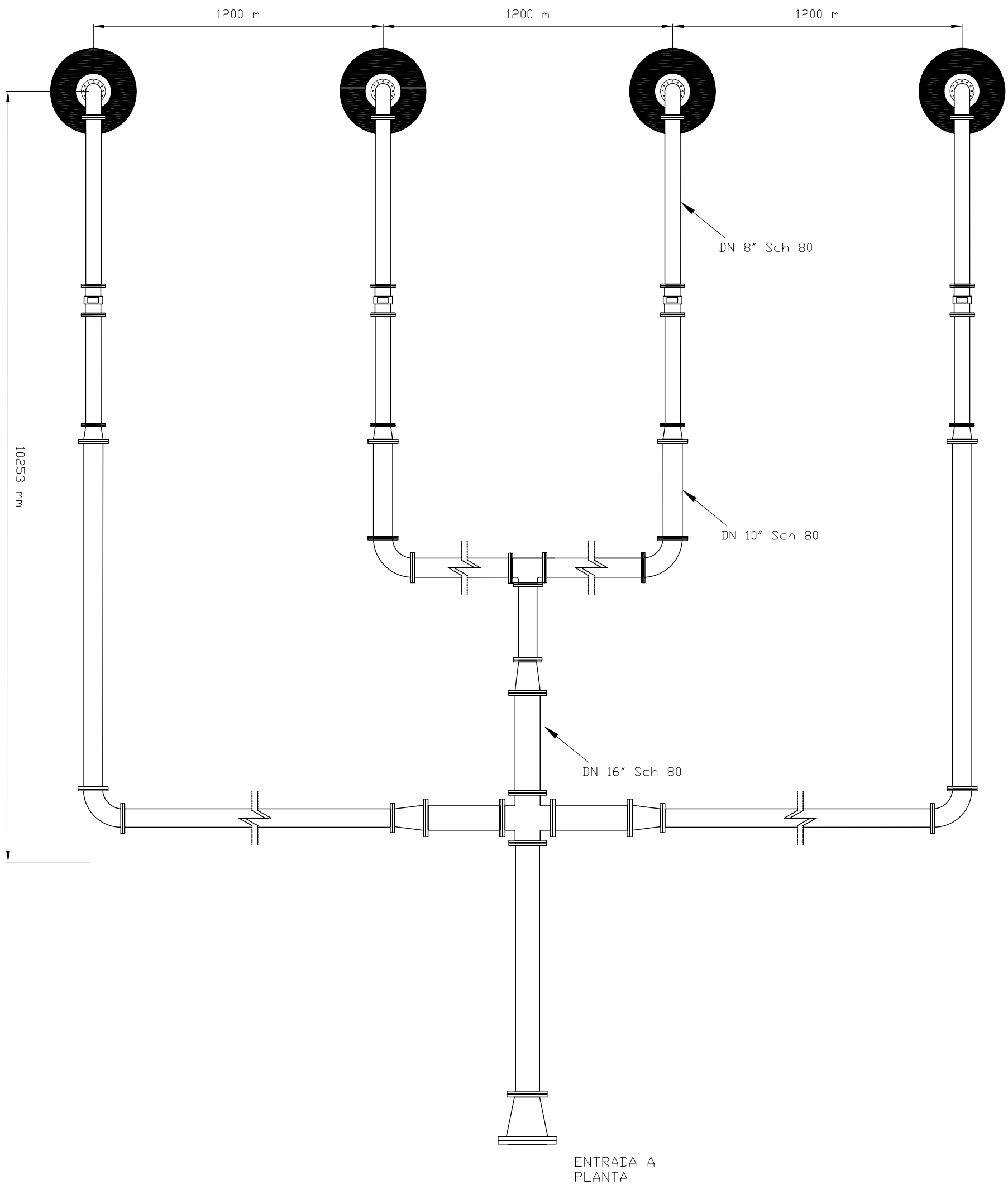
C_{arn} = Concentración promedio de la solución en el interior del módulo en las condiciones normalizadas, expresada en mg/l como NaCl

C_{ara} = Concentración promedio de la solución en el interior del módulo en las condiciones actuales, expresada en mg/l como NaCl

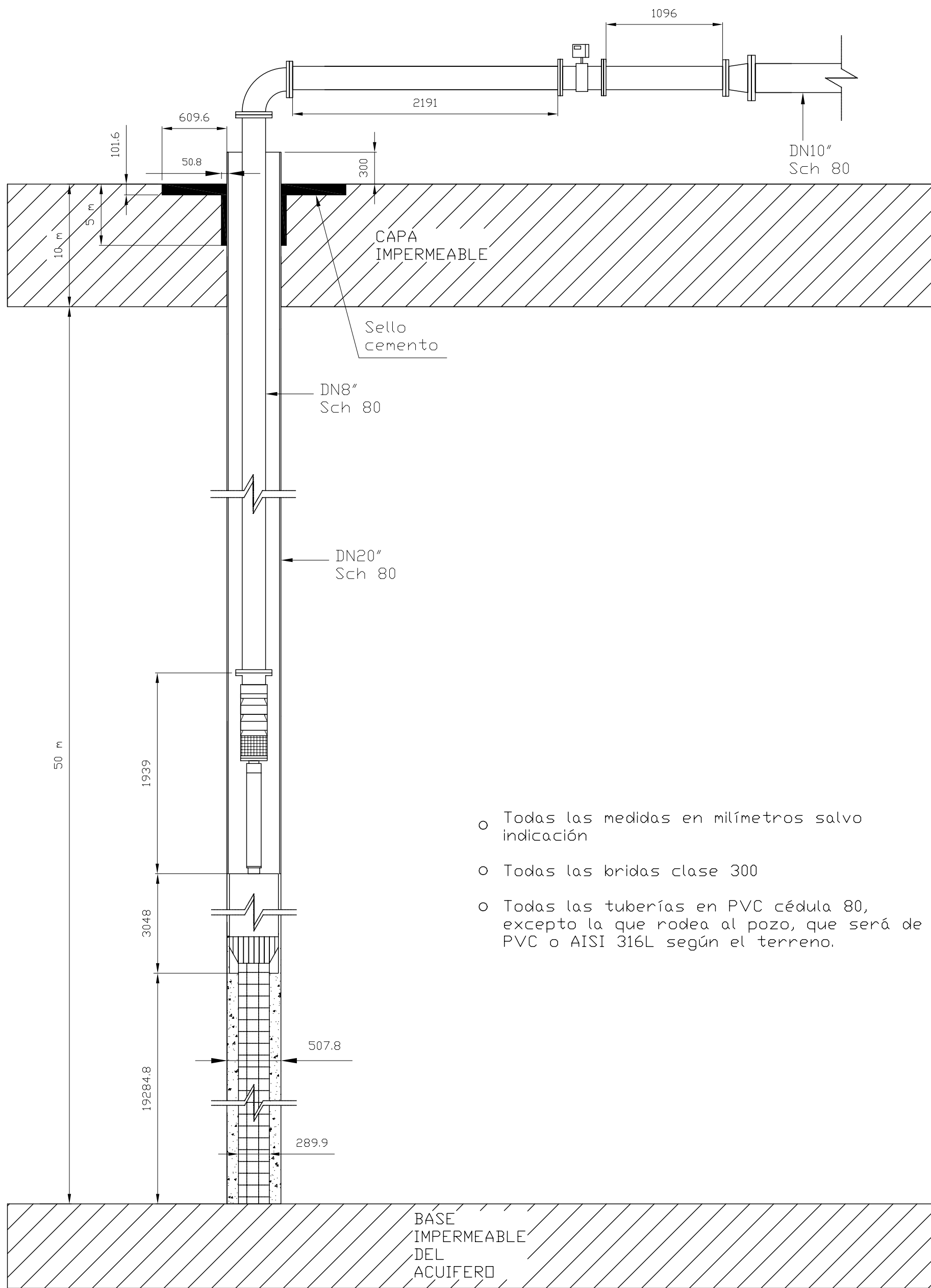
C_{an} = Concentración de la solución de aporte en las condiciones normalizadas, expresada en mg/l como NaCl

C_{aa} = Concentración de la solución de aporte en las condiciones actuales, expresada en mg/l como NaCl

PLANOS

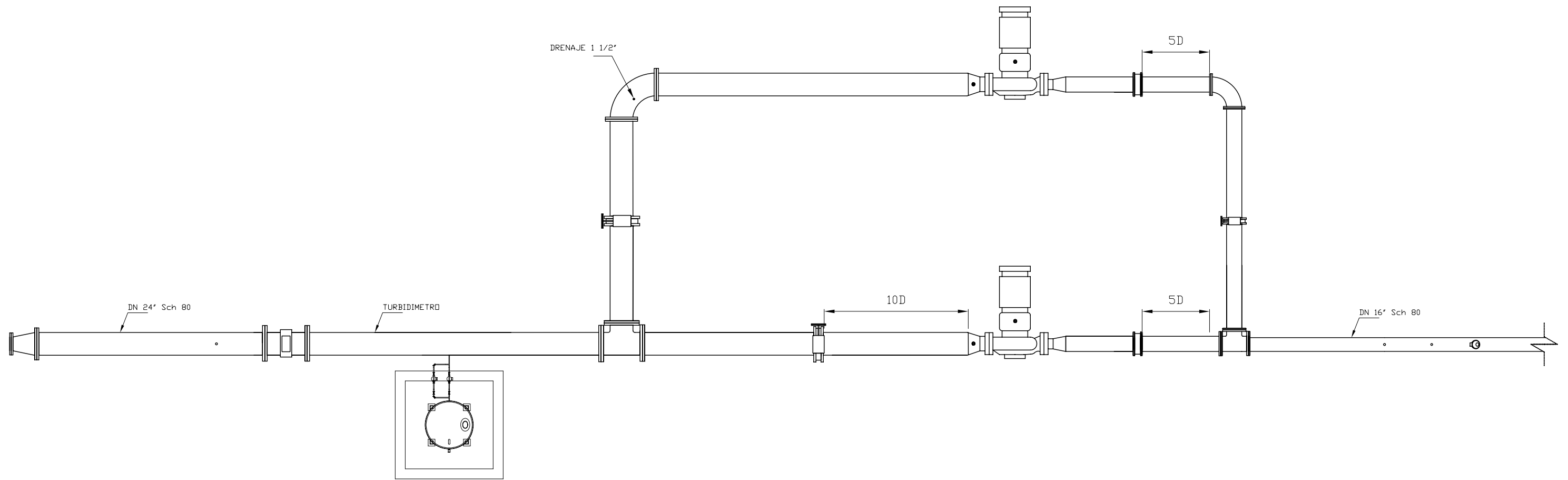


Realizado por:		Título plano:	NºPlano:
David Carrascosa Amaya		PLANTA DETALLE DE LOS POZOS	01
Firma	Fecha de realización:	Proyecto:	
	26-IX-2005	Desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa para el abastecimiento de agua potable a una ciudad del litoral de Málaga	

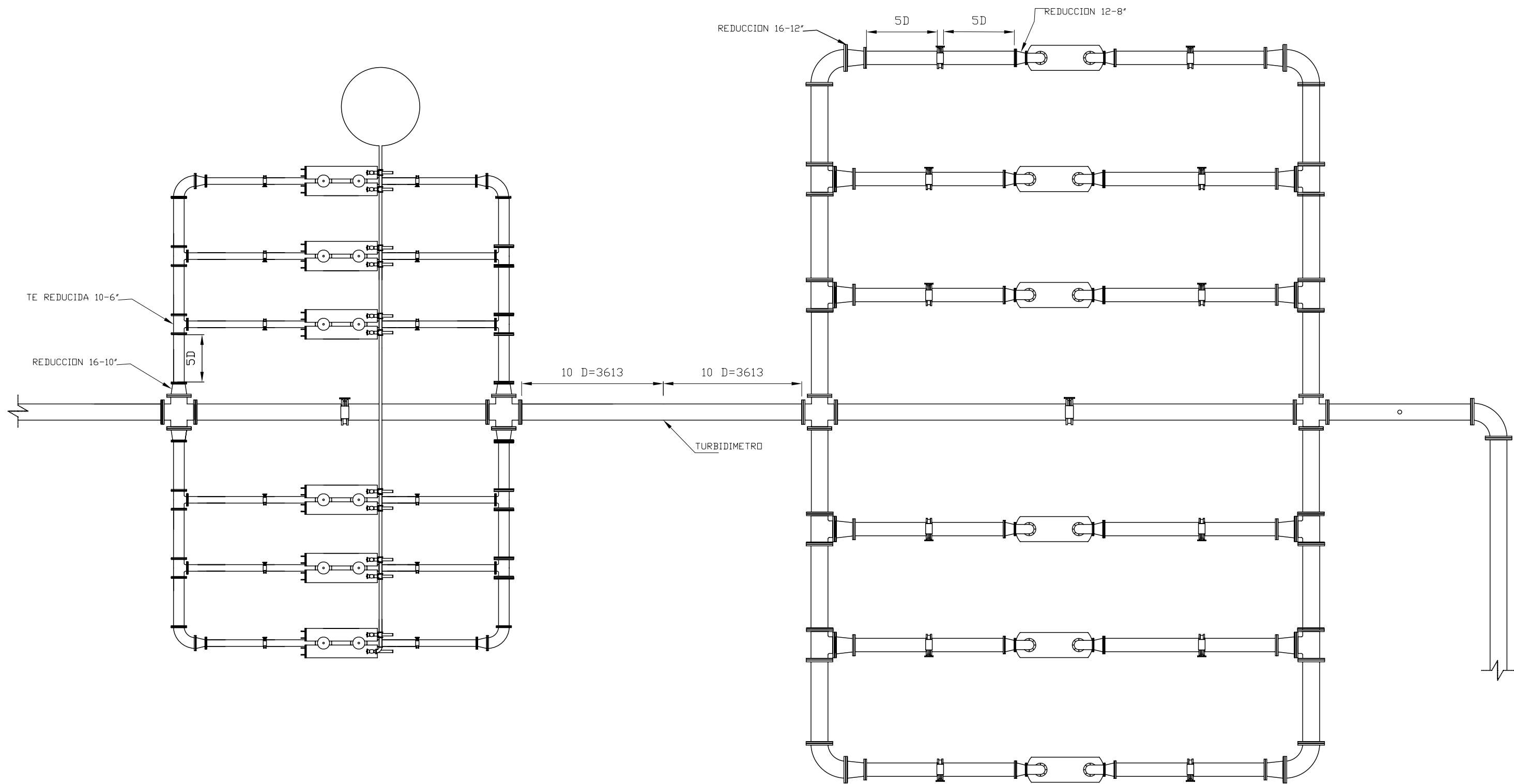


- Todas las medidas en milímetros salvo indicación
- Todas las bridas clase 300
- Todas las tuberías en PVC cédula 80, excepto la que rodea al pozo, que será de PVC o AISI 316L según el terreno.

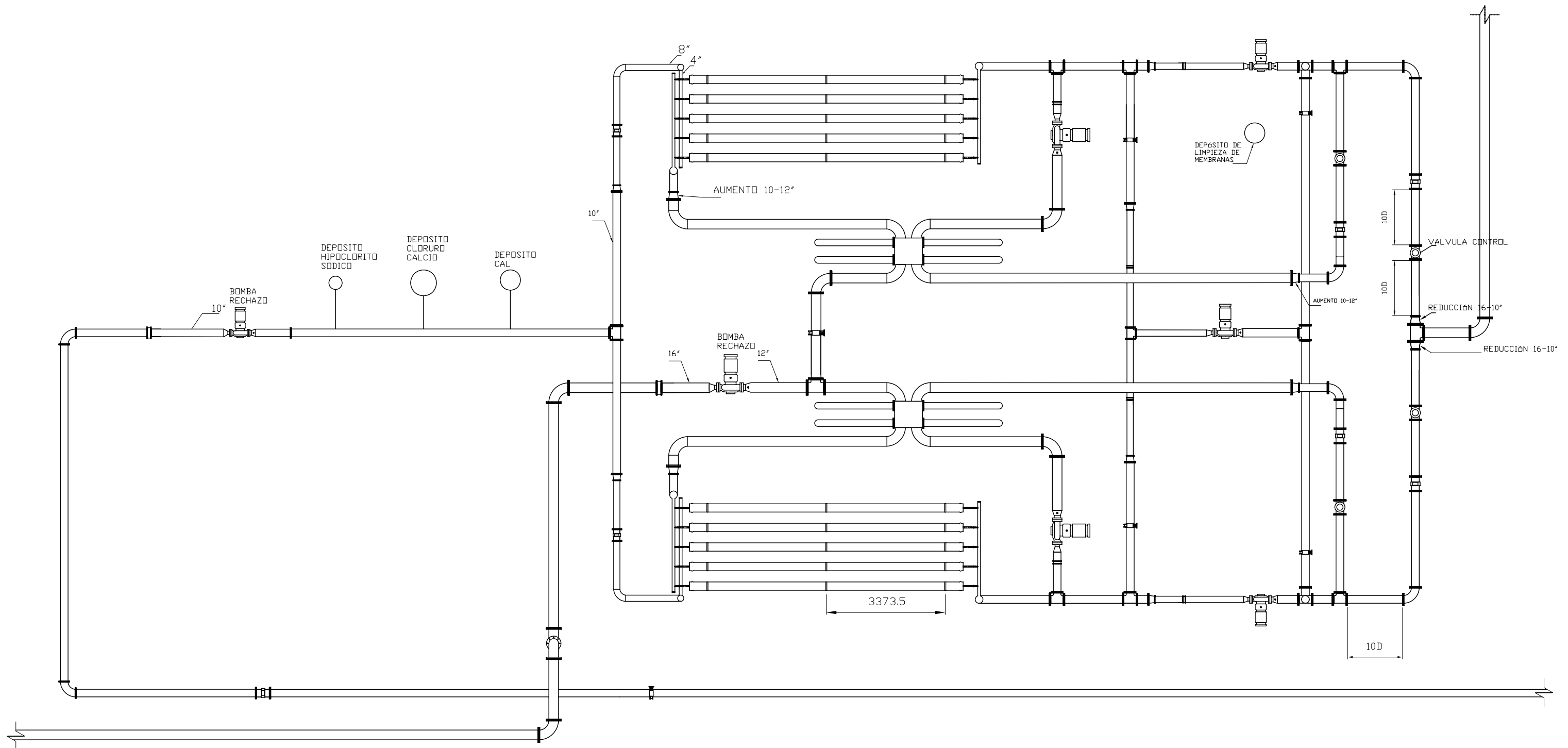
Realizado por:		Título plano:	NºPlano:
David Carrascosa Amaya		ALZADO DETALLE DE LOS POZOS	02
Firma	Fecha de realización:	Proyecto:	
	26-IX-2005	Desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa para el abastecimiento de agua potable a una ciudad del litoral de Málaga	



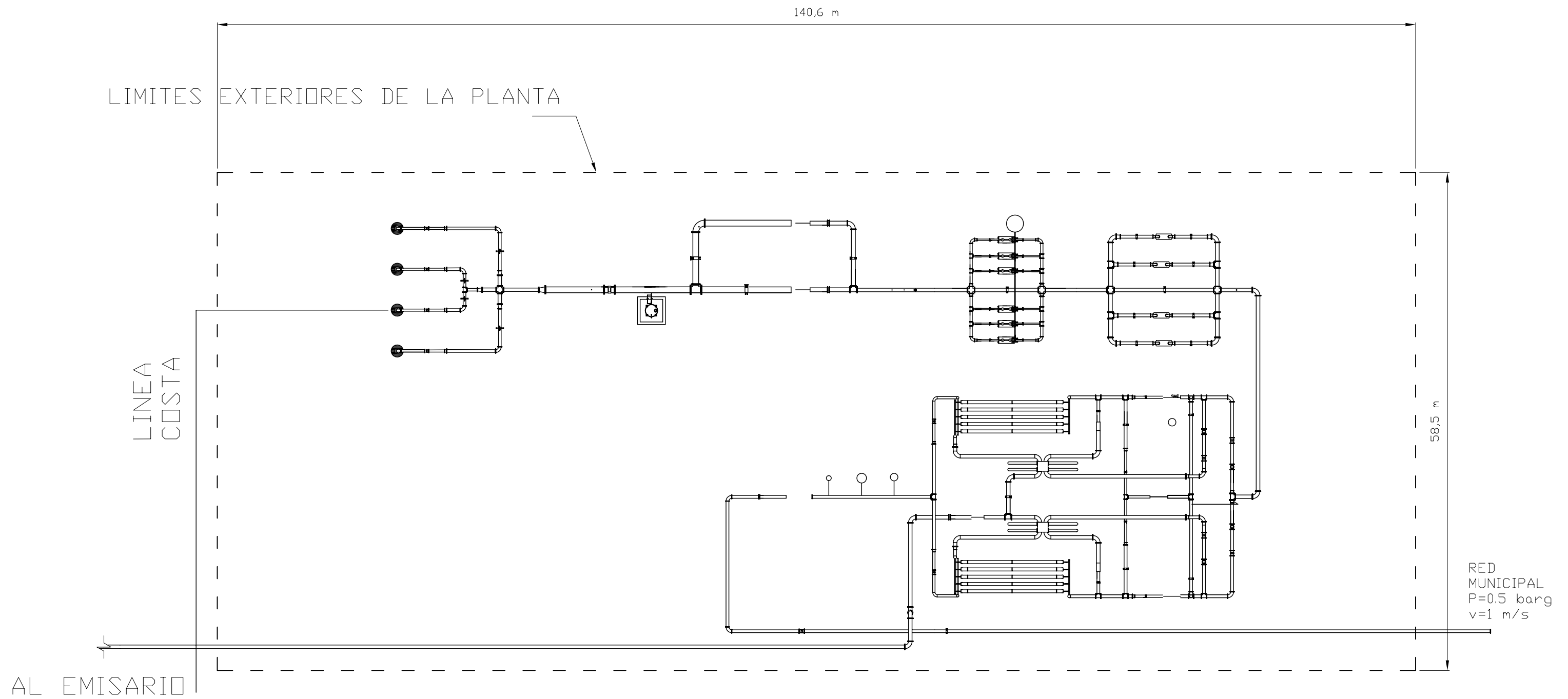
Realizado por:		Título plano:	NºPlano:
David Carrascosa Amayo		PLANTA ENTRADA A PLANTA	03
Firma	Fecha de realización:	Proyecto:	
	26-IX-2005	Desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa para el abastecimiento de agua potable a una ciudad del litoral de Málaga	



Realizado por:		Título plano:	NºPlano:
David Carrascosa Amaya		PLANTA FILTROS Y ESTERILIZADORES	04
Firma	Fecha de realización:	Proyecto:	
	26-IX-2005	Desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa para el abastecimiento de agua potable a una ciudad del litoral de Málaga	



Realizado por:		Título plano:	NºPlano:
David Carrascosa Amaya		PLANTA ZONA ÓSMOSIS INVERSA	05
Firma	Fecha de realización:	Proyecto:	
	26-IX-2005	Desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa para el abastecimiento de agua potable a una ciudad del litoral de Málaga	



Realizado por:		Título plano:	NºPlano:
David Carrascosa Amaya		PLANTA DE LA PLANTA(Sin emisario)	06
Firma	Fecha de realización:	Proyecto:	
	26-IX-2005	Desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa para el abastecimiento de agua potable a una ciudad del litoral de Málaga	

**PLIEGO DE
CONDICIONES**

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

Artículo 1. Interpretación y validez del pliego

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares contiene aquellas normas que, salvo autorización escrita de la Dirección Facultativa (DF) se aplicarán en la presente obra.

En lo especificado en este Pliego regirán las disposiciones indicadas en el vigente Pliego de Condiciones, en lo que sea de aplicación, siempre que no contradiga las estipulaciones del Contrato para la ejecución de las obras o el presente texto.

Artículo 2. Forma general de interpretación de los trabajos

El orden de prelación de documentos del proyecto, de mayor a menor, queda fijado de la siguiente forma :

Planos – Mediciones y Presupuesto – Pliego de Condiciones – Memoria

Si por cualquier circunstancia fuese necesario ejecutar alguna variación en las obras a realizar, se redactará el correspondiente proyecto reformado, el cual desde el día de la fecha en que se redacte, se considerará parte integrante del proyecto primitivo y, por tanto, sujeto a las mismas especificaciones de todos y cada uno de los documentos de éste en cuanto no se le opongan explícitamente.

Artículo 3. Condiciones generales de la mano de obra

Con independencia de las estipulaciones contenidas en los Pliegos generales facultativos y legales, serán exigibles a todo el personal a admitir en la obra, las siguientes condiciones :

3.1. Profesionales

Con excepción del peonaje no cualificado, todo el personal deberá acreditar los conocimientos técnicos por las corporaciones sindicales y gremiales para la definición de las diversas categorías laborales.

3.2. Asistenciales

Estar debidamente asegurados de acuerdo con la legislación vigente. La DF podrá exigir la presentación de los correspondientes justificantes, tanto de idoneidad como de seguros asistenciales y sociales.

Artículo 4. Condiciones que deberán satisfacer los materiales

4.1. Introducción

En el Artículo 7 de este Pliego se concretan las condiciones para los materiales más usuales en la construcción a los cuales se hará referencia cuando estén incluidos en distintas unidades de obra o trabajos a realizar. En cada uno de estos casos, se concretarán las condiciones que difieran de las generales.

Para los materiales no incluidos en el Artículo 7, se anunciarán de igual modo, las condiciones generales y particulares que sean necesarias. Para los materiales, en lo no especificado en el articulado de este Pliego, regirá la normativa existente, en lo que sea de aplicación.

4.2. Control de ensayos

Se especificarán los distintos controles y ensayos (según la normativa vigente) a que serán sometidos los distintos materiales utilizados.

Antes de proceder al empleo de los materiales, serán examinados y aceptados por la DF, quien podrá disponer, si así lo considera, todas las pruebas, análisis, ensayos, etc., hasta su definitiva aprobación. Los gastos de dichos ensayos, serán del exclusivo cargo de la EC

Los ensayos concretos a realizar sobre el hormigón y el acero se describen en 7.1.2 y 7.1.3. respectivamente.

4.3. Otros

La EC podrá proveerse de materiales y aparatos a utilizar en las obras objeto de este Pliego, en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las especificaciones técnicas exigidas en el proyecto.

4.4. Responsabilidades

Hasta que tenga lugar la recepción definitiva de las obras ejecutadas, la EC es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan acarrear, debido a la mala ejecución o la deficiente calidad de los materiales empleados, sin que le otorgue justificación alguna la circunstancia de que ni la DF ni sus subalternos le hayan llamado la atención, e incluso, aunque hayan sido valoradas en las certificaciones parciales de la obra.

Artículo 5. Acopios

Las superficies utilizadas deberán acondicionarse para ello, y una vez finalizado el acopio, se deberán restituir a su natural estado. Todos los gastos e indemnizaciones, en su caso, que se deriven de la utilización de superficies para acopios, serán cuenta del Contratista.

Artículo 6. Precauciones especiales durante la ejecución de las obras

6.1. Drenaje

Durante las distintas etapas de la construcción, las obras se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje.

6.2. Heladas

Si existe temor de que se produzcan heladas, el Contratista de las obras protegerá todas las zonas que pudieran quedar perjudicadas por sus efectos. Las partes de obras dañadas se levantarán y reconstruirán a su costa, de acuerdo con lo que se señale en este Pliego.

6.3. Incendios

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios y a las instrucciones complementarias que figuren en el presente proyecto.

En todo caso adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios y será responsable de evitar la propagación de los que se requieran para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se puedan producir.

Artículo 7. Condiciones generales de los materiales

7.1. Hormigones

7.1.1. Características

1. El hormigón de la estructura tendrá una resistencia característica de 250 kg/cm² y el de la cimentación 200 kg/cm². El hormigón de limpieza de zapatas y zanjas tendrá una de 125 kg/cm².
2. Los valores de la resistencia a compresión a alcanzar en los tiempos se indican en el siguiente cuadro.

Hormigón	3 días	7 días	28 días
H-125	50 kg/cm ²	83 kg/cm ²	125 kg/cm ²
H-200	80 kg/cm ²	130 kg/cm ²	200 kg/cm ²
H-250	100 kg/cm ²	160 kg/cm ²	250 kg/cm ²

3. En todo caso, los hormigones se consolidarán por vibración y los vibradores serán aprobados previamente por la DF. Se admiten, como norma general, los vibradores de superficie utilizados para la ejecución de elementos con encofrados por una sola cara. Se aplicarán corriéndolos de tal modo que la superficie vaya quedando uniformemente húmeda, con una velocidad de 0,8-1,5 metros por minuto según la potencia del vibrador y la consistencia del hormigón. Los vibradores de penetración deben sumergirse rápidamente en la masa, mantenerse de 5 a 15 segundos y retirarlos con lentitud y velocidad constante. Se introducirá la punta del vibrador hasta que penetre algunos centímetros en la tongada anteriormente compactada, manteniendo el aparato vertical o ligeramente inclinado. La distancia del vibrador al encofrado no será superior a 0,1 metros, para evitar la formación de coqueas, y se tendrá especial cuidado de no tocar las armaduras, con el fin de evitar que éstas puedan despegarse de elementos inferiores ya fraguados.
La distancia entre los puntos de inmersión será la adecuada para producir en la superficie del hormigón una humectación brillante, y en general no excederá de 0,5 metros. Es preferible la inmersión en un gran número de puntos a aumentar el tiempo del vibrador en puntos más distanciados. El vibrador no deberá actuar sobre las armaduras, ya que la acción sobre éstas reduce notablemente su adherencia al hormigón.
4. En todo caso, el hormigón cumplirá con lo especificado en los correspondientes artículos de la EH-91, tanto en sus propiedades como en su dosificación, fabricación, transporte, consolidación y curado.
5. Para el hormigonado en tiempo frío o caluroso se seguirá lo indicado en dicha norma. Se dejará de hormigonar si la temperatura desciende por debajo de 4° C.
6. La comprobación de calidad del hormigón se hará de acuerdo con las disposiciones de la norma EH-91.

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

En este capítulo se regulará el desarrollo general de las obras desde el punto de vista facultativo, económico y legal.

I. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS

I.1. Dirección facultativa

Artículo 1. Facultades de la Dirección Facultativa

Además de las facultades particulares que corresponden a la DF, expresadas en los artículos siguientes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible sobre las personas y objetos situados en la obra y con relación con los trabajos que para la ejecución del Contrato se lleven a cabo, pudiendo incluso, con causa justificada, recusar en nombre de la Propiedad al Contratista, si considera que adoptar esta medida es útil y necesario para la debida marcha de la obra.

Con este fin el Contratista se obliga a designar sus representantes de obra, los cuales atenderán todas las indicaciones de la DF. Asimismo el Contratista se obliga a facilitar a la DF la inspección y vigilancia de todos los trabajos y a proporcionar la información necesaria sobre el incumplimiento de las concesiones de la Contrata y el ritmo de realización de los trabajos, tal como está previsto en el plan de obra.

A todos efectos, el Adjudicatario estará obligado a tener en la obra durante la ejecución de los trabajos el personal técnico, los capataces y encargados necesarios que a juicio de la DF sean necesarios para la debida conducción y vigilancia de las obras e instalaciones.

Artículo 2. Responsabilidades de la DF en el retraso de la obra

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido con los plazos de obra estipulados, alegando como causa la carencia de planos y órdenes de la DF, a excepción del caso en que la Contrata, en uso de las facultades que en este artículo se le concedan, los haya solicitado por escrito a la DF y ésta no los haya entregado. En este único caso, el Contratista quedará facultado para recurrir entre los amigables componedores previamente designados, los cuales decidirán sobre la procedencia o no del requerimiento. En caso afirmativo, la DF será la responsable del retraso sufrido, pero únicamente en las unidades de obra afectadas por el requerimiento del Contratista y las subsiguientes que con ellas estuvieran relacionadas.

Artículo 3. Cambio del Director de Obra

Desde que se de inicio a las obras, hasta su recepción provisional, el Contratista designará un jefe de obra como representante suyo autorizado, que

cuidará de que los trabajos sean llevados con diligencia y competencia. Este jefe estará expresamente autorizado por el Contratista para percibir notificaciones de las órdenes de servicios y de las instrucciones escritas o verbales emitidas por la DF y para asegurar que dichas órdenes se ejecuten. Asimismo estará expresamente autorizado para firmar y aceptar las mediciones realizadas por la DF.

Cualquier cambio que el Contratista desee efectuar respecto a su representante y personal cualificado y en especial del jefe de obra deberá comunicarlo a la DF, no pudiendo producirse el relevo hasta la aceptación por parte de la DF de las personas designadas.

Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo de mayor categoría técnica de los empleados en las obras, y en ausencia de todos ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial del Contratista en el contrato de adjudicación, aún en ausencia o negativa del recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

I.2. Obligaciones y derechos del Contratista

Artículo 4. Obligaciones y derechos del Contratista

El Director de Obra podrá exigir al Contratista la necesidad de someter a control todos los materiales que se han de colocar en las obras, sin que éste control previo sea una recepción definitiva de los materiales. Igualmente, tiene el derecho a exigir cuantos catálogos, certificados, muestras y ensayos que estime oportunos para asegurarse de la calidad de los materiales.

Una vez adjudicada la obra definitiva y antes de su inicio, el Contratista presentará al técnico encargado, los catálogos, muestras, etc., que se relacionen en este pliego, según los distintos materiales. No se podrán emplear materiales sin que previamente hayan sido aceptados por la Dirección de Obra. Si el fabricante no reúne la suficiente garantía a juicio del Director de Obra, antes de instalarse comprobará sus propiedades en un laboratorio oficial, en el que se realizarán las pruebas necesarias.

El control previo no supone su recepción definitiva, pudiendo ser rechazados por la Dirección de Obra aún después de colocados si no cumplen con las condiciones exigibles en el presente Pliego de Condiciones, debiendo ser reemplazados por otros que cumplan con las calidades exigibles y a cargo de la Contrata.

Artículo 5. Remisión de solicitud de ofertas

Por la DF se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector para la realización de las instalaciones especificadas en el presente Proyecto, para lo se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado proyecto o un extracto con los datos suficientes. En caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar, además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación. El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

Artículo 6. Presencia del Contratista en la obra

El Contratista, por sí o por medio de sus representantes o encargados estará en la obra durante la jornada legal de trabajo y acompañará a la DF en las visitas que hará en la obra durante la jornada laboral.

Por sí o por medio de sus representantes, asistirá a las reuniones de obra que se convoquen, no pudiendo justificar por motivo de ausencia ninguna reclamación a las órdenes emitidas por la DF en el transcurso de las reuniones.

Artículo 7. Oficina de obra

El Contratista habilitará una oficina de obra en la que existirá una mesa o tablero adecuado para extender y consultar sobre él los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista una copia autorizada de todos los documentos del proyecto que le hayan sido facilitados por la DF y el libro de órdenes.

Artículo 8. Residencia del Contratista

Desde que se dé comienzo a las obras hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse de él sin previo conocimiento de la DF y notificándole expresamente la persona que, durante su ausencia, le ha de representar en todas sus funciones. Cuando se falte a lo anteriormente prescrito, se considerarán válidas las notificaciones que se efectúen al individuo de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de la Contrata, intervengan en las obras y, en ausencia de ellos, las depositadas en la residencia designada como oficial de la Contrata en los documentos del proyecto, aún en ausencia o negativa por parte de los dependientes de la Contrata.

Artículo 9. Recusación por el Contratista del personal nombrado por la DF

El Contratista no podrá recusar al personal técnico de cualquier índole, dependiente de la DF o de la propiedad, encargado de la vigilancia de las obras, ni pedir por parte de la propiedad que se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo 12, pero sin que por ésta causa pueda interrumpirse la marcha de los trabajos.

I.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares

Artículo 10. Libro de Órdenes

El Contratista tendrá siempre en la oficina de la obra y a disposición de la DF un libro de órdenes con sus hojas foliadas por duplicado y visado por el colegio profesional correspondiente. En el libro se redactarán todas las órdenes que la DF crea oportuno dar al Contratista para que adopte las medidas de todo género que puedan sufrir los obreros.

Cada orden deberá ser firmada por la DF y por el Contratista o por su representante en obra. Una copia de cada orden quedará en poder de la DF.

El hecho de que en el libro no figuren redactadas las órdenes que ya preceptivamente tiene la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en las normas oficiales, no supone atenuante alguno para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista, no podrá tener en cuenta ningún acontecimiento o documento que no haya quedado mencionado en su momento oportuno en el libro de órdenes.

Artículo 11. Reclamaciones contra la DF

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes de la DF sólo podrá presentarlas a través de la misma ante la Propiedad, si ellas son de orden económico, y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico o facultativo de la Dirección Técnica, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar sus responsabilidades, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida a la DF, el cual podrá limitar su respuesta al acuse de recibo, que en todo caso será obligado para este tipo de reclamaciones.

Artículo 12. Despidos por insubordinación, incapacidad y mala fe

Por falta de respeto y obediencia a la DF o al personal encargado de la vigilancia de las obras, por manifiesta incapacidad, o por actos que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de despedir a sus dependientes y operarios a requerimiento de la DF.

Artículo 13. Orden de los trabajos

El Director de Obra fijará el orden que ha de seguirse en la realización de las distintas partes que componen este proyecto, así como las normas a seguir en todo lo no regulado en el presente proyecto.

En general, la determinación del orden de los trabajos será facultad potestativa de la Contrata, salvo en aquellos casos en que, por cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, estime conveniente su variación la Dirección.

Éstas órdenes deberán comunicarse precisamente por escrito a la Contrata y ésta estará obligada a su estricto cumplimiento, siendo directamente responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

Artículo 14. Replanteo

Antes de dar comienzo las obras, la DF ayudada por el personal subalterno necesaria y en presencia del Contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. Una vez finalizado el mismo, se levantará acta de comprobación del replanteo.

Los replanteos de detalle se llevarán a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes de la DF, quién realizará las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante.

El Contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

El Contratista está obligado a satisfacer los gastos de replanteo, tanto general como parciales, y sucesivas comprobaciones. Asimismo, correrán a cuenta del Contratista los que originen el alquiler o adquisición de los terrenos para depósitos de maquinaria y materiales, los de protección de materiales y obra contra todo deterioro, daño e incendio, cumpliéndose los requisitos vigentes para almacenamiento de carburantes desde los puntos de vista de seguridad y accidentes, los de limpieza y evacuación de los desperdicios, basura, escombros, etc., los motivados por desagües, señalización y demás recursos.

También correrán a cargo del Contratista los gastos totales de la DF y desplazamiento de personal y material para la inspección y vigilancia, recepción y liquidación.

Artículo 15. Comienzo de las obras

El Contratista deberá dar comienzo a las obras en el plazo marcado por el Contrato de adjudicación de la obra, desarrollándose en las formas necesarias, para que dentro de los períodos parciales en aquel reseñados, queden ejecutadas las obras correspondientes y que, en consecuencia la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo exigido en el Contrato.

El Contratista, obligatoriamente, y por escrito, deberá dar cuenta a la DF del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas desde su inicio. Previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el artículo 15.

Artículo 16. Plazo de ejecución

Los plazos de ejecución totales y parciales, indicados en el Contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo, que no exceda de 7 días a partir

de la fecha de la Contrata, y deberán quedar terminadas en el plazo improrrogable de 12 meses, contados a partir de la fecha del acta de replanteo.

El Contratista estará obligado a cumplir con los plazos que se señalen en el Contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables. No obstante, además de lo anteriormente indicado, los plazos podrán ser objeto de modificaciones cuando así resulte por cambios determinados por el Director de Obra debidos a exigencias de la realización de las obras y siempre que tales cambios influyan realmente en los plazos señalados en el Contrato.

Si por cualquier causa ajena por completo al Contratista, no fuera posible empezar los trabajos en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidos una vez empezados, se concederá por el Director de Obra la prórroga estrictamente necesaria.

Artículo 17. Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto que haya servido de base a la Contrata, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue la DF al Contratista, siempre que éstas encajen dentro de la cifra a que asciendan los presupuestos aprobados.

Artículo 18. Trabajos defectuosos

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan con las condiciones exigidas en las condiciones generales de índole técnico del Pliego de Condiciones en la edificación, y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la DF o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la DF o su representante en la obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnan las condiciones exigidas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o finalizados éstos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a costa de la Contrata.

Si ésta no estimase justa la resolución, y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá con lo establecido en el artículo 22.

Artículo 19. Aclaraciones y modificaciones de los documentos del Proyecto

Cuando se trata de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o las órdenes e instrucciones de los planos, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán por escrito al Contratista, estando obligado éste a su vez, a devolver, ya los originales, ya las copias, suscribiendo con su firma, que figura asimismo en todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto de la Propiedad como de la Dirección Técnica.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos, crea oportuno hacer el Contratista, habrá de dirigirla, dentro del plazo de 15 días a la DF, la cual dará al Contratista el correspondiente recibo si éste lo solicitase.

Artículo 20. Ampliación del Proyecto por causas imprevistas de fuerza mayor

Si por una causa de fuerza mayor o independencia de la voluntad del Contratista y siempre que esta causa sea distinta de las que se especifiquen como la recesión en el capítulo de condiciones generales de índole legal, aquel no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la Contrata, previo informe de la DF.

Para ello, el Contratista expondrá por escrito dirigido a la DF, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando la prórroga que por dicha causa se solicita.

Artículo 21. Obras ocultas

De todos los trabajos donde haya unidades de obra que tengan que quedar ocultas a la terminación de la obra, se levantarán los planos precisos e indispensables para que queden perfectamente definidos. Estos documentos se extenderán por triplicado y entregados uno al Propietario, otro a la DF y el tercero al Contratista, firmados todos ellos por estos dos últimos.

Dichos planos, que deberán ir acotados, se considerarán indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

Artículo 22. Vicios ocultos

Si la DF tuviese fundadas razones para sospechar la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier momento antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que supone defectuosos. Los gastos de demoliciones y reconstrucciones que se originen correrán a cargo del Contratista, siempre que los vicios existan realmente, y a cargo del Propietario en caso contrario.

Artículo 23. Características de los materiales, aparatos y su procedencia

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas las clases en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas en el Contrato, que estén perfectamente preparados para el objeto a que se apliquen y se ajuste a lo prescrito en el Pliego de Condiciones y a las instrucciones de la DF.

Artículo 24. Empleo de los materiales y aparatos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y aparatos que no fuesen de la calidad requerida, sin que antes sean examinados y aceptados por la DF, en los términos prescritos en los Pliegos, depositando al efecto el Contratista las muestras y modelos necesarios previamente contrastados, para efectuar en ellos las comprobaciones, pruebas o ensayos prescritos en el Pliego de Condiciones vigente en la obra. Los gastos que ocasionen dichas comprobaciones, pruebas, etc., serán a cargo del Contratista.

Artículo 25. Materiales no utilizables

El Contratista, a su costa, transportará y colocará agrupándolos ordenadamente en el sitio de la obra en el que por no causar perjuicios en la marcha de los trabajos se le designe, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no serán utilizables en la obra. Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones Particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese prescrito nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene la DF, pero acordando previamente con el Contratista la justa tasación de dichos materiales y los gastos de dichos transportes.

Artículo 26. Materiales y aparatos defectuosos

Cuando los materiales no fuesen de la calidad requerida o no estuviesen preparados, la DF dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas, o a falta de estas a las órdenes de la DF. La DF podrá permitir el empleo de aquellos materiales defectuosos que mejor le parezcan o aceptar el empleo de otros de calidad superior a la indicada en los Pliegos. Si no le fuese posible al Contratista suministrarlos en el modo requerido por ellos, se descontará en el primer caso la diferencia de precio del material requerido con el defectuoso empleado y no teniendo derecho el Contratista a indemnización ninguna en el segundo.

Artículo 27. Medios auxiliares

Serán de cuenta y riesgo del Contratista los andamiajes, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha de los trabajos se necesiten, sin que el Propietario tenga responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares. Todos estos, siempre que no se haya estipulado lo contrario en las condiciones particulares de la obra, quedarán a cargo del Contratista, sin que éste pueda fundar reclamación alguna en la insuficiencia de dichos medios, cuando éstos estén detallados en el Presupuesto y consignados por partidaalzada o incluidos en los precios de las unidades de obra.

En caso de rescisión por incumplimiento del Contrato por parte del Contratista, los medios auxiliares del Constructor podrán ser utilizados libre y gratuitamente por la Administración, para la terminación de las obras.

En cualquier caso, todos estos medios auxiliares quedarán en propiedad del Contratista una vez terminadas las obras, pero no tendrá derecho a reclamación alguna por los desperfectos que su uso haya provocado.

Artículo 28. Medidas de seguridad

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes sobre la seguridad e higiene en el trabajo, tanto en lo que se refiere al personal de la obra como a terceros.

Como elemento primordial de seguridad se prescribirá el establecimiento de la señalización necesaria tanto durante el desarrollo de las obras, como durante su explotación, haciendo referencia bien a peligros existentes o a las limitaciones de las estructuras.

Se utilizarán, cuando existan, las correspondientes señales establecidas por el Ministerio competente, y en su defecto por departamentos nacionales u organismos internacionales.

I.4. Recepción provisional,plazo de garantía y recepción definitiva

Tanto en la recepción provisional, como definitiva, se observará lo regulado en el artículo 169 y siguientes del Reglamento de Contratación y en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales.

Artículo 29. Recepción provisional

Terminado el plazo de ejecución de las obras y puesta en servicio, se procederá a la recepción provisional de las mismas, estando presente la comisión que designe el Contratista y el Director de Obra. Se realizarán todas las pruebas que el Director de Obra estime oportunas para el cumplimiento de todo lo especificado en

este Pliego, y la buena ejecución y calidad de las mismas, siendo inapelable el fallo que dicho Director, a la vista del resultado de las mismas, dé sobre la validez o invalidez de las obras ejecutadas.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por recibidas provisionalmente comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía señalado en el presente Pliego y procediéndose en el plazo más breve posible a su medición general y definitiva, con asistencia del Contratista o su representante.

Cuando las obras no se encuentren en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta, especificando las premisas que el Director de Obra debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para ello.

Artículo 30. Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario, se procederá a disponer todo lo que se precise para la vigilancia, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por parte de la Contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de rescisión del Contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la DF fije.

Después de la recepción provisional de la obra y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del Contratista, no deberá haber en la misma más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su conservación, limpieza y trabajos que fuera preciso realizar.

En todo caso, ocupada o no la obra, el Contratista está obligado a revisar y repasar la obra durante el plazo expresado, procediendo de la forma prescrita en el presente Pliego.

El Contratista está obligado a disponer a su costa, un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la DF.

Artículo 31. Plazo de garantía

El plazo de garantía será de un año a contar desde la fecha de su recepción provisional. Durante el período de garantía, todas las reparaciones derivadas de una mala construcción, imputables al Contratista, serán abonadas por éste.

Si el Director de Obra tuviera fundadas razones para creer en la existencia de vicios de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar antes de la recepción definitiva las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos. Los gastos derivados de dichas demoliciones correrán a cargo del Contratista, siempre que existan tales vicios. En caso contrario correrán a cargo de la Propiedad.

Artículo 32. Recepción definitiva

Pasado el plazo de garantía, si las obras se encuentran en perfecto estado de uso y conservación, de acuerdo con el presente Pliego, se darán por recibidas definitivamente.

Una vez recibidas definitivamente se procederá de inmediato a su liquidación y resolución de la fianza de la que se sustraerán las sanciones o cargas que procedan conforme a lo estipulado en el presente Pliego.

En caso de que las obras no se encuentren en estado para la recepción definitiva, se procederá de igual forma que para la recepción provisional, sin que el Contratista tenga derecho a percibir cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía.

I.5. CASOS NO PREVISTOS EN ESTE PLIEGO

El Director de Obra dará las normas a seguir en todo aquello que no quede regulado en este Pliego de Condiciones.

II. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS

II.1. Base fundamental

Artículo 33. Alcance

Comprenderán las que afecten al coste y pago de las obras contratadas, al plazo y forma de las entregas, a las fianzas y garantías para el cumplimiento del Contrato establecido, a los casos que proceden las mutuas indemnizaciones y todas las que se relacionen con la obligación contraída por el Propietario a satisfacer el importe y la remuneración del trabajo contratado, una vez ejecutadas, parcial o totalmente por el Contratista, y de acuerdo con las condiciones convenidas, las que le fueren adjudicadas.

Artículo 34. Base fundamental

La base fundamental de estas condiciones es la de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y condiciones generales y particulares que rijan la construcción contratada.

II.2. Garantías de cumplimiento y fianzas

Artículo 35. Garantías

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del Contrato. Dichas referencias, si le son requeridas, las presentará el Contratista antes de la firma del Contrato.

Artículo 36. Fianzas

Si la obra se adjudica por subasta, el depósito para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de un 3 % como mínimo del total del presupuesto de la Contrata.

La persona o entidad a quien se haya adjudicado la ejecución de la obra, deberá depositar en el punto y plazo marcados en el anuncio de la subasta la fianza definitiva de estas y en su defecto, su importe será el 10% de la cantidad por la que se otorgue la adjudicación de la obra.

La fianza que se exigirá al Contratista se convendrá entre el Ingeniero y el Contratista, entre una de las siguientes :

- Depósito de valores públicos del Estado por un importe del 10% del presupuesto de la obra contratada
- Depósito en metálico de la misma cuantía indicada en el anterior punto
- Depósito previo en metálico de la misma cuantía del 10% del presupuesto mediante deducción del 5% efectuadas del importe de cada certificación abonada al Contratista.
- Descuento del 10% efectuado sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista.

Artículo 37. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negara a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por Administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el Propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

Artículo 38. Devolución de la fianza

La fianza será devuelta al Contratista en el plazo que no exceda de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de la certificación del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se halle emplazada la obra contratada, y no haya reclamación alguna contra aquel por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de jornales y/o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

III.3. Penalizaciones

Artículo 39. Importe de indemnización por retraso no justificado

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista, por causa de retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras contratadas, se fijará de entre cualquiera de los siguientes :

- Una cantidad fija durante el tiempo de retraso
- El importe de la suma de perjuicios materiales causados por la imposibilidad de ocupación del inmueble, previamente fijados
- El abono de un tanto por ciento anual sobre el importe del capital desembolsado a la terminación del plazo fijado y durante el tiempo que dure el retraso

La cuantía y el procedimiento a seguir para fijar el importe de la indemnización, entre los anteriores especificados, se obtendrán expresamente entre ambas partes contratantes, antes de la firma del Contrato. A falta de este previo convenio, la cuantía de la indemnización se entiende que será el abono por el Contratista al Propietario de un interés del 4,5 % anual sobre las sumas totales de las cantidades desembolsadas por el Propietario, debidamente justificadas y durante el plazo de retraso de la entrega de las obras, en las condiciones contratadas.

II.4. Precios y revisiones

Artículo 40. Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso por virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma :

El Contratista formulará por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La DF estudiará el que, según su criterio, debe utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulará por la DF el acta de avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, la DF propondrá a la Propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Contratista, o en otro caso, la segregación de la obra o instalación nueva, para ser ejecutada por Administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de preceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado, el Contratista estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle la DF y a concluir a satisfacción de éste.

De los precios así acordados se levantarán actas que firmarán por triplicado el Director de Obra, el Propietario y el Contratista o los representantes autorizados a estos efectos por estos últimos.

Artículo 41. Revisión de precios

Si los vigentes precios de jornales, cargas sociales y materiales, en el momento de firmar el Contrato, experimentan una variación oficial en más o menos del 5% podrá hacerse una revisión de precios a petición de cualquiera de las partes, que se aplicará a la obra que falte por ejecutar. En caso de urgencia podrá autorizarse la adquisición de materiales a precios superiores, siendo el abono de la diferencia con los contratos.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural que por ello que en principio no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante, y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que son características de determinadas épocas anormales, se admite durante ellas la rescisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en armonía con las oscilaciones de los precios del mercado. El Contratista puede solicitar la revisión en alza del Propietario en cuanto se produzca cualquier alteración de precio que repercuta aumentando los contratados. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o retomar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado y por causas justificadas, haya subido, especificándose y acordándose también previamente la fecha a partir de la cual se tendrá en cuenta y, cuando proceda, el acopio de materiales en la obra en el caso de que estuviese abonado total o parcialmente por el Propietario.

Si el Propietario o el Ingeniero en su representación no estuviese conforme con los nuevos precios de materiales que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, en cuyo caso se

tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales adquiridos por el Contratista merced a la información del Propietario.

Cuando entre los documentos aprobados por ambas partes figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de precios.

Artículo 42. Reclamaciones de aumentos de precios

Si el Contratista, antes de la firma del Contrato, no hubiese hecho la reclamación y observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión, reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del Presupuesto que se aprobase para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época en que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del Contrato, señalados en los documentos relativos a las Condiciones Generales o Particulares de índole técnica, sino en el caso de que la DF o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de la adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, puesto que esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

Artículo 43. Normas para la adquisición de los materiales

Si al Contratista se le autoriza a gestionar y adquirir los materiales, deberá presentar al Propietario los precios y las muestras de los materiales, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Si los materiales fuesen de inferior calidad a las muestras presentadas y aprobadas, el Contratista adquiere la obligación de rechazarlos hasta que se le entreguen otros de las calidades ofrecidas y aceptadas. A falta del cumplimiento de esta obligación, el Contratista indemnizará al Propietario con el importe de los perjuicios que por su incumplimiento se originen, cuya cuantía la evaluará el Ingeniero Director.

Artículo 44. Intervención administrativa del Propietario

Todos los documentos que deben figurar en las cuentas de administración llevarán la conformidad del representante en los partes de jornales, transportes y materiales, firmando su conformidad en cada uno de ellos.

Artículo 45. Mejora de obras

No se admitirá mejorar las obras, más que en el caso de que el Ingeniero haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo el caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero ordene también por escrito la ampliación de las contratadas.

Será condición indispensable que ambas partes convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales y los aumentos de todas las mejoras.

Artículo 46. Unidades de obra no conformes con el Proyecto

Si el Contratista, por causa justificada a juicio del Ingeniero, propusiera la ejecución de algún trabajo que no esté conforme con las condiciones de la Contrata y por causas especiales de excepción la estimase el Ingeniero, este resolverá dando conocimiento al Propietario y estableciendo contradictoriamente con el Contratista la rebaja del precio.

II.5. Medición, valoración y abono de las unidades de obra

Artículo 47. Medición, valoración y abono de las unidades de obra

El pago de obras realizadas se hará sobre certificaciones parciales que se practicarán mensualmente. Dichas certificaciones contendrán solamente las unidades de obra totalmente terminadas que se hubieran ejecutado en el plazo a que se refieran.

La relación valorada que figure en las certificaciones, se hará con arreglo a los precios establecidos y con la cubicación, planos y referencias necesarias para su comprobación.

La comprobación, aceptación o reparos deberán quedar terminadas por ambas partes en un plazo máximo de 15 días.

El Director de Obra expedirá las certificaciones de las obras ejecutadas, que tendrán carácter provisional a buena cuenta, verificables por la liquidación definitiva o por cualquiera de las certificaciones siguientes, no suponiendo por otra parte, aprobación ni recepción de las obras ejecutadas y comprendidas en dichas certificaciones.

Serán de abono al Contratista las obras ejecutadas con arreglo a condiciones y con sujeción a los planos del Proyecto o a las modificaciones introducidas por la DF en el replanteo o durante la ejecución, que constarán en planos de detalle y órdenes escritas. Se abonarán por su volumen o su superficie real de acuerdo con lo que se

especifique en los correspondientes precios unitarios que figuran en el cuadro de precios.

Artículo 48. Mediciones parciales y finales

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de lo que se levantará acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representante legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

Artículo 49. Composición de los precios unitarios

Los precios unitarios se compondrán preceptivamente de la siguiente forma :

- Mano de obra, por categorías dentro de cada oficio, expresado el número de horas intervenidas por cada operario en la ejecución de cada unidad de obra y los jornales horarios correspondientes.
- Materiales, expresando la cantidad que en cada unidad de obra se precise de cada uno de ellos y su precio unitario respectivo en origen.
- Transporte de materiales, desde el punto de origen al pie de trabajo.
- Tanto por ciento de medios auxiliares y de seguridad
- Tanto por ciento de gastos generales
- Tanto por ciento de seguros y cargas sociales
- Tanto por ciento de beneficio industrial del Contratista

Artículo 50. Composición de los precios por ejecución material

Se entiende por precio de ejecución material el que importe el coste total de la unidad de obra, es decir, será igual a la suma de los cinco primeros conceptos del artículo anterior.

Artículo 51. Composición de los precios por contrata

En el caso de los trabajos a realizar en la obra y obra aneja, se entiende por precio de contrata el que importe el coste de la unidad de obra total, es decir, el precio de ejecución material más el tanto por ciento sobre este último precio en concepto de “beneficio industrial del Contratista”

A falta de convenio especial se aplicará el 15%. De acuerdo con lo establecido se entiende por importe de contrata de la obra u obra aneja, a la suma de su importe de ejecución material más el 15% de beneficio industrial :

- Imprevistos 1%
- Gastos de administración y dirección práctica de los trabajos 5%
- Intereses del capital adelantado por el Contratista 3%
- Beneficio industrial del Contratista 6%

Artículo 52. Composición de los precios por administración

Se denominan obras por administración aquellas en que las gestiones que se precisen realizar las lleve a cabo el Propietario, bien por sí o por un representante suyo, o bien por medio de su Constructor.

Las obras por administración directa son aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo lleve las gestiones precisas para la ejecución de las obras.

Las obras por administración indirecta son aquellas en las que convienen el Propietario y el Contratista, para que éste por cuenta de aquel y como delegado suyo realice las gestiones y los trabajos que se precisen y así se convengan.

El Propietario tiene la obligación de abonar directamente o por mediación del Contratista todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos. El Contratista tiene la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos.

Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración indirecta, regirán las normas que a tales fines se establecen en las Condiciones Particulares de índole económico vigente en la obra :

- Las facturas de los transportes de materiales entrados en la obra
- Los documentos justificativos de las partidas abonadas por los seguros y cargas sociales vigentes.
- Las nóminas de los jornales abonados
- Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra
- A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Contratista, se le aplicará un 15%, incluidos los medios auxiliares y de seguridad

Artículo 53. Precio del material acopiado a pie de obra

Si el Propietario ordenase por escrito al Contratista el acopio de materiales o aparatos en la obra a los precios contratados y ésta sí lo efectuase, los que se hayan acopiado se incluirán en la certificación siguiente a su entrada en la obra.

Artículo 54. Precios de las unidades de obra y de las partidas alzadas

En los precios de las distintas unidades de obra, en los de aquellas que hayan de abonarse por partidas alzadas, se entenderán que se comprende el de la adquisición de todos los materiales necesarios, su preparación y mano de obra, transporte, montaje, colocación, pruebas y toda clase de operaciones y gastos que vayan a realizarse, así como riesgos y gravámenes que puedan sufrirse, aún cuando no figuren explícitamente en el cuadro de precios, para dejar la obra completamente terminada, con arreglo a las condiciones, y para conservarla hasta el momento en que se realice la entrega.

Los precios serán invariables, cualquiera que sea la procedencia de los materiales y el medio de transporte, sin más excepción que la expresada en este Pliego.

Artículo 55. Relaciones valoradas y certificaciones

Lo ejecutado por el Contratista se valorará aplicando al resultado de la medición general los precios señalados en el Presupuesto para cada una de ellas, teniendo en cuenta además lo establecido en el presente Pliego respecto a mejoras o sustituciones de materiales y a las obras accesorias o especiales.

Al Contratista se le facilitarán por el Ingeniero los datos de la certificación, acompañándolos de una nota de envío, al objeto, que dentro del plazo de 10 días a partir de la fecha del envío de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad o hacer en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas.

Dentro de los 10 días siguientes a su recibo, el Ingeniero aceptará o rechazará las reclamaciones del Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Ingeniero en la forma prevenida en los Pliegos anteriores.

Cuando, por la importancia de la obra, o por la clase y número de documentos, no considere el Contratista suficiente aquel plazo para su examen, el Ingeniero podrá concederle una prórroga. Si transcurrido el plazo de 10 días a la prórroga expresada no hubiese el Contratista devuelto los documentos remitidos, se considerará que está conforme con los referidos datos, y expedirá el Ingeniero la certificación de las obras ejecutadas.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el 90% de su importe, de los que figuren en los documentos del proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al período a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere.

En el caso de que el Ingeniero lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

Artículo 56. Valoración en el caso de rescisión

Cuando se rescinda la Contrata por causas que no sean de la responsabilidad del Contratista, las herramientas y demás útiles que como medios auxiliares de la construcción se hayan estado empleando en las obras con autorización de la DF y la Contrata y de no mediar acuerdo, por los amigables componedores de índole legal y facultativa.

A los precios de tasación sin aumento alguno, recibirá el Propietario aquellos de dichos medios auxiliares que se señalan en las condiciones de cada contrata, o en su defecto los que se consideren necesarios para terminar las obras y quiera reservar para sí el Contratista, entendiéndose que no tendrá lugar el abono por este concepto, cuando el importe de los trabajos realizados hasta la rescisión no llegue a los tercios de la obra contratada.

Se abonarán los materiales acopiados a pie de obra si son de recibo y de aplicación para terminar esta, en una cantidad proporcionada a la obra pendiente de ejecución, aplicándose a estos materiales los precios que figuren en el cuadro de precios descompuestos. También se abonarán los materiales acopiados fuera de la obra, siempre que se transporten al pie de ella.

En el caso de rescisión por falta de pago o retraso en el abono o suspensión por plazo superior de un año imputable al Propietario, se concederá al Contratista además de las cantidades anteriormente expuestas, una indemnización que fijará la DF, la cual no podrá exceder del 3% del valor de las obras que falten por ejecutar.

En caso de rescisión por alteración de presupuesto o por cualquiera de las causas reseñadas en las condiciones legales, no procederá más que el reintegro al Contratista de los gastos por custodias de fianzas, anuncio de subasta y formalización del Contrato, sin que pueda reclamar el abono de los útiles destinados a las obras.

En caso de rescisión por falta de cumplimiento en los plazos de obra, no tendrá derecho el Contratista a reclamar ninguna indemnización por las obras, pero sí a que se abonen las ejecutadas, con arreglo a condiciones, y los materiales acopiados a pie de obra que sean de recibo.

Si lo incompleto, es la unidad de obra y la parte ejecutada en ella fuera de recibo, entonces se abonará esta parte con arreglo a lo que correspondan según la descomposición de precios que figura en el cuadro del Proyecto, sin que pueda pretender el Contratista que, por ningún motivo se efectúe la descomposición en otra forma que la que en dicho cuadro figura.

Toda unidad compuesta o mixta no especificada en el cuadro de precios, se valorará haciendo la descomposición de la misma y aplicando los precios unitarios de dicho cuadro a cada una de las partes que la integran, quedando comprendidos, en esta suma así obtenida, todos los medios auxiliares.

En general se dará al Contratista un plazo de tiempo que determinará la Dirección de Obra, dentro de los límites de 20 y 60 días para poner el material en curso de instalaciones de ser aceptado como obra terminada, teniendo en cuenta que las no finalizadas se liquidarán a los precios elementales que figuren en el Presupuesto, así como los recibos de los materiales a pie de obra que reúnan las debidas condiciones.

Artículo 57. Equivocaciones en el Presupuesto

Se supone que el Contratista ha efectuado detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por tanto, al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecte a medidas o precios, de tal suerte que si la obra ejecutada con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades que las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del Presupuesto.

Artículo 58. Formas de abono de las obras

El abono de los trabajos efectuados se efectuará por uno de los procedimientos siguientes, convenido por la DF y el Contratista antes de dar comienzo los trabajos :

- Tipo fijo o tanto alzado del total
- Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar el número de obras ejecutadas
- Tanto variable por unidad de obra según las condiciones en que se realice y los diversos materiales empleados en su ejecución de acuerdo con las instrucciones de la DF.
- Por lista de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente Pliego determina.
- Por horas de trabajo ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

Artículo 59. Abono de unidades de obra ejecutadas

El Contratista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado con arreglo y sujeción a los documentos del Proyecto, a las condiciones de la Contrata y a las órdenes e instrucciones que por escrito le entregue la DF.

Artículo 60. Abono de trabajos presupuestados con partidas alzadas

Si existen precios contratados para unidades de obra iguales a las presupuestadas mediante partida alzada, se abonará previa medición y aplicación del precio establecido.

Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partidas alzadas, deducidos de los similares contratados.

Si no existen precios contratados, para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el Presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida deba justificarse, en cuyo caso, la DF indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que debe seguirse para llevar dicha cuenta.

Artículo 61. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos, para su abono se procederá así :

- Si los trabajos se realizan y están especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y la DF exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valoradas a los precios que figuren en el Presupuesto y abonadas de acuerdo con lo establecido en los Pliegos Particulares, o en su defecto, en los Generales. En el caso de que dichos fueran inferiores a los que rijan en la época de su realización, se aplicarán estos últimos.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso de las obras, por haber sido utilizadas durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día y nada se abonará por ello al Contratista.

Artículo 62. Abono de obras incompletas

Cuando por rescisión u otra causa fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del Presupuesto sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra e forma distinta, ni que tenga derecho el Contratista a reclamación alguna por insuficiencia u omisión del costo de cualquier elemento que constituye el precio.

Las partidas que componen la descomposición del precio serán de abono cuando esté acopiado en obra la totalidad del material, incluidos accesorios, o realizadas en su totalidad las labores u operaciones que determina la definición de la

partida, ya que el criterio a seguir ha de ser que sólo se consideren abonables fases terminadas, perdiendo el Adjudicatario todos los derechos en caso de dejarlas incompletas.

Artículo 63. Liquidaciones parciales

Las liquidaciones se harán por certificaciones mensuales y se hallarán multiplicando las unidades resultantes de las mediciones por el precio asignado de cada unidad en el Presupuesto. Se añadirá el porcentaje correspondiente al sistema de Contrato, desquitando las rebajas que se obtuvieran en subasta.

Artículo 64. Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

La propiedad se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la obra, a cuyo efecto deberá presentar el Contratista los comprobantes que se exijan.

Artículo 65. Liquidación final

La liquidación general se llevará a cabo una vez terminadas las obras y en ella se harán constar las mediciones y valoraciones de todas las unidades de obra realizadas, las que constituyen modificaciones en el proyecto, y los documentos y aumentos que se aplicaron en las liquidaciones parciales, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la DF con sus precios.

De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de obras que no estuviesen autorizados por escrito a la Propiedad con el visto bueno de la DF.

Artículo 66. Liquidación en caso de rescisión

En este caso, la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la rescisión.

Artículo 67. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y sus importes corresponderán precisamente al de las certificaciones de obra expedidas por la DF, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

Artículo 68. Suspensión o retrasos en el ritmo de los trabajos por retraso en los pagos

En ningún caso podrá el Contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos o ejecutarlos a menor ritmo que el que le corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

Artículo 69. Demora de los pagos

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponda el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el 4,5% anual en concepto de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurriesen dos meses a partir del término de dicho plazo, el Contratista tendrá derecho a la rescisión del Contrato, procediéndose a la ejecución de la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que la cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada.

Se rechazará toda solicitud de rescisión del Contrato fundada en dicha demora depagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra en los materiales acopiados admisibles, la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el Contrato.

Artículo 70. Indemnización de daños causados por fuerza mayor

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas ocasionadas en la obra sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se considerarán como tales casos los que siguen :

- Los incendios causados por la electricidad atmosférica
- Los producidos por terremotos o maremotos
- Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de los ríos, superiores a los que sean de prever en el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que por el Contratista se tomaron las medidas posibles dentro de sus medios para evitar los daños
- Los que provengan de movimientos del terreno en el que estén construidas las obras

La indemnización se referirá al abono de las unidades de obra ya ejecutadas con materiales acopiados a pie de obra. En ningún caso comprenderán medios auxiliares.

III. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES

III.1. Arbitrio y jurisdicción

Artículo 71. Formalización del Contrato

Los Contratos se formalizarán mediante documentos privados, que podrán elevarse escritura pública a petición de cualquiera de las partes y con arreglo a las disposiciones vigentes. Este documento contendrá una cláusula en la que se expresa terminantemente que el Contratista se obliga al cumplimiento exacto del Contrato, conforme a lo previsto en el Pliego General de Condiciones.

El Contratista antes de firmar la escritura habrá firmado también su conformidad al pie del Pliego de Condiciones Particulares que ha de regir la obra, en los Planos, Cuadros de Precios y Presupuesto General.

Serán de cuenta del Adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne la Contrata.

Artículo 72. Arbitraje obligatorio

Ambas partes se comprometen a someterse en sus diferencias al arbitraje de amigables componedores, designados uno de ellos por el Propietario, otro por la Contrata y tres Ingenieros por el Colegio Oficial correspondiente, uno de los cuales será forzosamente el Director de Obra.

Artículo 73. Jurisdicción competente

En caso de no haberse llegado a un acuerdo por el anterior procedimiento, ambas partes son obligadas a someterse a la discusión de todas las cuestiones que pueden surgir como derivadas de su Contrato, a las autoridades y tribunales administrativos, con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese localizada la obra.

III.2. Responsabilidades legales del Contratista

Artículo 74. Medidas preparatorias

Antes de comenzar las obras, el Contratista tiene la obligación de verificar los documentos y de volver a tomar sobre el terreno todas las medidas y datos que le sean necesarios. Caso de no haber indicado al Director de Obra en tiempo útil, los errores que pudieran contener dichos documentos, el Contratista acepta todas las responsabilidades.

Artículo 75. Responsabilidad en la ejecución de las obras

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que componen el Proyecto. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que la DF haya examinado o reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas las liquidaciones parciales.

Artículo 76. Legislación social

Habrà de tenerse en cuenta por parte del Contratista la Reglamentación de Trabajo, así como las demás disposiciones que regulan las relaciones entre patronos y obreros, contratación del Seguro Obligatorio, Subsidio Familiar y de Vejez, los Accidentes de Trabajo, Seguridad e Higiene en el Trabajo y demás con carácter social vigentes durante la ejecución de las obras.

El Contratista ha de cumplir lo reglamentado sobre seguridad e higiene en el trabajo, así como la legislación actual en el momento de ejecución de las obras en relación sobre protección de la industria nacional y fomento del consumo de artículos nacionales.

Artículo 77. Medidas de seguridad

En caso de accidentes ocurridos a los operarios con motivo de ejercicios en los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, siendo en todo caso único responsable de su incumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad, por responsabilidad en cualquier aspecto.

De los accidentes y perjuicios de todo género que por incumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes señalen para evitar en lo posible accidentes a los obreros y a los andantes.

Se exigirá con especial atención la observación de lo regulado por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.G.S.H.T.)

Artículo 78. Vallado y policía de obra

Serán de cuenta y cargo del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindeo y vigilando que por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiere, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento de la DF.

Artículo 79. Permisos y licencias

El Adjudicatario estará obligado a tener todos los permisos y licencias para la ejecución de las obras y posterior puesta en servicio y deberá abonar todas las cargas, tasas e impuestos derivados de la obtención de dichos permisos.

Artículo 80. Daños a terceros

El Contratista será responsable de todos los accidentes que por inexperiencia o descuido sobreviniese en la ejecución de las obras.

En las contiguas será de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y a cuando ello hubiere lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir cuando a ello fuese requerido, el justificante de tal cumplimiento.

Artículo 81. Seguro de la obra

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva. La cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la sociedad aseguradora se ingresará en cuenta a nombre del Propietario, para que con cargo a él, se abone la obra que se construye y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones como el resto de los trabajos.

En las obras de reparación o reforma, se fijará la porción de la obra que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se previene, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte de la obra afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza de seguros, las pondrá el Contratista antes de contratadas, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar éste su previa conformidad o reparos.

Artículo 82. Suplementos

El Contratista no puede hacer ningún trabajo que ocasione suplementos de gastos sin autorización escrita del Propietario de la instalación y con el visto bueno del Director de Obra.

Artículo 83. Conservación y otros

El Contratista ejecutor de las obras tendrá que conservar a su cargo todos los elementos de las obras civiles y eléctricas desde el comienzo de las obras hasta la recepción definitiva de las mismas. A este respecto, los gastos derivados de la conservación, tales como revisiones periódicas de las instalaciones, vigilancia, reposición de posibles desperfectos causados por terceros, limpieza de aparatos, etc., correrán a cargo del Contratista, no pudiendo éste alegar que la instalación esté o no en servicio.

La sustitución o reparación será decidida por la Dirección de Obra, que juzgará a la vista del incidente, si el elemento puede ser reparado o totalmente sustituido por uno nuevo, teniendo que aceptar totalmente dicha decisión el Contratista.

El Contratista estará obligado a ejecutar todos aquellos detalles imprevistos por su minuciosidad o que se hayan omitido si el Director de Obra lo juzgase necesario.

Artículo 84. Hallazgos

El Propietario se reserva la posesión de antigüedades, objetos de arte o sustancias minerales utilizables que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en su terreno o edificaciones. El Contratista deberá emplear para extraerlo todas las precauciones que se le indiquen por la Dirección.

El Propietario abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen.

Serán asimismo de la exclusiva pertenencia del Propietario los materiales y corrientes de agua que, como consecuencia de las obras, aparecieran en los solares o terrenos donde se realicen las obras, pero el Contratista, en el caso de tratarse de aguas y si las utilizara, serán de cargo del Contratista las obras que sean convenientes ejecutar para captarlas para su utilización.

La utilización de gravas y arenas y toda clase de materiales procedentes de los terrenos donde los trabajos se ejecutan, así como las condiciones técnicas y

económicas en que estos aprovechamientos han de concederse y ejecutarse se señalarán para cada caso concreto por la DF.

Artículo 85. Anuncios y carteles

Sin previa autorización de la Propiedad no podrán ponerse, ni en sus vallas, más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y la policía local.

Artículo 86. Copia de documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los Planos, Presupuesto, Pliego de Condiciones y demás documentos del Proyecto.

III.3. Subcontratas

Artículo 87. Subcontratas

El Contratista puede subcontratar una parte o la totalidad de la obra a otra u otras empresas, administradores, constructores, instaladores, etc., no eximiéndose por ello de su responsabilidad con la Propiedad.

El Contratista será el único responsable de la totalidad de la obra tanto desde el punto de vista legal como económico, reconociéndose como el único interlocutor válido para la DF.

III.4. Pago de arbitrios

Artículo 88. Pago de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general municipales o de otro régimen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, al Contratista le deberá ser reintegrado el importe de todos aquellos conceptos que la DF considere justo.

III. 5. Causas de rescisión del contrato

Artículo 89. Causas de rescisión del contrato

Se consideran causas suficientes de rescisión de Contrato las que a continuación se señalan :

- La muerte o incapacidad del Contratista
- La quiebra del Contratista

En los casos anteriores, si los herederos o síndico se ofrecieran a llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan derecho a indemnización alguna.

- Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes :
 - o La modificación del Proyecto en forma tal, que representen alteraciones fundamentales del mismo a juicio de la DF y en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, representen más o menos un 25% como mínimo del importe de aquel.
 - o La modificación de las unidades de obra siempre que estas modificaciones representen variaciones, más o menos del 40% como mínimo de alguna de las unidades que figuren en las modificaciones del Proyecto, o más de un 50% de unidades del Proyecto modificadas.
 - o La suspensión de la obra comenzada y en todo caso siempre que por causas ajenas a la Contrata no se dé comienzo de la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
 - o La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
 - o El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro de los plazos señalados en las condiciones particulares del Proyecto.
 - o Incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras
 - o El abonado de la obra sin causa justificada
 - o La terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a ésta

Quedará rescindido el Contrato por incumplimiento del Contratista de las condiciones estipuladas en este Pliego, perdiendo en éste caso la fianza y quedando sin derecho a reclamación alguna.

Fdo:

David Carrascosa Amaya
Cádiz, Septiembre 2005

PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. COSTE DE LOS EQUIPOS.....	3
2. CAPITAL FIJO ESTIMADO.....	6
3. EXIGENCIA DE TRABAJO.....	6
4. COSTE DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	7
5. REQUERIMIENTOS DE LA INSTALACIÓN.....	7
6. MANTENIMIENTO.....	8
7. REPOSICIÓN DE MEMBRANAS.....	8
8. RESUMEN DE LOS COSTES ANUALES DE OPERACIÓN.....	8
9. ANÁLISIS DE APROVECHAMIENTO.....	9

1. COSTE DE LOS EQUIPOS

En este apartado se enumeran los equipos presentes en la instalación, el coste unitario de cada uno de ellos, su número y el coste total :

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	COSTE UNITARIO (€)	Nº UNIDADES	COSTE TOTAL (€)
Bombas pozo	Sumergible LOWARA S10220/1 (40 kw)	13.650	4	54.600
Caudalímetro magnético	Magnetoflow DN 8" (BADGER METER, INC)	3.430	4	13.720
Caudalímetro magnético	Magnetoflow DN 16" (BADGER METER, INC)	6.110	1	6.110
pHmetro agua bruta	Hamilton, modelo Polyplast Pro SK	300	2	600
Turbidímetro agua bruta	Rosemount, modelo Clarity II Turbidimeter	1.670	1	1.670
Tanque almacenamiento ácido sulfúrico	Vol. útil : 3,37 m ³ En AISI 316L	16.172	1	16.172
Dosificadora ácido sulfúrico	DOSAPRO MILTON ROY, modelo GM 25 en AISI 316L	275	2	550
Transmisor de presión entrada a planta	OMEGA, modelo PX4200-150GI	250	1	250
Termorresistencia	OMEGA TX92G-1 (- 40/49°C)	135	2	270
Conductivímetro agua acidificada	Hamilton Conducell 2UP	990	2	1.980
Caudalímetro magnético	Magnetoflow DN 20" (BADGER METER, INC)	7.055	1	7.055
Filtros automáticos	TEKLEEN ABW6-TXLP	13.050	6	78.300
Turbidímetro salida filtros	Rosemount, modelo Clarity II Turbidimeter	1.670	1	1.670
Caudalímetros magnéticos división en dos ramales	Magnetoflow DN 10" (BADGER METER, INC)	4.115	2	8.230
Bomba booster alimentación a	KSB, modelo ETABLOC 80-	16.800	2	33.600

membranas	200 (42 kw)			
Bomba devolución rechazo al mar	KSB, modelo SEWATEC K 300-401	6.700	1	6.700
Tanque almacenamiento hipoclorito sódico	Vol. útil : 0,235 m ³ En Polietileno	200	1	200
Bomba producto a red	KSB, modelo ETANORM 125-200	9.200	1	9.200
Caudalímetros magnéticos para equilibrar recuperadores	Magnetoflow DN 10" (BADGER METER, INC)	4.115	2	8.230
Bomba pretratamiento	KSB modelo ETABLOC MN 11 R250-500	26.300	2	52.600
Válvulas aislamiento BAP en espera	AQUISORIA 10 DN 10"	400	2	800
BAP	300 kw	60.000	3	180.000
Equipo de limpieza		56.000	1	56.000
Membranas Ósmosis Inversa	Filmtec SWHRLE-400i	855	350	299.250
Tubos de presión	BEKAERT PROGRESSIVE COMPOSITES, CORP modelo PRO 8-1000-EP, para 7 elementos de 8 pulgadas	4.500	50	225.000
Transmisores de presión membranas	OMEGA INSTRUMENTS, modelo PX4200-1KGI	250	100	25.000
Recuperador de energía	GESTAGUA, modelo RO KINETIC K-1000	72.000	2	144.000
Medidor Potencial óxido-reductor producto	DOSAPRO MILTON ROY Modelo Liquitron DR5000	2.900	1	2.900
Esterilizadores UV	Sterilight SUV 800P High Flow	22.710	6	136.260
Conductivímetros producto y rechazo	Hamilton Conducel 2UP	990	2	1.980
PHmetro agua acidificada,	Hamilton Polipast Pro SK	300	6	1.800

permeado y producto				
Variador frecuencia bombas pozo	Aprox. 30 kw	12.200	4	36.600
Variador frecuencia BAP	Aprox. 300 kw	67.000	3	201.000
Variador frecuencia bomba producto	Aprox. 10 kw	6.800	1	6.800
Variador frecuencia bomba booster	Aprox. 50 kw	19.500	2	39.000
Variador frecuencia rechazo al mar	Aprox. 5 kw	3.050	1	3.050
Variador frecuencia bomba pretratamiento	Aprox. 70 kw	28.300	2	56.600
TOTAL	-	-	-	1.717.747 €

Se ha de añadir el coste de perforación e instalación de los pozos. Se toma un coste para un pozo de 20" de diámetro de 1.200 €/m. Por tanto, para 4 pozos de 60 m de profundidad se tiene un coste de : 288.000 €

A falta de los precios de válvulas, el caudalímetro magnético para alta presión, las rejillas de los pozos, etc., y de las tuberías se aumenta este coste en un 15% para tenerlos en cuenta.

Se ha de añadir además, el coste del aerogenerador. Se asume un coste de 850 €/kw instalado. El aerogenerador necesario tiene una potencia nominal de 850 kw. Por tanto, su coste, ya instalado, es de : 722.500 €

El sistema de control va a representar aproximadamente un 5% del total de los equipos. Los equipos eléctricos representarán aproximadamente el 7% del total. Y los edificios (oficina y laboratorio, y edificio donde se encuentran las membranas) un 10% del total de los equipos.

$$\text{Coste total equipos, } T = 3.029.109 + 0,05T + 0,07T + 0,10T$$

Por tanto, los **costes directos totales** ascienden a : 3.883.473 €

2. CAPITAL FIJO ESTIMADO

2.1. Costes directos totales de la planta

TOTAL COSTES DIRECTOS (CD) : 3.883.473 €

2.2. Costes indirectos totales de la planta

- Ingeniería (0,12 CD).....466.017 €

- Construcción (0,3 CD).....1.165.042 €

TOTAL COSTES INDIRECTOS (CI) : 1.631.059 €

2.3. Coste total de la planta (CT) = CD + CI = 5.514.532 €

- Honorarios del contratista (0,04 CT).....220.581 €

- Contingencias (0,06 CT).....330.872 €

2.4. Capital fijo directo (CFD)

CFD = CT + Honorarios contratista + Contingencias = **6.065.985 €**

Para la amortización se suponen 25 años de vida útil de la planta, un 4% de interés y un factor de operación de 0,95. Así obtenemos un coste de amortización de :

$$CFD = \text{Coste amortización} \cdot 5.500 \frac{m^3}{d} \cdot 365 \cdot 0,95 \cdot \frac{1 - (1 + 0,04)^{-25}}{0,04}$$

⇒

Coste amortización = 0,204 €/m³

3. EXIGENCIA DE TRABAJO

Son necesarios dos operarios por turno. Por tanto, se necesitan seis operarios, en turnos rotativos. Además, un ingeniero encargado de la dirección de la planta.

Salario operarios : 1.800 €/mes

Salario ingeniero : 2.400 €/mes

Tenemos un coste total por año de : 184.800 €/año

Si la producción anual es de 1.907.125 m³/año, se tiene un coste por mano de obra de :

Término de mano de obra = 0,097 €/m³ agua desalada.

4. COSTE DE LAS MATERIAS PRIMAS

Materia prima	Cantidad anual	Coste unitario (€/kg o l)	Coste (€/año)
Ácido sulfúrico 98%	337.833 kg	0,134	45.269
Ca(OH) ₂	99.171 kg	0,132	13.091
CaCl ₂	202.155 kg	0,224	45.283
Disol. NaClO (180g/l cloro activo)	10.112 litros	0,210	2.124

COSTE TOTAL ANUAL DE MATERIAS PRIMAS : 105.767 €/año

Igual que en el apartado anterior. Si la producción anual es de 1.907.125 m³/año, se tiene un coste de materias primas de :

Término de materias primas = 0,055 €/m³ agua desalada.

5. REQUERIMIENTOS DE LA INSTALACIÓN

En este apartado, se describen las necesidades energéticas de la planta en forma de energía eléctrica.

La potencia total de la planta es de 771,22 kw, lo que arroja un consumo anual de 6.755.887 kwh.

A esto hay que descontarle el ahorro proveniente del uso de aerogeneradores. Se supone que funcionan dando una energía equivalente a funcionar a la potencia nominal (850 kw) durante un tercio del tiempo. Esto es, produce 2.482.000 kwh/año.

Por tanto, el consumo que se hace de la red eléctrica convencional es de 4.273.887 kwh/año. A un coste de la energía eléctrica de 0,08 €/kwh, se obtiene un coste anual de energía eléctrica de 341.911 €/año.

Esto supone un coste de electricidad por metro cúbico de agua desalada de :

$$\text{Término energía eléctrica} = 0,187 \text{ €/m}^3$$

6. MANTENIMIENTO

Supone un 1-3 % del coste directo al año. Esto supone una media de 181.980 €/año.

7. REPOSICIÓN DE MEMBRANAS

La práctica demuestra que cuando se trabaja con agua de pozo, el porcentaje anual de reposición de membranas es de 5-8 %. Esto supone una media de 19.451 €/año.

8. RESUMEN DE LOS COSTES ANUALES DE OPERACIÓN

- Coste de amortización.....	0,203603
€/m ³	
- Coste de mano de obra.....	0,096900 €/m ³
- Coste de materias primas.....	0,055459 €/m ³
- Coste energía eléctrica.....	0,187000 €/m ³
- Coste mantenimiento.....	0,095421 €/m ³
- Coste de reposición de membranas.....	0,010199 €/m ³

COSTE TOTAL AGUA DESALADA : 0,649€m³

A este coste le añadimos un 15 % de beneficio industrial, por lo que el agua se vende a un precio final de :

COSTE FINAL AGUA DESALADA : 0,746 €m³

9. ANÁLISIS DE APROVECHAMIENTO

1. Inversión total.....	6.065.985 €
2. Producto de interés.....	1.907.125 m ³ agua potable/año
3. Coste de producción.....	0,649 €m ³
4. Precio de venta del producto.....	0,746 €m ³
5. Ingresos.....	1.422.715 €/año
6. Coste anual de operación.....	1.237.724 €/año
7. Ganancia bruta (5-6).....	184.991 €/año
8. Impuestos (40% de 7).....	73.996 €/año
9. Ganancia neta (7-8+depreciación (10% de 1)).....	717.624 €/año
10. Ganancia bruta marginal (7/5 x 100).....	13,00 %
11. Retorno a la inversión (9/1 x 100).....	11,83 %
12. Tiempo de pago (1/9).....	8,5 años

Fdo:

David Carrascosa Amaya
Cádiz, Septiembre 2005

