

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una planta desaladora de agua de mar, por osmosis inversa, en el Campo de Dalías (Almería), aprobada por el Plan Hidrológico Nacional, para paliar la sobreexplotación de los acuíferos y mejorar la calidad de sus aguas

Autor: Alfonso ROMERO LÓPEZ

Fecha: Julio 2008





RESUMEN PROYECTO FINAL DE CARRERA

TITULO: Diseño de una Planta desaladora de agua de Mar, por Osmosis Inversa, en el Campo de Dalías (Almería), aprobada por el Plan Hidrológico Nacional, para paliar la sobre explotación de los acuíferos y mejorar la calidad de sus aguas.

El objeto del presente proyecto es el de diseñar una planta desaladora de agua de mar, mediante la técnica de osmosis inversa, aprobada por el Plan Hidrológico Nacional, como una de las medidas para paliar la sobre explotación de los acuíferos y la mejora de la calidad de sus aguas, en sus distintos usos.

La planta va a suministrar unos 30 Hm³/año de agua desalada a la población del campo de Dalías, situado en la provincia de Almería e involucrando en el proyecto a las poblaciones de Berja, Dalías, El Ejido, Énix, La Mojonera, Roquetas de Mar y Vicar.

La tecnología que se va a desarrollar en el presente proyecto es la llamada o conocida como osmosis inversa, siendo una de las tecnologías mas baratas y eficientes del mercado para este cometido, desalación de agua, la planta va a constar para la desalación de unas nueve líneas de producción cada una de ellas totalmente independiente las unas de las otras, para garantizar la operatividad de la planta. Cada línea de producción va a tener un trato de caudal de unos 1000 m³/h, produciendo un total de 10.800 m³/día de agua desalada, que será distribuida aprovechando el corredor del Canal Benínar-Aguadulce (Almería).

Los módulos de osmosis inversa constaran de un total de 94 tubos de presión, con una longitud cada uno de ellos de 7 metros, con un total de 660 membranas por cada bastidor, con una presión de trabajo de 60 bares.

El agua de entrada a la planta es captada a través de un emisario submarino con un diámetro de 1600 mm y una longitud de 1400 metros, construido de polietileno de alta densidad, situado a una profundidad de 15 metros, conectado a una torre de toma con el mismo diámetro de el emisario de conducción, protegido con una escollera para los efectos del oleaje.

Para preservar la torre de toma de los daños que puedan causarle la pesca por arrastre o la navegación, se va a utilizar un balizamiento de una boya de gran tamaño con marcas y señales para día y para la noche.

La boya, tipo BCP de 2 metros de diámetro, se fondeará a unos 50 m del extremo final de la torre de toma con cadena de acero unida a un muerto de fondeo que deberá estar enterrado.

Una vez que el agua es captada se deberá de conducir a los módulos de osmosis inversa, pero previamente se realiza el pretratamiento químico y físico de la mismas para evitar daños en las membranas de osmosis inversa, en este tratamiento se le añade ácido sulfúrico para bajar el pH del agua de entrada, una filtración grosera, micro-filtración y una esterilización con luz ultravioleta (UV), para evitar la deposición de virus y bacterias en general en las membranas de osmosis inversa, causando un daño a las membranas y siendo causa de posibles infecciones para el consumidor si no se controla este parámetro.

Como ya se he mencionado cada línea de producción es totalmente independiente la una de la otra, por tanto cada una de ellas va a poseer su propio tratamiento físico y químico bien diferenciados ambas, de esta manera evitamos parar la planta por casos de averías en alguna parte de la misma, perdiendo tan solo la capacidad en esa línea y actuando sobre el problema en cuestión.

Una vez que el agua es tratada y pasa por los módulos de osmosis inversa, se producen dos corrientes tras el paso por los módulos, una corriente de producto que es distribuida al canal de Benínar-Aguadulce, la cual es acondicionada para garantizar los mínimos sanitarios y de consumo de la misma; y el rechazo que se produce debe de ser eliminado por su alto contenido en sal.

El vertido del rechazo producido en la Ósmosis Inversa será previamente diluido con agua de mar a través del emisario submarino proyectado, a través del difusor de 200 m con 20 boquillas cada 10 m. Emisario submarino de boca única con una longitud del emisario. 2.500 m (1400 m común con conducción de captación).

Las plantas desaladoras son una de las infraestructuras con menor y más asumible impacto ambiental, y más si las comparamos con similares como puedan ser las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.

Respecto a la posible afección del proyecto sobre las fanerógamas marinas debido al incremento de la concentración salina por la salmuera vertida, estudios realizados por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) señalan que la Posidonia oceánica es más sensible respecto al incremento de la salinidad que la Cymodocea nodosa.

El punto de vertido de la planta Desaladora se localiza a más de 800 m al N-NE (Nor-Noroeste) de las praderas de Posidonia oceánica más próximas, por lo que tampoco prevé afecciones sobre ellas, debido a que esta solución proyecta una dilución del orden de 1:5 de la salmuera con el agua bruta turbinada en la central hidroeléctrica, de tal manera que el vertido final presenta una salinidad muy próxima al medio receptor.

El presente proyecto se presenta hoy en día como una de las grandes alternativas para el abastecimiento de agua a poblaciones, que conviven con el incesante y continuo cambio climático; incrementándose los periodos de sequías, que en lo últimos años se esta acrecentando, y más para esta región en donde gran parte de la economía de la misma y la vida de todos lo ciudadanos depende del abastecimiento de agua.

INDICE:

- 1. MEMORIA TEÓRICA.**
- 2. MEMORIA DESCRIPTIVA.**
- 3. OBJETO Y JUSTIFICACIÓN.**
- 4. MEMORIA DE CÁLCULOS.**
- 5. EQUIPOS.**
- 6. MATERIAS PRIMAS.**
- 7. ESTUDIO AMBIENTAL.**
- 8. ESTUDIO DE RIESGOS LABORALES.**
- 9. PLIEGO DE CONDICIONES.**
- 10. PLANOS.**
- 11. ANEXOS.**
- 12. PRESUPUESTO.**
- 13. ESTUDIO ECONÓMICO.**
- 14. BIBLIOGRAFÍA.**
- 15. GLOSARIO.**

1. MEMORIA TEÓRICA.

INDICE MEMORIA TEÓRICA:

1.1 Generalidades.

1.2 Procesos de Separación.

1.3 El agua a desalar.

2.1 Descripción del Proceso.

2.2 Diferencias entre osmosis y otros procesos de membranas.

2.3 Ecuaciones fundamentales.

2.4 Membranas y sus agrupaciones.

2.5 Modulación de las membranas para la desalación.

2.6 Variación de los Parámetros.

1.1 Generalidades :

Siendo el agua un factor esencial para la vida y para las actividades económicas que se desarrollan sobre la tierra, sólo ocupa un pequeño lugar, sin apenas importancia en las estadísticas macroeconómicas y en la geografía económica de las materias primas y de los recursos naturales.

El agua supone una limitación importante para el desarrollo de los pueblos, debido a la dependencia que respecto a la misma tiene tanto la agricultura, como la industria o la población.

El ahorro de agua en los sectores más consumidores, la utilización de tecnologías de riego avanzadas, la depuración de aguas para evitar la contaminación y, por último la desalación como forma de incrementar los recursos hídricos permiten un desarrollo adecuado al margen de esa dependencia del agua, pero esto supone la inversión de enormes cantidades de dinero que no todos los países pueden hacer.

En consecuencia se puede comprobar que en los países ricos los recursos económicos permiten superar los problemas de agua, mientras que en los pobres la falta de agua impide la generación de recursos económicos.

Para acercarnos un poco a la realidad de la desalación debe partirse de cual es la realidad hídrica del planeta que en su mayor parte está ocupada por los mares y océanos, donde se encuentra el 97% del agua disponible.

El restante 3%, que no es agua de mar, sería el agua que podría utilizar la población de la tierra, estimada en unos 3.000 millones. La realidad nos dice que sin embargo, de esta pequeña cantidad, solo un 13% constituye el agua realmente disponible.

No resulta paradójico que existan problemas de agua en el mundo, aún cuando ésta constituye la mayor parte del mismo, pues la forma en que se encuentra el agua, en un gran porcentaje no permite su utilización de una manera directa por la población.

La escasez de agua es un fenómeno relativamente reciente en la historia. En los años 50 afectaba a un pequeño número de países, pero a finales de los 90 afectaba ya a unos 26 países con una población de 300 millones, y las proyecciones que se hacen para el año 2050 estiman que el problema afectará a 66 países que concentran los 2/3 de la población mundial y algunos de estos países están bañados por el mar.

Pero, además, sus efectos se dejan sentir en la estabilidad social y consecuentemente en la estabilidad política y en la preservación de la vida.

En el pasado, esta limitación obligaba a la emigración de pueblos enteros y al abandono de su hábitat, de forma que la historia es abundante en ejemplos de zonas de asentamiento de poblaciones al borde de las fuentes de agua, ríos o lagos, y que tras periodos de florecimiento emigran a otros lugares, no por la presión de pueblos vecinos, lo que en el pasado era frecuente, sino por el agotamiento del recurso, o lo que es más frecuente, el deterioro de la calidad del agua disponible hasta niveles que en su uso impide obtener cosechas en la agricultura básica de subsistencia o incluso hasta impedir sus necesidades básicas de consumo.

La supervivencia biológica no es un problema en el mundo puesto que la totalidad de las necesidades domésticas (beber, lavarse y cocinas) pueden cubrirse con unos 100 litros por persona y día, aproximadamente la cantidad que se emplea en una ducha, y 100 l/día equivalen a 35 m³ por persona y año.

Incluso los países más áridos del mundo tienen pocos problemas para proporcionar esta cantidad mediante recursos convencionales. Malta, que es uno de los países más secos del mundo, tiene el equivalente a 70 m³/persona y año. Sin embargo, como muchos otros lugares cubre el exceso sobre sus necesidades vitales, que son sus necesidades de desarrollo, mediante la desalación.

La escasez de agua además suele ir unida a la mala calidad de la misma y siendo el contenido del agua, es decir sus sales, lo que ha provocado estas situaciones y aunque a lo largo de los siglos existen referencias a intentos de obtener agua dulce a partir del agua salada, puede decirse que es realmente en el pasado siglo XX, cuando esos intentos se plasman en tecnologías que adquieren fiabilidad y que garantizan ese proceso de transformación.

Sin embargo, los avances tecnológicos en la desalación del agua han sido muy lentos, y además han resultado muy caros, no siendo asequibles durante años a la mayoría de las poblaciones que necesitaban de ellos. Solo en años mas recientes se han superado esos grandes inconvenientes, de manera que hablar hoy día de desalación, especialmente en países áridos, es algo que se considera bastante normal.

La búsqueda de procesos o tecnologías que permitieran desalar agua se dirigieron inicialmente hacia la fuente mas abundante, es decir el agua de mar, de manera que la palabra desalación estaba indisolublemente ligada a este tipo de agua.

Las tecnologías de evaporación empezaron a utilizarse en regiones completamente aisladas, sin otros tipo de recursos que no fuera el mar como ocurre en determinadas islas del Caribe o el Atlántico, o en aquellas otras que disponían de enormes recursos energéticos, dado que para desalar agua es necesario la utilización de energías en una u otra forma.

Pero ante la imposibilidad económica de acceder al agua de mar a través de la desalación que existía en numeroso lugares, la escasez de recursos de agua superficiales y posteriormente la sobreexplotación de los recursos subterráneos, que no sólo desaparecieron en numerosos lugares sino que además quedaron deteriorados en su calidad en otros muchos, la investigaciones se volcaron posteriormente en la investigación de sistemas que permitieran la recuperación de esta agua, cada vez mas abundantes. Tras el descubrimiento de distintos tipos de membranas que permitían la purificación o desalación de dichas aguas, se prosiguió con el desarrollo de membranas similares que permitieran también hacer potables el agua de mar.

Superada esta fase, la tecnología de la desalación se ha ido extendiendo por todo el mundo, de forma que en la actualidad se está familiarizado con términos relativos a estos procesos, que hace algunos años era incluso necesario buscar en los diccionarios, para entender con más precisión de que se estaba hablando.

El descubriendo de membranas capaces de separar sales ha sido trascendental para el abaratamiento de los costes, pero además ha puesto a disposición de los técnicos unas tecnologías mas accesibles que las que se utilizaban anteriormente.

1.1.1 Breve Historia de la Desalación:

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 aguay 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.

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 aumentaba 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.

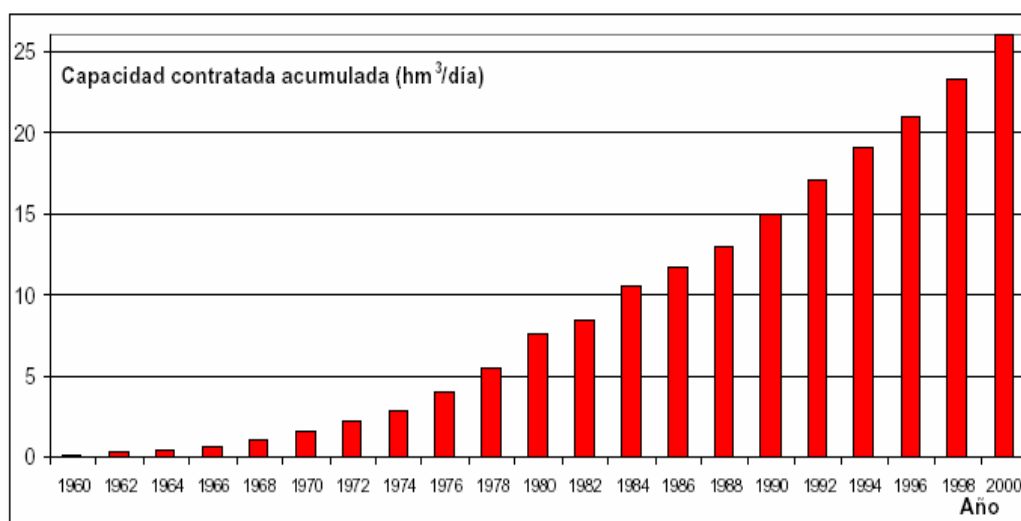
Centrándonos en la evolución histórica de capacidad instalada en el mundo, se puede decir que en el año 1970 dicha capacidad era de tan sólo 1,7 hm³/día, correspondientes a plantas evaporadoras muy baratas de instalación pero de alto consumo, utilizadas normalmente en los barcos para reducir espacio 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.

La gráfica siguiente muestra la evolución histórica de la capacidad mundial instalada en desalación.



Gráfica 6.1. Evolución de la capacidad total de desalación en el mundo.

1.1.2 Desalación en España:

La evolución tecnológica de la desalación tiene su perfecto reflejo en nuestro Estado. Las primeras instalaciones desaladoras, algunas de ellas ya desmanteladas o convenientemente readaptadas a nuevas tecnologías, localizadas en Ceuta, Gran Canaria (2), Lanzarote y Fuerteventura, se instalaron hace ya 30 años. Lógicamente la tecnología dominante de la época era la de evaporación, con unidades MSF acopladas a plantas duales.

Tabla 1.1: muestra las características de las plantas desaladoras en esta primera época. La mayoría de ellas ya no operan en la actualidad, o han sido actualizadas con tecnologías más favorables desde el punto de vista energético.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Termolanza* (Lanzarote)	1965	2.000	MSF
Ceuta I*	1969	4.000	MSF
Fuerteventura I*	1970	2.000	MSF
Las Palmas I	1970	20.000	MSF

*** No operan actualmente.**

Tabla 1.1.

Tras esta primera etapa, la primera crisis del petróleo supuso un freno al desarrollo de las instalaciones desaladoras, que obligó a buscar medidas de ahorro en las instalaciones existentes. Así surgieron los nuevos diseños de los intercambiadores de los procesos evaporativos, con mayor superficie de intercambio que permiten mayor destilado con el mismo consumo. La tabla 1.2. resume las instalaciones nuevas correspondientes a esta nueva época de la historia de la desalación española.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote I*	1976	5.000	MSF
Riotinto (Lanzarote)*	1977	2.500	MSF
Fuerteventura II*	1978	2.000	CV
C. T. Carboneras (Almería)	1980	2.200	MSF
Las Palmas II	1980	18.000	MSF

*** No operan actualmente.**

Tabla 1.2.

En la década de los 80, con la aparición de las membranas capaces de producir agua dulce a través del proceso de ósmosis inversa, empieza el desarrollo y la imposición clara de esta tecnología en España. En esta época, las membranas de ósmosis inversa sólo se habían utilizado para la filtración de aguas salobres, donde la electrodiálisis ya era una tecnología perfectamente viable. También debe reseñarse que muchos complejos turísticos privados instalaron pequeñas unidades de CV para solucionar sus problemas de abastecimiento, radicados fundamentalmente en lugares apartados de los núcleos habitados. La tabla 1.3 muestra las instalaciones más representativas de esta época.

Nombre	Año	Capacidad (m ³ /día)	Proceso
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Fuerteventura III	1990	5.000	OI
Maspalomas I* (Las Palmas)	1987	10.000	EDR
Denia* (Alicante)	1990	16.000	OI

***Aguas Salobres.**

Tabla 1.3.

A partir de la década de los 90, las instalaciones de OI se han adueñado del panorama desalador en España. Hay que destacar que la oferta eléctrica española ha podido soportar el consumo de este tipo de instalaciones, aunque también es cierto que esta época coincide con la aparición de sistemas de recuperación de energía que reducen considerablemente el consumo eléctrico derivado en estas instalaciones, donde España es un país puntero en cuanto a la investigación encaminada hacia esa reducción de consumo (sólo hay que ver la cuota de participación española en los congresos internacionales de desalación).

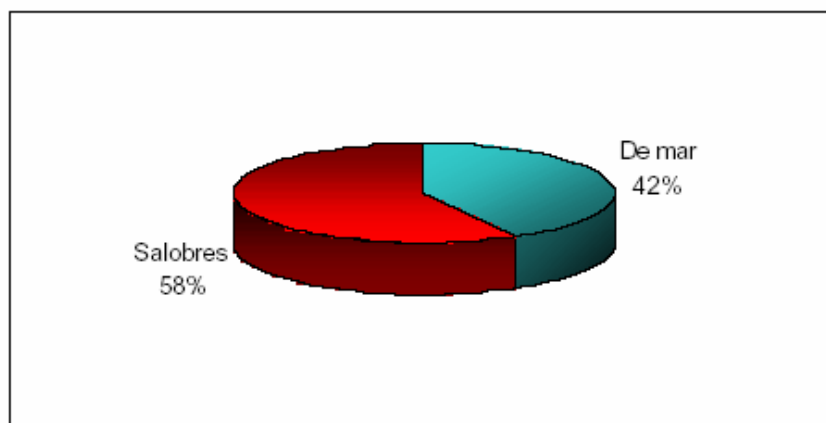
La liberalización de los precios de la energía eléctrica en nuestro país, sólo accesible ahora a grandes consumidores también ha contribuido a imponer la OI como casi la única tecnología aplicable, a excepción de la ED para desalación de aguas salobres ó reutilización de aguas residuales urbanas (ARU).

En conclusión, la desalación en España es una actividad relativamente novedosa con respecto al resto mundial, ya que las necesidades hídricas creadas han sido consecuencia del aumento demográfico y el consumo turístico localizado en el litoral mediterráneo. La tecnología desaladora que se ha impuesto es la de ósmosis inversa, gracias a una oferta eléctrica cubierta y el menor precio en la obtención del agua desalada.

Aunque la dotación por habitante y año supera con creces el límite considerado como el mínimo que impida el desarrollo de la sociedad asentada en el territorio (2.775 m³/hab. y año), el grave desequilibrio entre los recursos hídricos (motivado por la irregular pluviometría de nuestra geografía) y los consumos soportados en ciertas zonas con agricultura intensiva de regadío e infraestructura turística que además consume en la época de menores precipitaciones, justifica la instalación de plantas desaladoras.

La desalación en España queda afortunadamente reducida al Levante Español, Murcia, Andalucía, los dos archipiélagos y las ciudades del Norte de África. En dichas zonas, se puede evaluar la demanda total urbana asociada al turismo como una población equivalente de 7 millones de personas, que supone el 20% del total.

La producción total de agua desalada a finales del año 1998 se cifra en 222 Hm³/año, de los cuales alrededor del 42% corresponden a aguas marinas, y el 58% a salobres. Ello supone alrededor de un 4,9% del consumo total para abastecimiento urbano (alrededor de 2 millones de personas), y un 0,7% de todos los usos consuntivos del agua.



**Distribución porcentual de la desalación
en cuanto al tipo de aguas de aporte.**

En cuanto a la capacidad total instalada, actualmente sobrepasa los 700.000 m³/día. La distribución de los usos de esta agua se muestran en la siguiente tabla, ya que es un tanto peculiar con respecto al resto de países que se ha analizado anteriormente.

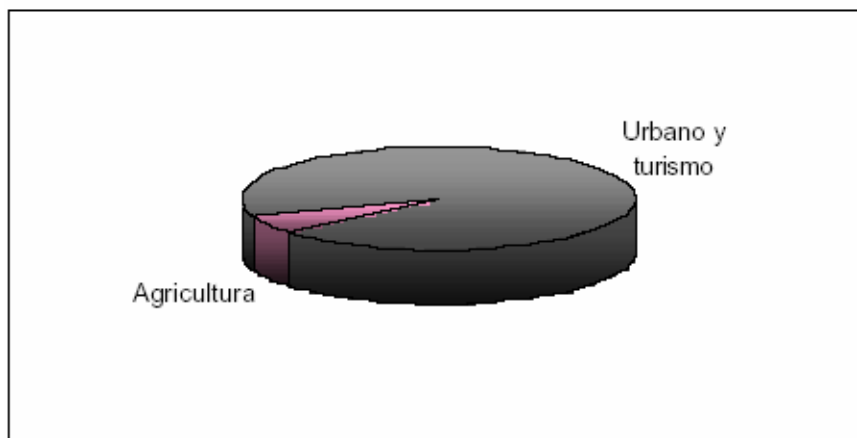
Agua	Total (hm ³ /año)	% Urbano y turismo	% Agricultura	% Industria
Mar	95,3	94,4	5,6	--
Salobre	126,57	20,4	47,6	32,0

**Agua desalada en España durante
el año 1998 y sus usos.**

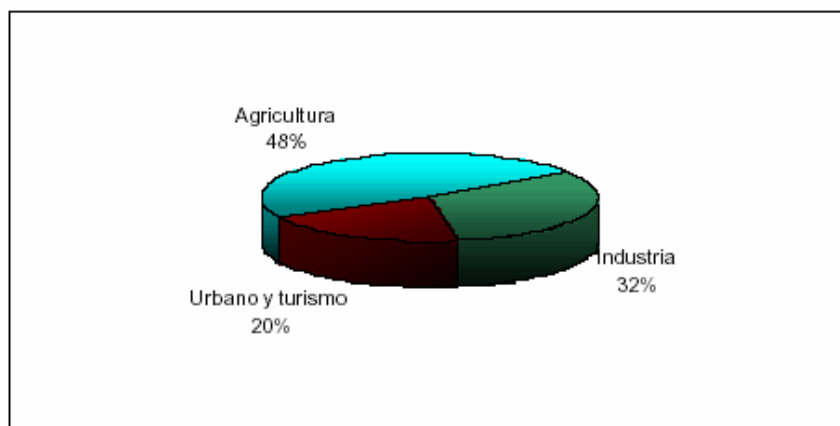
Con un vistazo a la tabla se ve que en la desalación de agua salobre para la agricultura intensiva de regadío se ha extendido considerablemente a pesar del sobrecosto producido por el proceso de desalación con respecto a la obtención por otros métodos o de forma natural.

Puede decirse que prácticamente es nuestro país el único que realmente consume aguas desaladas para su utilización agrícola (un 29,55% del total), aunque haya países que si utilizan aguas desaladas para el riego de jardines, ante la imposibilidad de otras fuentes (Abu Dhabi –UAE-, Arabia Saudí).

La rentabilidad obtenida por cierto tipo de cultivos no ha sido el freno para seguir con ellos, teniendo en cuenta además que el coste de aguas salobres desaladas es bastante inferior al del agua de mar, como veremos en el apartado correspondiente al estudio económico de la desalación. La extensión actual aproximada regada con este tipo de aguas ronda las 9.000 ha.



**Distribución porcentual por sectores
del agua marina desalada.**



Distribución porcentual por sectores de aguas salobres desaladas.

Las islas Canarias han recurrido a la desalación para obtener la mayor parte del agua que demanda principalmente la industria turística.

El resultado de todo ello es que en las Canarias 1 millón de personas se abastecen de las 280 plantas desaladoras existentes, con una capacidad de 350.000 m³/día, 100 de ellas asociadas directamente al abastecimiento de hoteles y apartamentos.

El segundo caso digno de mencionar es la Comunidad Autónoma Murciana, comunidad estructuralmente deficitaria (en 460 Hm³ anuales según el PHN) debido al consumo agrícola derivado de sus explotaciones de regadío intensivo. La sobreexplotación de los acuíferos para el regadío los ha convertido en aguas salobres de difícil uso agrícola, con lo que ha sido necesario instalar gran cantidad de pequeñas desaladoras de agua salobre de mínimo mantenimiento y gestión de los propios agricultores.

La oferta de agua desalada de agua de mar se concentra en grandes instalaciones en poblaciones costeras.

Existen en la actualidad o están próximas a su funcionamiento un total de 90 plantas, con una capacidad total de 149.000 m³/día y una producción anual total de 40 Hm³, con más o menos igual cuota de participación en cuanto al origen de las aguas (marinas o salobres).

La instalación de nuevas plantas desaladoras en toda la geografía española con déficit hídrico es un hecho que se produce a menudo. En la siguiente tabla se muestran algunos de los principales proyectos para un futuro no muy lejano, en el que destaca la planta de Carboneras, que es con mucho la de mayor capacidad instalada en nuestro país.

Nombre	Capacidad (m ³ /día)	Proceso	Agua
Alicante	50.000	OI	Mar
Almería	50.000	OI	Mar
Arucas-Moya II	6.000	OI	Mar
Cádiz	40.000	OI	Mar
Carboneras	120.000	OI	Mar
Cartagena	65.000	OI	Mar
Las Palmas	35.000	MED	Mar
Sevilla	40.000	OI	Salobre

**Nuevas plantas desaladoras previstas
de ejecución inminente.**

En resumen, la instalación de plantas desaladoras en España se plantea como solución en áreas localizadas (hasta ahora la capacidad instalada en la mayoría de ellas no es muy grande), cosa que no ocurre en otras zonas de alto déficit estructural como Oriente Medio, donde se instalan grandes plantas en zonas aisladas de los asentamientos urbanos y se construyen grandes tuberías para su transporte.

España es el país europeo más puntero en tecnologías de desalación por ósmosis inversa (de ello su masiva implantación en nuestro país), pero no en tecnologías evaporativas, donde grandes compañías alemanas e italianas, junto con las de Extremo Oriente copan el mercado en Oriente Medio.

1.2 Los Procesos de Separación:

Hablar de desalación o eliminación de sales es hablar de los procesos de separación que buscan la eliminación de los elementos que contiene un agua, sean de naturaleza física o química, y que plantean dificultades para su utilización con unos u otros fines.

De acuerdo con esos sistemas, para producir la eliminación o separación es necesario que exista algún elemento que actúe de barrera. Esta barrera física son las que constituyen la base de la mayoría de los procesos de separación que se realizan en la actualidad.

El elemento separador se conoce en unos casos como filtros y en otros como membranas, en función del tamaño de las partículas que es capaz de separar. Cuando se trata de desalar, es decir separar los componentes químicos o iones del agua, su tamaño es tan pequeño que bajo esta perspectiva que hemos descrito son necesarias las membranas.

Pero la desalación no solo se logra mediante la interposición de una barrera que obstaculice el paso de sales, otros procesos existentes no utilizan un elemento físico separador y sin embargo también realizan la separación de sales. En consecuencia, si los procesos de separación los circunscribimos al hecho de utilizar una barrera física, no podríamos considerar técnicas de separación las distintas tecnologías de desalación por destilación, también utilizadas en la actualidad, en las que solo la evaporación del agua y la posterior condensación del vapor formado producen la eliminación de sales, o la más experimental de cristalización.

Lo que se conoce como separación por membranas, o tecnología de membrana, incluye todos aquellos procesos que se han desarrollado a lo largo de los años y cuyo objetivo es la separación de algún componente de una solución, sea éste sólido en suspensión, elemento en solución o iones, mediante la utilización de algún tipo de membrana.

En esta gama tan amplia de procesos se incluye por tanto desde las más elementales formas de filtración hasta las más sofisticadas de ósmosis inversa.

Los avances en este silo dentro del citado campo han sido relevantes, de manera que la separación a nivel macromolecular o iónico es hoy día una realidad.

<i>Proceso</i>	<i>Grado de separación en micras.</i>
Filtración Multicapa	>100
Filtración Cartuchos	>1
Filtración sobre precapa	>0.5
Microfiltración	>0.1
Ultrafiltración	>0.01
Nanofiltración	0.001-0.01
Ósmosis Inversa	<0.04
Electrodialisis	<0.03

Sin embargo, conviene hacer una distinción entre los distintos procesos que se enumeran y otros que no se enumeran.

1.2.1 Destilación súbita por efecto flash (MSF):

La desalación obtenida por destilación consiste, en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales (éstas son volátiles a partir de 300° C): el vapor se condensa posteriormente en el interior ó exterior de los tubos de la instalación. Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que necesitan un sistema de vacío (bombas ó eyectores), además de extracción del aire y gases no condensables.

La utilización de una cámara flash permite una evaporación súbita (y por lo tanto de carácter irreversible) previa a su posterior condensación. Generalmente, la cámara flash se sitúa en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior.

Por lo tanto, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la unión sucesiva de etapas en cascada a diferente presión, y es necesario el aporte mínimo de la condensación de un vapor de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica.

La figura 1.1 muestra el esquema típico de una planta de evaporación súbita por efecto flash (Multi Stage Flash Distillation, MSF).

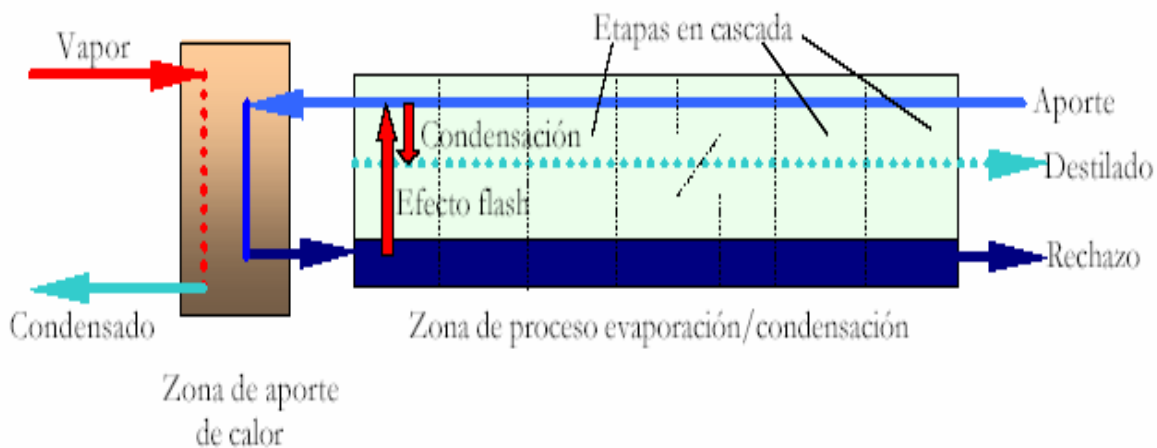


Figura 1.1. Esquema de una planta de evaporación súbita por efecto flash.

Es el proceso evaporativo más ampliamente utilizado en el mundo, de implantación masiva sobre todo en Oriente Medio.

Ello se debe a varias razones:

-Es especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada).

-Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy, fácil y permite una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas.

-Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.

-La capacidad de las plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras en virtud a la cantidad de etapas conectadas en cascada sin problemas de operación.

Sin embargo, las plantas MSF tienen un grave inconveniente. Su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1 m^3 de agua desalada, es de los más altos de los procesos estudiados.

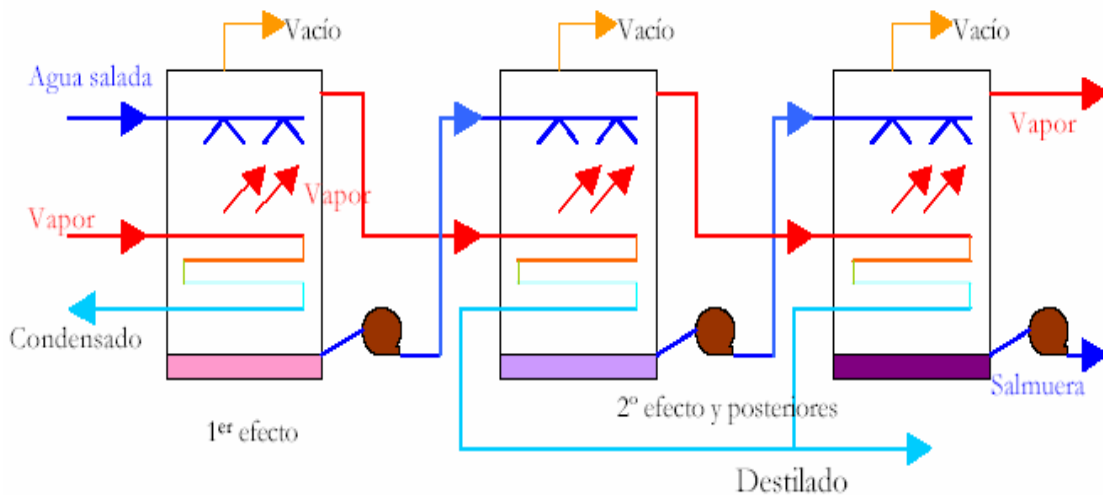
A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta. Además de su alto coste de operación, su coste de instalación no es más bajo que otros procesos de desalación.

1.2.2 Destilación por múltiples Efectos (MED):

En la destilación por múltiple efecto (MED) la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED (Multi-Effect Distillation) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación (ver figura 1.2), dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efectos de dicha presión.

Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto.

El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación.



**Figura 1.2. Destilación múltiple efecto (MED)
con evaporadores horizontales (HFF)**

La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF (nunca suele superar los 15.000 m³/día).

Sin embargo, tienen un mejor rendimiento global con respecto a una MSF, reduciendo por lo tanto el consumo específico de este proceso respecto de una planta MSF con idénticas capacidades.

Ello se debe principalmente a la irreversibilidad asociada al proceso de separación flash que aparece en los procesos MSF.

Además el consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de circulación al no existir recirculación de salmuera.

1.2.3 Destilación Solar:

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables.

Hay varias formas de producir agua dulce usando la energía solar, El principio básico es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente, en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo. Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad del viento (que enfría el vidrio exterior), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio.

Como dicho vidrio está colocado inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera. Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares apoyándose en lentes ó espejos (parabólicos ó lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico.

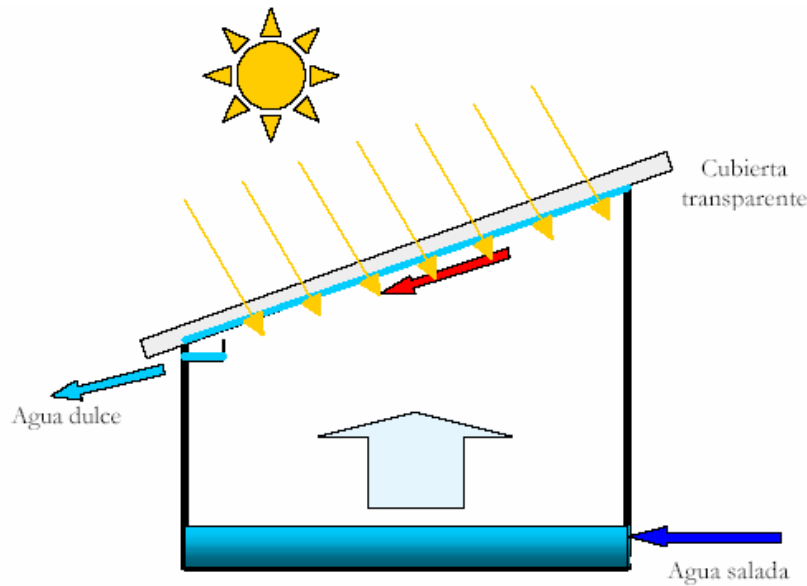


Figura 1.3. Esquema de un colector solar para destilación.

1.2.4 Electrodiálisis (ED):

Este proceso permite la desmineralización de aguas salobres haciendo que los iones de diferente signo se muevan hacia zonas diferentes aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos, y utilizando membranas selectivas que permitan sólo el paso de los iones en una solución electrolítica como es el agua salada.

El proceso puede verse más claramente en la figura 1.4, donde los iones van a los compartimentos atraídos por los electrodos del signo contrario, dejando en cubas paralelas el agua pura y en el resto el agua salada más concentrada. Es un proceso que sólo puede separar sustancias que están ionizadas y por lo tanto su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres ó reutilización de aguas residuales, con un consumo específico y de mantenimiento comparable en muchos casos a la ósmosis inversa.

En algunas ocasiones, la polaridad de los ánodos y cátodos se invierte alternativamente para evitar el ensuciamiento de las membranas selectivas al paso de dichos iones. En este caso se habla de electrodiálisis reversible (EDR).

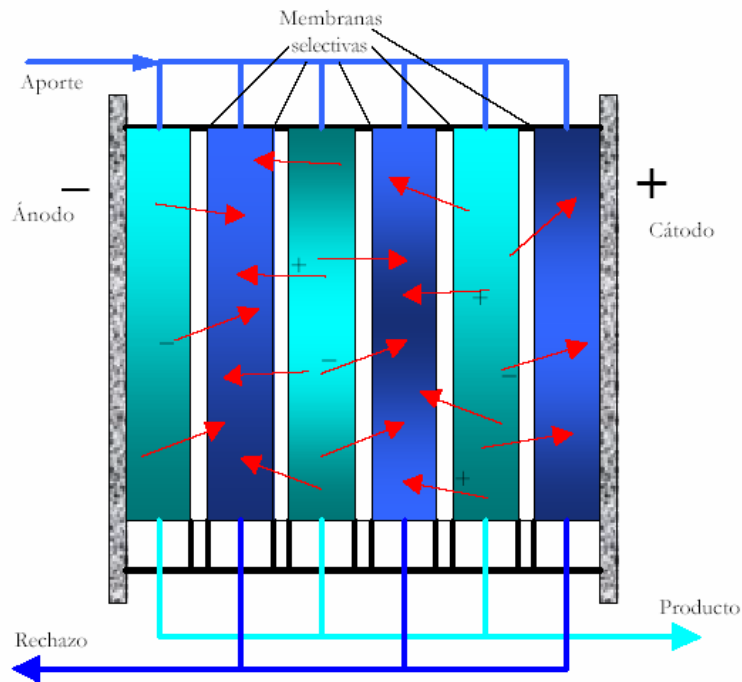


Figura 1.4. Proceso de electrodiálisis.

1.2.5 Intercambio Iónico:

Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles, que cuentan con la propiedad de que intercambian iones con la sal disuelta si se ponen en contacto. Hay dos tipos de resinas: aniónicas que sustituyen aniones del agua por iones OH^- (permutación básica), y resinas catiónicas que sustituyen cationes por iones H^+ (permutación ácida).

La desmineralización por intercambio iónico proporciona agua de gran calidad si la concentración de sal es menor de 1 gr/l. Por lo tanto se utiliza para acondicionar agua para calderas a partir de vapores recogidos o acuíferos, o en procesos industriales con tratamiento de afino.

Las resinas normalmente necesitan regeneración con agentes químicos para sustituir los iones originales y los fijados en la resina, y terminan por agotarse. Su cambio implica un coste difícilmente asumible para aguas de mar y aguas salobres.

1.2.6 Compresión mecánica de vapor (CV):

En la compresión mecánica de vapor (CV) evapora un líquido, en este caso el agua salada, en un lado de la superficie de intercambio, y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado y pueda mantenerse el ciclo de destilación de agua salvando las pérdidas del proceso y la elevación de la temperatura de ebullición del agua salada respecto a la pura.

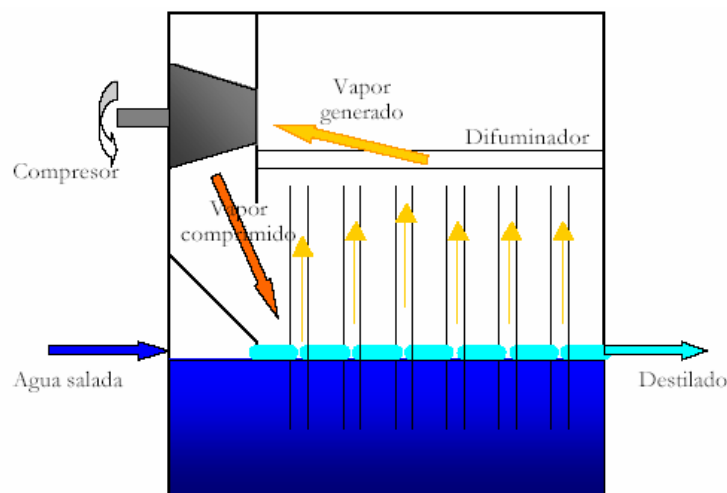


Figura 1.5. Diagrama de la compresión de vapor (CV) con evaporador de tubos verticales.

1.2.7 Osmosis Inversa:

La ósmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. De forma esquemática (figura 1.6) podemos decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable (es decir, permite el paso de agua pero no de sales), existe una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, con lo que la diferencia de altura obtenida (suponemos los recipientes de cada soluto al mismo nivel inicial) se traduce en una diferencia de presión, llamada osmótica.

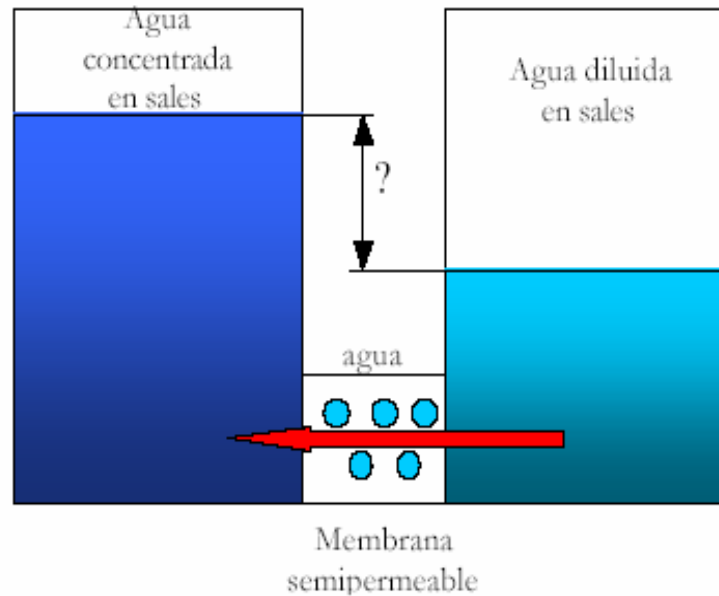


Figura 1.6. Proceso natural de ósmosis.

Sin embargo aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza admisible, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas.

La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta, y la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300-500 ppm de TDS, cifra un orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación.

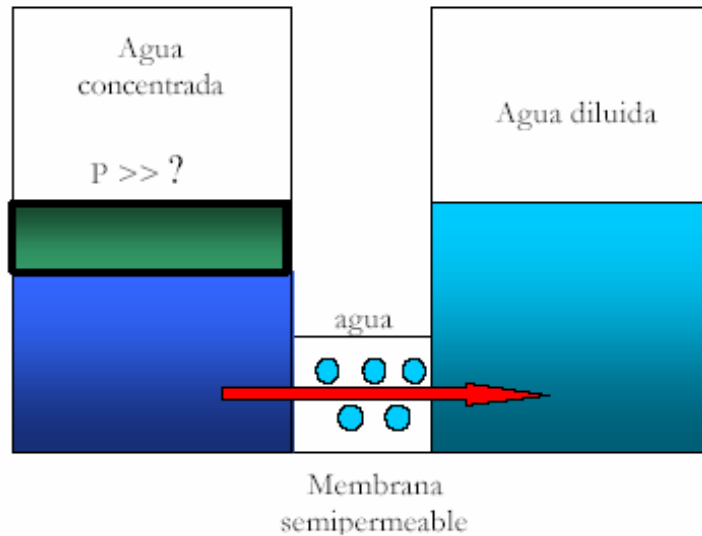


Figura 1.7. Proceso de ósmosis inversa.

Una membrana para realizar osmosis inversa debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones.

Por ejemplo un agua bruta de 35.000 ppm de TDS a 25°C tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado).

Además deber ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. Sin embargo no se puede considerar la OI como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular como un caso cualquiera de filtración.

Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a través de la membrana (un proceso de filtración lo haría en su totalidad), y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana.

El proceso de ósmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas, por ejemplo las membranas se ensucian muy fácilmente con la operación continuada y necesita un pretatamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros (ver figura 1.8):

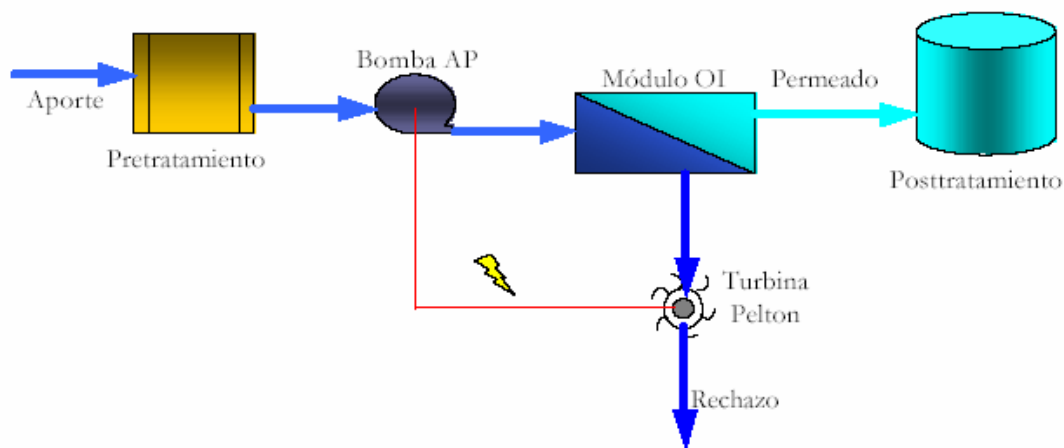


Figura 1.8. Desalación por ósmosis inversa (OI) con turbina Pelton incorporada.

- Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua bruta.
- Filtración con arena para reducir la turbidez.
- Acidificación para reducir el pH y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado para eliminar el cloro residual.
- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.

El postratamiento en una planta de este tipo sólo suele ser un tratamiento complementario para conseguir las condiciones de potabilidad requeridas.

El postratamiento en una planta de este tipo sólo suele ser un tratamiento complementario para conseguir las condiciones de potabilidad requeridas.

El proceso de ósmosis inversa es predominante en nuestro país. Las razones de su imposición con respecto a otras tecnologías son las siguientes:

–El consumo eléctrico específico de una instalación de ósmosis inversa es el menor de los estudiados hasta ahora (6-8 kWh/m³), pero se puede aprovechar la energía contenida en la salmuera rechazada a alta presión para rebajar esa cifra hasta por debajo de 3 kW·h/m³. Ello supone un coste económico menor de 0,15 €/m³, considerando un coste de la electricidad de 0,048 €/kWh.

–Al ser un proceso de filtración, el coste energético depende de la concentración del agua bruta, cosa que no ocurre en las tecnologías de evaporación.

–Permite una adaptabilidad mayor que otras plantas a una ampliación de su capacidad si la demanda es creciente en la zona.

–Los costes de inversión de una instalación de OI están por debajo de otras tecnologías de destilación.

Después de una detallada exposición de los diferentes procesos de desalación actualmente existentes, tan sólo existen unos pocos procesos tecnológicamente viables actualmente a escala industrial: Evaporación súbita por efecto flash (MSF), destilación múltiple efecto (MED), termocompresión de vapor (TVC) y compresión de vapor mecánica (CV), ósmosis inversa (OI) y electrodiálisis (ED).

A modo de recopilación es conveniente realizar un análisis comparativo de las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos métodos tecnológicamente avanzados para la producción de agua desalada. La siguiente tabla, muestra la valoración de todos los métodos comentados anteriormente frente a ciertas características exigibles a un método desalador.

Característica	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
Tipo energía	térmica	térmica	eléctrica	eléctrica	eléctrica
Consumo energético primario (kJ/kg)	alto (>200)	alto/medio (150-200)	medio (100-150)	bajo (<80)	bajo (<30)
Coste instalaciones	alto	alto/medio	alto	medio	medio
Capacidad producción (m ³ /día)	alta (>50.000)	media (< 20.000)	baja (<5.000)	alta (>50.000)	media (<30.000)
Posibilidad ampliación	difícil	difícil	difícil	fácil	fácil
Fiabilidad de operación	alta	media	baja	alta	alta
Desalación agua de mar	sí	sí	sí	sí	no
Calidad agua desalada (ppm)	alta (< 50)	alta (< 50)	alta (< 50)	media (300-500)	media (<300)
Superficie terreno requerida de instalación	mucha	media	poca	poca	poca

Valoración de diferentes características deseables para los métodos de desalación existentes en el mercado.

Haciendo una comparación entre las distintas tecnologías podemos llegar a decir que; los procesos de destilación necesitan calor para provocar el cambio de estado de líquido a vapor, que prácticamente es independiente de la salinidad que tenga el agua.

La ósmosis inversa aplica una presión para superar la presión osmótica del agua a tratar, por tanto cuanto mayor sea la salinidad del agua, mayor será su presión osmótica a superar.

Del mismo modo el desplazamiento de los iones que componen el agua mediante la aplicación de una carga eléctrica, en el proceso de electrodiálisis, exigirá una intensidad de corriente mayor a medida que aumenta el número de iones o concentración de la solución.

Por todo ello se entiende que la destilación se emplea únicamente a nivel comercial para desalar agua de mar, la electrodiálisis para desalar agua salobre y la ósmosis inversa tanto para agua salobre como para agua de mar.

Pero además de esta característica diferenciadora, se trata de concepciones completamente diferentes, dado que el segundo y el tercero emplean para realizar la separación una membrana y además efectúan el proceso a temperatura ambiente, mientras que la destilación hace uso del vapor producido en el calentamiento del agua.

Los procesos de destilación requieren un cambio de estado en el cual existe una pérdida importante de energía por ello, siendo los más antiguos en el tiempo, han ido perdiendo importancia en la última década a favor de los de membrana, más eficientes energéticamente.

Pero además el aspecto energético, supone en la mayoría de los casos el mayor de los costes de explotación, existen otros aspectos de estas tecnologías que a grandes rasgos deben ser conocidas, pues en situaciones concretas puede resultar ventajoso la elección de una fuente frente a las otras.

Como simple referencia de sus características podemos decir que:

1. La destilación:

- Tiene un elevado consumo energético.
- Requiere una elevada inversión inicial.
- Precisa de una extensión de terreno importante.
- Su eficiencia es baja.
- No depende de la salinidad del agua.
- Necesita una fuente de vapor que según los casos puede o no ser independiente del proceso.
- Produce un agua de calidad casi pura.
- Puede acoplarse a una central eléctrica productora de energía.

2. La ósmosis inversa:

- Tiene el menor consumo energético.
- Se puede utilizar tanto en agua salobre como de mar.
- La inversión precisa está muy ligada a las características del agua que se pretende desalar y en general es inferior a la de los otros sistemas.
- Precisa pretratamiento físico-químico que a veces pueden ser importantes.
- Precisa una extensión de terreno de tipo medio.
- Necesita una fuente exterior de energía.
- Además de iones separa bacterias y virus por lo que también tiene aplicaciones como sistema de desinfección.
- La presencia de iones específicos limita sus posibilidades de aplicación eficiente.
- Su manejo se complica en función de las características Físico-químicas del agua.

3. La electrodiálisis:

- Tiene un consumo energético de tipo medio que para aguas de salinidades bajas puede ser similar a la ósmosis inversa.
- Necesita menores tratamientos químicos que los otros sistemas.
- Sus necesidades de espacio e inversión son intermedias entre las de los otros sistemas.
- Su coste de instalación es superior a la ósmosis inversa.
- El agua producto es de inferior calidad a la de las otras tecnologías.
- Su consumo de reactivos es menor que en los otros sistemas.
- Su manejo es sencillo en todos los casos.

Se observa que las tecnologías evaporativas destacan solo en lo relativo a la calidad del agua bruta permisible (ver tabla anterior) y la calidad del permeado final. Sin embargo en nuestro caso, la calidad del agua de mar a tratar es buena y la calidad del permeado final es la idónea para el fin perseguido.

Concluimos eligiendo la osmosis inversa como la tecnología a aplicar para nuestro proyecto, esta tecnología se desarrollara en profundidad en los próximos capítulos del vigente proyecto.

1.3 El agua a Desalar:

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

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

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

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

1.3.1 Condiciones del agua bruta aportada:

La calidad del agua producto requerida, así como la del agua bruta aportada al proceso de desalación es fundamental a la hora de elegir uno u otro proceso. Por ejemplo, podemos señalar que los procesos de destilación consumen la misma cantidad de energía independientemente de la salinidad del agua aportada, por lo que sólo son apropiadas para la desalación de aguas marinas.

Y también que aguas especialmente puras para aplicaciones específicas industriales, necesitan procesos específicos como el intercambio iónico o postratamientos si utilizamos inicialmente un proceso de ósmosis inversa.

Ciñéndonos a la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua, la tabla 1.4 muestra la denominación de esa agua en función de su salinidad.

Denominación del agua	Salinidad (ppm de TDS)
Ultrapura	0,03
Pura (calderas)	0,3
Desionizada	3
Dulce (potable)	< 1.000
Salobre	1.000-10.000
Salina	10.000-30.000
Marina	30.000-50.000
Salmuera	>50.000

Tabla 1.4. Rangos de salinidad de los diferentes tipos de agua.

En cuanto a la salinidad de los mares y océanos del Planeta, tampoco es ni mucho menos constante, tal y como se aprecia en la tabla 1.5.

Mar/océano	Salinidad (ppm de TDS)
Mar Báltico	28.000
Mar del Norte	34.000
Océano Pacífico	33.600
Océano Atlántico Sur	35.000
Mar Mediterráneo	36.000
Mar Rojo	44.000
Golfo Pérsico	43.000-50.000
Mar Muerto	50.000-80.000
MEDIA MUNDIAL	34.800

Tabla 1.5. Salinidad media de los mares y océanos principales del planeta.

A la vista de estos datos, está claro que la salinidad (más fácilmente medible a través de su conductividad eléctrica CE (dS/m) o facilidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica.

El agua pura no conduce la electricidad pero se va haciendo conductora con la adición de diversos constituyentes de naturaleza electrolítica), así como otros constituyentes químicos integrados en el agua (especialmente crítico cuando hablamos de aguas salobres o residuales, que pueden incluir componentes de difícil eliminación), y la temperatura de aporte influyen mucho a la hora de elegir el proceso desalador que pueda eliminarlos convenientemente.

La tabla 1.6 resume el tipo de proceso básico a utilizar en función del tipo de agua de aporte especificada.

Proceso	Agua de mar	Agua salobre
MSF		
MED		
TVC		
CV		
OI		
ED		

Tabla 1.6 Proceso desalador a aplicar en función del tipo de agua bruta.

1.3.2 Calidad requerida al Agua:

La calidad del agua requerida depende claramente de su uso.

Así, para ciertos procesos industriales aguas de hasta 5.000 ppm pueden usarse pero en otros como centrales eléctricas, el límite máximo es ínfimo.

En la agricultura, algunos cultivos toleran hasta las 2.000 ppm, aunque ello depende de la tierra, clima, composición del agua salobre, método de riego y fertilizantes aplicados.

En cuanto al consumo humano, su límite es de 1.000 ppm, aunque en climas excesivamente cálidos un aporte extra de sales (si son principalmente cloruro sódico) puede ser beneficioso para el cuerpo humano.

Aunque el consumo humano es de sólo unos 2-3 litros para ingestión, la desalación no sería ningún problema para este uso, si hubiera otro sistema de abastecimiento de agua de peor calidad para otros servicios propios tales como lavado, riego de jardines, cocinado, etc.

La normativa vigente española referida a la calidad de las aguas requeridas, el Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre adapta a la legislación española la Directiva Europea 80/778/CEE de 15 de Julio sobre la misma materia.

En él se definen las características de un agua potable, con las concentraciones máximas que no pueden ser rebasados y además fijos, unos niveles guías deseables para el agua potable. El decreto divide los parámetros en:

- Organolépticos.
- Físico-químicos.
- Sustancias no deseables.
- Sustancias Tóxicas.
- Microbiológicos.
- Radiactividad.

Menciona que las Comunidades Autónomas podrán fijar excepciones siempre que no entrañen un riesgo para la salud pública. El apartado específico por aguas blandadas o desaladas se fija en tres parámetros:

- El ph, debe de estar equilibrado par que el agua no sea agresiva.
- Alcalinidad, debe tener al menos 30 mg/l de HCO^{-3} .
- Dureza, debe tener al menos 60 mg/l de Ca^{+2} , que implica un acondicionamiento del agua producto.

Posteriormente, la Directiva Europea 98/83/CEE de 3 de Noviembre establece los nuevos requisitos mínimos a cumplir a partir de dos años después de su dición. Incluye una serie de parámetros divididos en tres partes:

- Microbiológicos.
- Químicos.
- Indicadores (valores guía).

La tabla 1.7 recoge una comparativa de los parámetros más significativos del agua según las distintas normativas antes mencionadas y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

PARÁMETRO	80/778/CEE	98/83/CEE	OMS (guía)
Cloruros (máximo como ión)	200 (*)	250	250
Sulfatos (máximo como ión)	250	250	400
Nitratos (máximo como ión)	50		
Alcalinidad (máximo como mg/l de HCO ₃ ⁻)	30	30	
Sodio (máximo como ión)	175 (150)	200	200
Magnesio (máximo como ión)	50	-	
Dureza total (min. como mg/l Ca ⁺⁺)	60	-	200
TDS (ppm)	1.500	1.500	1.000
pH	6,5 a 8,5	6,5 a 9,5	6,5 a 8,5
Otros		Agua no agresiva	

***Valor solo recomendado.**

Tabla 1.7 Comparativa de parámetros más significativos del agua según normas o estándares actuales.

1.3.3 Calidad Obtenida con la Desalación:

La tabla 1.8 muestra la calidad media del agua obtenida por los procesos de OI de un único y doble paso, y los procesos de evaporación.

	OI (1 paso)	OI (2 pasos)
Ca ⁺⁺ (mg/l)	2	0,1
Mg ⁺⁺ (mg/l)	6	0,3
Na ⁺ (mg/l)	128	15
K ⁺ (mg/l)	4	0,8
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	8	0,4
SO ₄ ⁼ (mg/l)	11	0,6
Cl (mg/l)	208	23
TDS (mg/l)	367	40
SiO ₂ (mg/l)	0,1	0,0
CO ₂ (mg/l)	23	12
pH	5,8	5,2

Tabla 1.8 Calidad media del agua obtenida

Vista la calidad obtenida con los procesos y los requerimientos legales, en el postratamiento de las aguas desaladas se tienen que considerar dos aspectos. El primero contemplará el equilibrio químico del agua con el fin de eliminar su alta agresividad y así proteger las redes de distribución, para ello es necesario reducir el alto contenido de CO₂ con la adición de cal –Ca(OH)₂– para conseguir un agua ligeramente incrustante.

El segundo aspecto se refiere al contenido de dureza del agua de abastecimiento, con el mínimo de 60mg/l como se puede ver en la tabla 3.5. La práctica más habitual es su mezcla con aguas superficiales con alto contenido de Ca y Mg, y en el caso de que esto no sea posible se dosifican sales cálcicas como CaCl₂ o CaSO₄, aunque supongan un incremento de Cl⁻ o SO₄⁼ en el agua de abastecimiento.

El coste del postratamiento es prácticamente despreciable frente a los de la desalación propiamente dicha, por lo que de aquí en adelante no se mencionarán.

La calidad del agua obtenida por cualquier método de desalación es apta para el consumo humano tan sólo con un pequeño postratamiento en algunos casos. El pretratamiento es necesario para el adecuado funcionamiento de la instalación desaladora.

En el caso de aguas para uso agrícola o industrial, es necesario estudiar de forma individualizada cada caso. En la mayoría de ellos, los requerimientos mínimos siempre van a ser menores que el del agua potable, con lo que cualquier método desalador cumple holgadamente dichos requerimientos.

2.1 Descripción del Proceso:

La tecnología de la ósmosis inversa se basa en el proceso de ósmosis, que es un fenómeno natural que se produce en las células de los seres vivos, por el cual dos soluciones de distinta concentración salina puestas en contacto a través de una membrana semipermeable tienden a igualar sus concentraciones.

Para ello se produce un movimiento desde la solución más diluida hacia la más concentrada, que se detiene cuando se alcanza un equilibrio entre ambas concentraciones.

La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y esta relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones. El proceso queda esquematizado en las figuras 2.1.

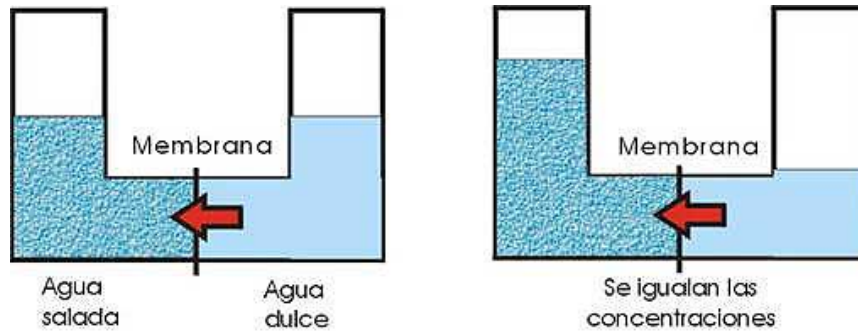


Figura 2.1

Cuando dos soluciones de diferentes concentraciones o salinidad están colocadas en dos recipientes separados por una pared impermeable, cada una de ellas alcanza en el depósito correspondiente una altura que es función únicamente del volumen de la solución y el diámetro del depósito.

Si sustituimos la citada pared por una membrana semipermeable (permeable al agua, no a las sales) se produce un movimiento a través de la membrana desde la solución más diluida a la más concentrada, tal como el que aparece representando en la figura 2.1., que se detiene cuando se alcanza un desnivel entre ambos tubos, que corresponde a la presión osmótica de la solución más concentrada, o más propiamente a la diferencia de presiones osmóticas entre ambas soluciones.

Este valor es la presión diferencial que impulsa el agua a través de la membrana. Si invertimos el proceso aplicando una presión en el tubo de la solución más concentrada, figura 2.2, el movimiento se produce desde ésta hacia la más diluida.

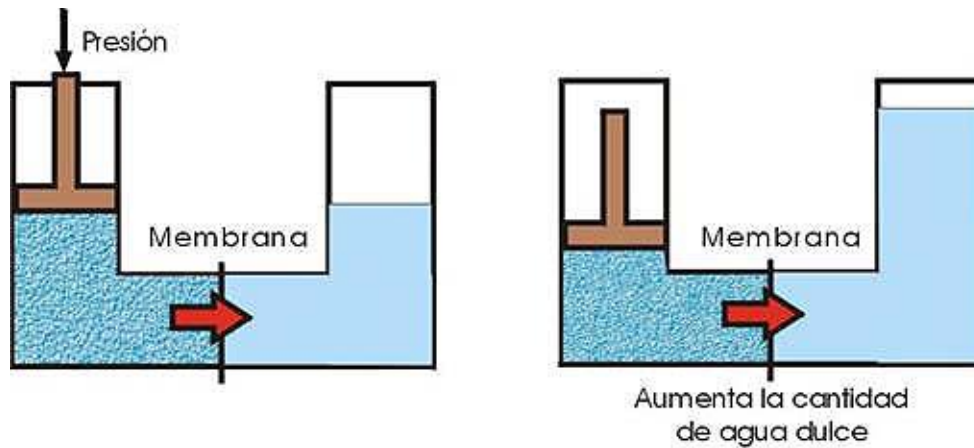


Figura 2.2.

Finalmente se alcanza un nuevo equilibrio, la altura que alcanza la solución en el nuevo equilibrio es función de la presión aplicada, de las características de la membrana y de las concentraciones de ambas soluciones.

Este proceso es lo que constituye la ósmosis in versa. Se llama así porque para conseguir un flujo de solvente a través de la membrana hay que ejercer al menos una presión suficiente para vencer la presión osmótica de la solución.

En la práctica, sin embargo, no es necesario vencer la presión osmótica de la solución de alimentación, sino sólo la diferencia de presión osmótica entre las soluciones de alimentación y producto. Esta depende del flujo de agua a través de la membrana y cambia de cero hasta un límite dado por las características de la membrana.

Como se comprende, el elemento diferenciador de la ósmosis inversa frente a otros procesos es la membrana, la cual debe reunir una serie de características:

- Debe ser capaz de resistir las presiones a que se va a someter la solución para invertir el proceso.
- Suficientemente permeable al agua para que el flujo que proporciona sea elevado.
- Rechazar un porcentaje de sales elevado para que el producto sea de buena calidad.

2.2 Diferencia entre ósmosis y otros procesos de membranas:

La tecnología de ósmosis inversa puede llevar a creer que es un proceso de filtración del agua a escala molecular, se comprende fácilmente que la ósmosis inversa es un fenómeno claramente diferente de la filtración o microfiltración.

Los tres aspectos que marcan más claramente la diferencia son:

-En la filtración todo el caudal atraviesa el elemento separador, que impide únicamente el paso de partículas sólidas de un determinado tamaño. En la ósmosis inversa en cambio, sólo una parte del caudal de alimentación atraviesa la membrana constituyendo el producto, mientras el resto es eliminado sin atravesar la membrana y constituye el rechazo.

-En la ósmosis inversa no se produce la acumulación del material separado sobre a superficie de la membrana, como ocurre en el otro proceso, pues precisamente el rechazo produce el arrastre de dicho material.

-En la filtración el flujo de agua a tratar es perpendicular a la membrana, mientras que en la ósmosis es paralelo a ella.

En la figura 2.3, podemos ver la dirección del flujo en el proceso de ósmosis inversa.

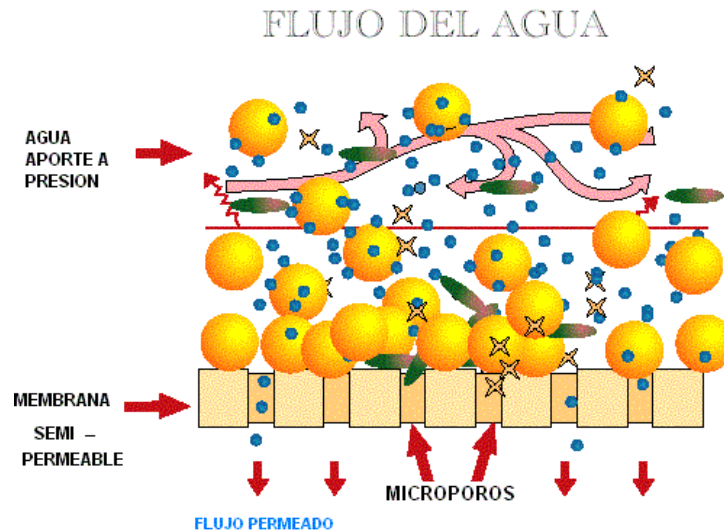


Figura 2.3

También es preciso separar claramente la desalación por ósmosis inversa de otros procesos de desalación como son la ultrafiltración y la electrodiálisis; así en la ósmosis, el agua es separada de las sales, mientras que en la electrodiálisis son los iones que constituyen las sales los que abandonan el agua, atraídos por electrodos de distinta carga.

Por otra parte la fuerza que rige el proceso de ósmosis inversa es la presión, mientras que en la electrodiálisis es el potencial eléctrico.

2.3 Ecuaciones Fundamentales:

El proceso queda enmarcado por una serie de ecuaciones que definen o aclaran los distintos aspectos que deben conocerse, y que en última instancia permiten realizar el proyecto o diseño de las distintas instalaciones.

Los parámetros básicos de una planta de ósmosis inversa se introducen para un caso básico, figura 2.4 muestra la configuración básica del esquema de flujos de una Membrana de ósmosis inversa, que consta de tres flujos principales: alimentación de agua previamente presurizada por la bomba de alta presión (subíndice a), permeado de baja concentración de sales (subíndice p) y flujo concentrado de rechazo (subíndice r). De aquí en adelante, la inicial Q significa caudal, la C concentración salina, P es la presión absoluta.

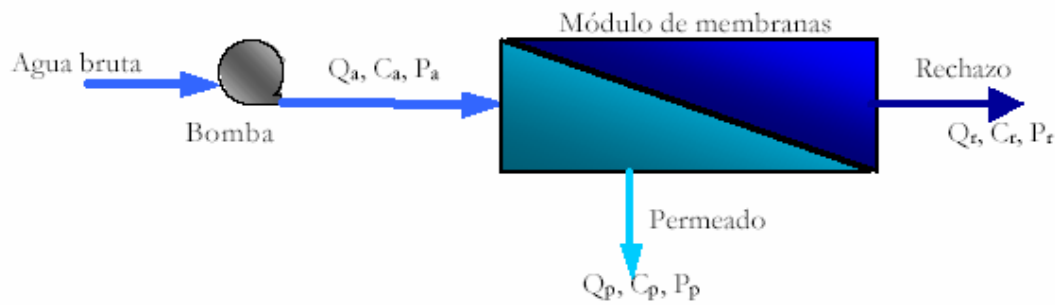


Figura 2.4 Configuración básica.

2.3.1 Porcentaje Recuperación: cociente en tanto por ciento del caudal de permeado obtenido en función del de alimentación.

$$Y = \frac{\text{Caudal permeado}}{\text{Caudal alimentación}} \cdot 100 = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100$$

Este porcentaje varía lógicamente en función de la calidad del agua bruta introducida, siendo de un 35 a un 50% en el caso de aguas marinas y mucho mayor en el caso de aguas salobres, hasta el 80% de conversión.

2.3.2 Flujo de agua: De esta ecuación se deduce que el caudal es directamente proporcional a la presión neta aplicada, es decir, a la diferencia de presiones que aparece entre paréntesis en la fórmula, y al cociente de transporte, es decir, a una característica propia de la membrana y a otra propia del funcionamiento.

$$Q_a = A (P_m - \Delta \phi_m)$$

Siendo:

Q_a = el caudal de agua que atraviesa la membrana en $l/m^2/hora$.

A = coeficiente de transporte de la membrana en $l/m^2/hora \text{ atm}$.

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

$\Delta\dot{O}_m$ = presión osmótica diferencial a ambos lados de la membrana, en atm o Kg/cm².

El coeficiente A es característico de cada membrana y depende de varios factores como son, el espesor de la membrana, la temperatura, o la composición química de la solución.

Por ello si, el coeficiente de transporte aumenta, el caudal también lo haría sin, que fuera necesario aumentar la presión neta.

El caudal que atraviesa la membrana queda definido en unas condiciones de presión y temperatura predeterminadas, y en cada situación deben aplicarse las correcciones oportunas para adaptarlos a las condiciones reales de funcionamiento, esto es lo que se conoce como normalización de la membrana.

2.3.3 Transporte de sales: En esta ecuación se ve que no existe dependencia directa entre la presión y el flujo de sales; es decir, al aumentar la presión no mejora el transporte de sales, ni por tanto tampoco el rechazo de sales.

$$Q_s = K_s (C_a - C_p)$$

Donde:

Q_s = flujo de sales, en g/cm²/s.

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

C_a = concentración de sales en el agua de alimentación, en g/cm³.

C_p = concentración de sales en el agua producto, en g/cm³.

2.3.4 Rechazo de Sales (RS): Parámetro más importante de la membrana y se basa en el proceso de fabricación y en los polímeros que forman la membrana, constituye el know-how de cada fabricante.

$$\mathbf{RS (\%) = (1 - C_p / C_a) * 100}$$

2.3.5 Paso de Sales: estos parámetros se hacen en condiciones específicas determinadas por cada fabricante, aunque suelen estandarizarse en cuanto a presión, temperatura, salinidad del agua preparada artificialmente, y en ocasiones recuperación.

$$\mathbf{PS (\%) = C_p / C_a * 100}$$

Por tanto también:

$$\mathbf{RS = 100 - PS}$$

2.3.6 Recuperación: También conocida como conversión o recobro del sistema, es el porcentaje de producto que se obtiene a partir de un determinado volumen de agua de alimentación:

$$\mathbf{R (\%) = Q_p / Q_a * 100}$$

Q_p y Q_a , medidos en las mismas unidades, m^3 /hora o m^3 /día.

Este factor es muy importante según se trate de membranas individuales o de módulos en los que interviene más membranas colocadas en serie.

En las membranas espirales, dicho factor no suele ser superior al 12-15 % si se trata de membranas de agua salobre y del 10 % en caso de agua de mar.

En membranas de fibra hueca, dicho factor se eleva hasta el 85 % en agua salobre y al 60 % en agua de mar.

2.3.7 Concentración del producto:

$$C_p = (1 - RS) * (C_a + C_r)/2$$

2.3.8 Concentración del Rechazo:

$$C_r = RS * C_a / (1-R)$$

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

A través de esta ecuación se ve también claramente cómo se puede influir en la calidad del rechazo para que no cree problemas en su eliminación, decidiendo desde el diseño de la instalación el tipo de membrana a elegir y la conversión del sistema.

2.3.9 Balance de Agua:

$$Q_a = Q_p + Q_r$$

Para una instalación de ósmosis inversa de agua marina con 10.000 m³/día de capacidad, suponiendo una conversión del 45% tenemos 4.500 m³/día de permeado y 5.500 m³/día de rechazo.

2.3.10 Balance de Sal:

$$C_a * Q_a = Q_p * C_p + Q_r * C_r$$

Siguiendo el ejemplo anterior (una conversión del 45%), si la concentración del permeado obtenida fuera de 300 ppm, y la concentración del agua marina a la entrada de la instalación de OI es de 35.000 ppm de TDS, el concentrado de la salmuera tirada al mar es de 63.400 ppm de total de sólidos disueltos.

2.4 Membranas y sus agrupaciones:

La membrana que realiza la separación es una lamina delgada que por si sola no soportaría los esfuerzos a que hay que someterla en el proceso de separación.

Además, por su reducido caudal unitario, precisaría enormes desarrollos para poder tratar volúmenes importantes. Por ello necesita ser integrada en una estructura mecánica que le permita tanto soportar los esfuerzos como ocupar el menor espacio posible

Las membranas pueden clasificarse en función de distintos parámetros, según su estructura, naturaleza, forma, composición química, carga superficial, según la morfología de su superficie y su presión de trabajo.

2.4.1 Según su Forma:

Atendiendo a la estructura que presenten en un corte transversal a la superficie en contacto con la solución a tratar, las membranas pueden ser:

-Simétricas:

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.

Las membranas simétricas 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:

La membrana presenta 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 y delgada 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 del solvente. Todas las membranas de ósmosis inversa tiene capa activa y son por tanto asimétricas.

2.4.2 Según su naturaleza:

Atendiendo a su naturaleza, las membranas asimétricas de ósmosis inversa pueden ser:

-Integrales: En las membranas integrales existe continuidad entre la capa activa y el lecho poroso soporte siendo ambos del mismo polímero. Los dos tiene la misma composición química y entre ellos no hay una clara separación, sino un aumento progresivo de la porosidad. La figura 2.6 muestra un esquema de este tipo de membranas.

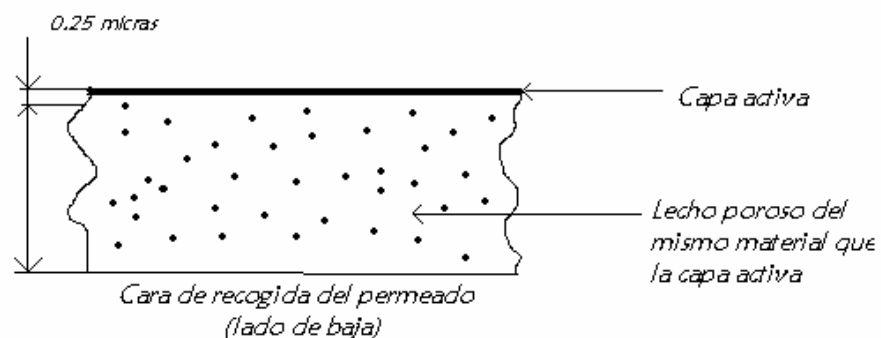


Figura 2.5

-Compuestas de Capa Fina: En las membranas compuestas de capa fina, la capa activa y el sustrato microporoso que le sirve de soporte son de materiales diferentes.

Las membranas compuestas de capa fina son la evolución tecnológica de las integrales. Figura 2.7. Presentan, frente a estas últimas, las siguientes ventajas:

-Cada capa puede desarrollarse y optimizarse separada e independientemente, adecuando cada una a su trabajo específico.

-Se puede variar a voluntad el espesor de la capa activa adecuándolo a las necesidades específicas de cada aplicación.

-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.

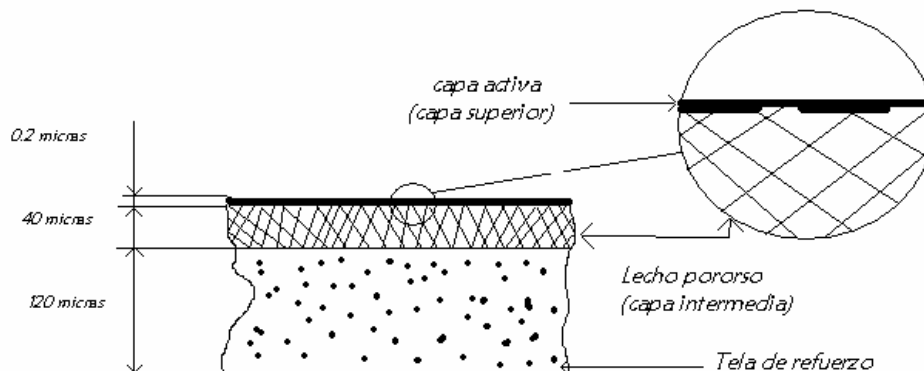


Figura 2.6

2.4.3 Según su forma:

Atendiendo a la forma que presentan las membranas, una vez fabricadas, se pueden distinguir los siguientes tipos:

-Membrana de tipo Plano:

Es el tipo más sencillo y el que primero se utilizó. Están constituidas por una lámina que se coloca dentro de un marco, circular o rectangular, que actúa de soporte de la membrana y le confiere rigidez y resistencia. La superficie de estas membranas es pequeña, por lo que para aumentar la producción de los quipos que disponen de estas membranas, se colocan unas encima de otras, constituyendo una especie de pilas o columnas de membranas. La película empleada como membrana no difiere de las que se emplean en otro tipo de configuraciones, por lo que sus características unitarias de rechazo y caudal son similares a las otras.

El principal inconveniente de este tipo de membranas es su pequeña capacidad productiva, por lo que para utilizar en instalaciones de tamaño medio se requieren numerosas membranas colocadas en pilas, que resultan voluminosas, pesadas e incómodas para operar y que encarecen enormemente su coste.

Su principal ventaja es que la separación entre membranas, de 1 a 3 mm, es amplia, por lo que se obstruyen menos que otras y además en caso de ensuciamiento se limpian fácil y eficazmente con aire y agua o, en caso de ensuciamiento persistente, desmontando las correspondientes pilas.

En el sector del agua su mayor aplicación está en aguas muy contaminadas, residuales o con elevada carga orgánica.

-Membranas tubulares:

Representan una alternativa a las anteriores, buscando conseguir una mayor superficie unitaria, pero sin renunciar a las ventajas de dificultad de ensuciamiento y fácil limpieza.

La membrana, generalmente de ½” de diámetro, va alojada en el interior de un tubo de PVC, que soporta la presión del proceso. En algunos casos se colocan varias membranas en el interior de un tubo de 1,5 a 2” de diámetro. El tubo va provisto de los orificios necesarios para entrada y salida de los flujos de agua que intervienen en el proceso. El agua alimenta a la membrana por su interior y el permeado se obtiene por la parte exterior de la misma. Para aumentar la capacidad de la instalación se colocan tubos en paralelo, pero aún en estos casos resulta pequeña. En la actualidad sus aplicaciones se limitan al campo industrial.

-Membranas de fibra hueca:

Están constituidas por un haz de tubos capilares de tamaño de un cabello humano, huecos interiormente.

Las primeras fibras que se desarrollaron eran de acetato de celulosa y producían un caudal muy pequeño. Sin embargo, se consideró que podían ser útiles para desalación puesto que eran muy baratas de fabricar y muy delgadas.

Al comprobarse que la resistencia de la fibra no dependía tanto del espesor de la pared como de la relación diámetro exterior interior, se pensó que reduciendo su tamaño se podía conseguir una pared extremadamente delgada, que permitiría aumentar su caudal.

Esta delgadez permite su empaquetamiento en poco espacio, dentro de un tubo cilíndrico que constituye la carcasa protectora y permite la circulación de la solución a desalar. Este tubo, para evitar la corrosión, es de un material plástico de alta resistencia como el PRFV. El agua a tratar entra por el extremo de este tubo o carcasa y se distribuye a través de un tubo central provisto de perforaciones hacia las paredes del tubo.

Las fibras se colocan paralelas alrededor de este tubo, doblándose en uno de los extremos y retornando al otro, de forma que la longitud de cada fibra es aproximadamente el doble que la del tubo.

Por ambos extremos del tubo las fibras quedan incrustadas en una masa de material epoxi, para darles rigidez.

El agua a presión se aplica a la membrana desde el exterior del capilar y la pared de la fibra actúa como lámina o membrana separadora reteniendo las sales, mientras que por el interior circula el agua producto que ha atravesado la membrana. La salmuera se desplaza de una manera radial hacia los bordes del tubo siendo recogida mediante un colector para su evacuación.

La superficie de estas membranas es muy grande dado que está constituida por el desarrollo de millones de tubos capilares. Su caudal unitario es muy pequeño, pero extendido al haz de fibras que constituyen la membrana, determina un caudal por membrana importante. El espesor de la pared de la fibra es muy grande en relación con su diámetro, lo que le permite soportar las altas presiones utilizadas.

La siguiente figura 2.10, es un esquema de este tipo de membranas.

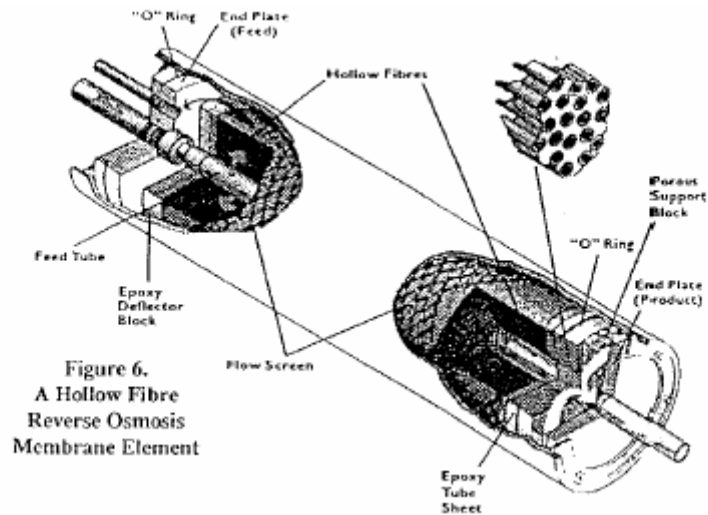


Figura 2.10 Membrana de fibra Hueca.

-Membranas de arrollamiento en espiral:

Están formadas por varias láminas rectangulares, que constituyen las membranas propiamente dichas, enrolladas alrededor de un eje cilíndrico provisto de perforaciones que permiten recoger el agua producto.

Para el arrollamiento de las láminas desaladoras se disponen éstas alternadas con un separador impermeable y una malla, de forma que en una membrana arrollada en espiral existen tantas láminas como separadores y mallas.

La malla plástica determina los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar y por su forma cuadrículada garantiza un régimen de funcionamiento turbulento lo que reduce las posibilidades de obstrucción por elemento extraños.

El separador impermeable permite aislar el caudal que pasa por cada una de las láminas o membranas y separarlo de la salmuera.

El conjunto de membranas, mallas y separadores se sella mediante un pegamento por tres de los lados, mientras que por el cuarto lado que constituye la única salida posible para el agua que ha atravesado las membranas, se une al eje perforado. Podemos ver un ejemplo de enrollamiento en la figura 2.11.

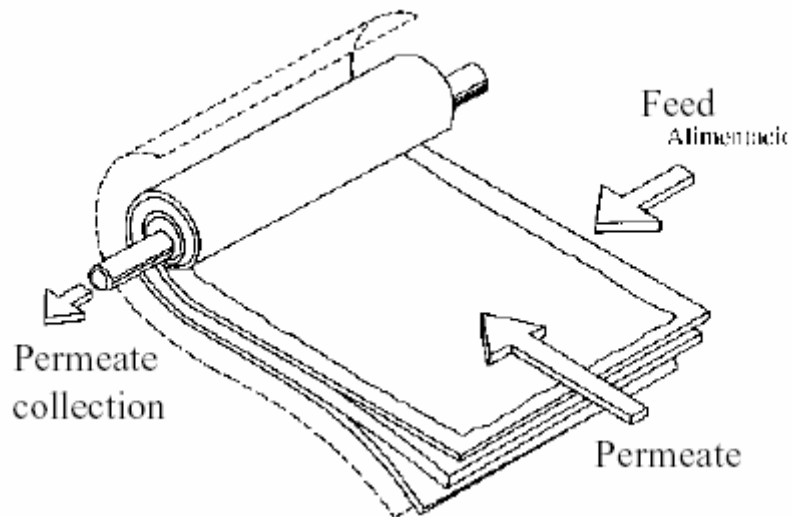
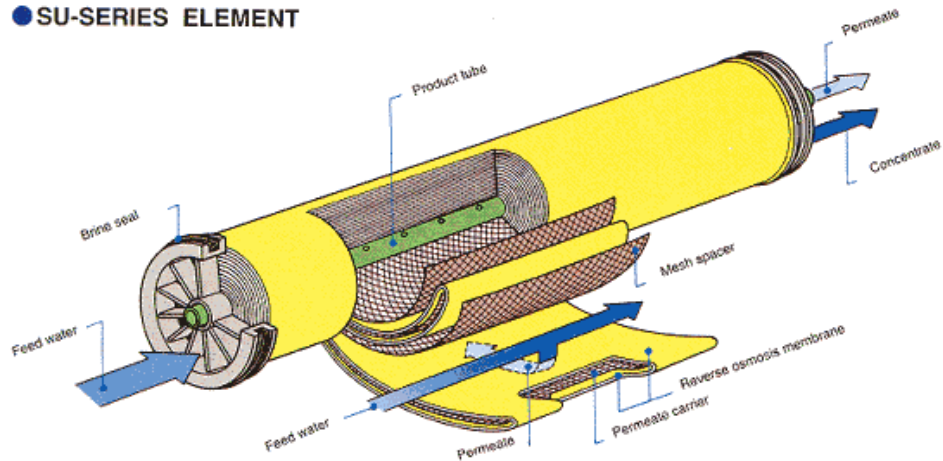


Figura 2.11 Membrana de Enrollamiento en Espiral.

Finalmente se cierra el conjunto con una envuelta exterior de poliéster con fibra de vidrio, que permite logara una gran estanqueidad.

El enrollamiento permite introducir una gran superficie de membranas en un espacio reducido.

● SU-SERIES ELEMENT



**Figura 2.12 Tubo de Membrana en espiral.
(Tubo de presión)**

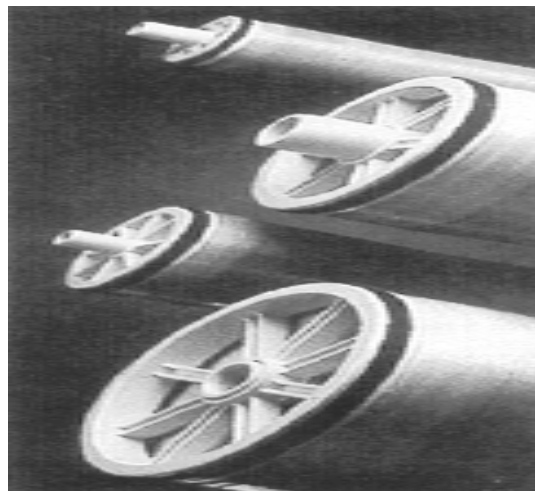


Figura 2.13 Tubos de Presión Reales.

2.4.4 Según la composición química:

Atendiendo a la composición química de la capa activa, las membranas pueden clasificarse en dos grandes grupos.

-Orgánicas:

Reciben este nombre todas aquellas membranas cuya capa activa está fabricada a partir de un polímero o copolímero orgánicos. Aunque existen un gran número de polímeros, copolímeros y mezclas, tanto naturales como sintéticos, muy pocas de éstas son aptas para la ósmosis inversa; los que han tenido éxito en la fabricación de membranas de ósmosis inversa son: Acetato de celulosa, triacetato de celulosa, Poliamidas aromáticas, Poliamidas aromática lineal, con entrecruzamiento, poliéter-urea, Poliacrilonitrilo,...

-Inorgánicas:

Las membranas orgánicas presentan dos limitaciones importantes que reducen su campo de aplicación: su estabilidad química y la resistencia a la temperatura. La búsqueda de soluciones a estos dos han desembocado en la utilización de materiales inorgánicos para su fabricación.

Los cuatro grupos en que se clasifican son: Cerámicas, vidrios, Fosfacenos, Carbonos.

2.4.5 Según la Presión de Trabajo:

El parámetro fundamental que define las condiciones de operación de una planta de ósmosis inversa es la presión de trabajo. Como dicha presión debe ser varias veces superior a la presión osmótica de la solución de aporte, debido, por un lado, a los fenómenos de polarización de la membrana, y por otro, al aumento de la concentración que se produce a medida que se va generando permeado, su valor vendrá condicionado por la salinidad de la solución a tratar.

En la actualidad, las membranas de ósmosis inversa en el mercado pueden encuadrarse en una de las cuatro categorías siguientes:

- Muy Baja presión: Son las que trabajan con presiones comprendidas entre 5 y 10 bares. Se utilizan para desalar agua de baja salinidad (entre 500 y 1500 mg/l) y fabricar agua ultrapura.

- Baja presión: Este tipo de membranas trabajan a una presión comprendida entre 10 y 20 bares. Se utilizan para desalar agua de salinidad media (entre 1.500 y 4.000mg/l), así como para reducir o eliminar de ellas ciertos compuestos como nitrato, sustancias orgánicas, pirógenos, etc.

- Media Presión: La presión de trabajo de estas membranas está comprendido entre 20 y 40 bares. Se han venido empleando para desalar aguas de elevada salinidad (entre 4.00 y 10.000 mg/l), en la actualidad sus aplicaciones se han generado utilizándose en múltiples procesos de separación y concentración.

- Alta Presión: Estas membrana se han desarrollado para poder obtener agua potable a partir del agua de l mar. Su presión de trabajo, debido a la elevada presión osmótica del agua de mar (20-27 bares, llegando en el Mar rojo a 35 bares), está comprendida entre 50 y 80 bares.

Como las recomendaciones de la O.M.S. para el agua potable indican que su contenido máximo en sales disueltas no debe ser superior a 500 mg/l, el porcentaje mínimo de rechazo de sales que debe presentar estas membranas son del orden del 99%.

2.5 Modulación de las Membranas para la desalación:

Las membranas tanto espirales como de fibras huecas deben colocarse en las instalación en una estructura que las mantenga inmóviles ante las presiones que se aplican. Asimismo la colocación de las numerosas membranas de que puede constar una instalación debe ocupar el menos espacio posible.

Las fibras componentes de la membrana de fibra hueca (también para membranas en espiral) se alojan en unos tubos de presión de PRFV, que constituye lo que se conoce normalmente como módulo de fibra hueca o incluso membrana de fibra hueca. Es decir que una membrana de fibra hueca es en realidad un conjunto de fibras en el interior de un recipiente de presión perfectamente sellado y con los correspondientes colectores, para permitir la entrada y salida de los distintos flujos que se generan en el proceso. Los distintos tubos se colocan en paralelo o en serie para alcanzar la producción necesaria.

Todos estos tubos se colocan en una estructura que los soporta, con todas las conexiones necesarias entre ellos, así como los colectores de alimentación, producto y rechazo del conjunto. Esta estructura con el conjunto de tubos y colectores, que forman la unidad de producción típica de cada instalación, y que se alimentan desde una bomba, constituye el bastidor o tren de ósmosis inversa.

Las membranas en el interior del tubo de presión se conectan unas con otras, para que formen un conjunto estanco y resistente a los movimientos longitudinales y transversales, mediante los correspondientes interconectores, también de material plástico y alta resistencia. De esta forma se evitan fugas de salmuera que contaminarían el producto y deformaciones como consecuencia de los sucesivos golpes de ariete que se producen cada vez que se arranca la instalación.

Los tubos de presión, de uno y otro tipo, están cerrados por ambos extremos con sendas tapas que disponen de orificios para la conexión de las tuberías de alimentación, producto y rechazo.

Para adaptarse a la producción deseada deben colocarse por tanto los distintos módulos en paralelo. De aquí surgen los distintos tipos de estructuras de producción en que se colocan las membranas.

Las membranas tienen una superficie limitada y también una producción determinada. Como por otra parte el porcentaje de recuperación por elemento es relativamente pequeño, 10-50%, si colocáramos un solo elemento en la instalación, una

gran parte del caudal de agua a tratar sería desperdiciado como salmuera, con la consiguiente ineficiencia del sistema.

Para aprovechar mejor el caudal de salmuera las membranas se colocan en serie, para que el rechazo de una membrana sea utilizado como alimentación de la siguiente.

Los tubos de presión con capacidad de 6-7 membranas para membranas de arrollamiento en espiral y la colocación por parejas de los permeados de fibra hueca, mejoran esta recuperación, pero aun así su capacidad sigue siendo limitada.

Para adaptarse a la producción deseada deben colocarse por tanto los distintos módulos en paralelo. De aquí surgen los distintos tipos de estructuras de producción en que se colocan las membranas. Para comprender su explicación es necesario conocer previamente dos conceptos importantes.

2.5.1 Etapa:

Es cada una de las unidades de producción que son alimentadas desde una fuente única (bomba de presión). Un conjunto de tubos de presión o de membranas de fibra hueca colocadas en paralelo y alimentadas por una bomba constituye una etapa.

Si para aumentar la eficiencia de la instalación, el rechazo de los tubos de presión, que sale a una determinada presión, se introduce en otro tubo de presión o membrana, estos tubos constituyen otra etapa.

Se comprende que al aumentar el número de etapas de una instalación, se eleva el caudal recuperado como producto, sin embargo al pasar el agua de alimentación de una membrana a otra, se va incrementando su salinidad y el rechazo de sales de la membrana no varía.

Es decir, que al aumentar el número de etapas empeora la calidad del agua producto.

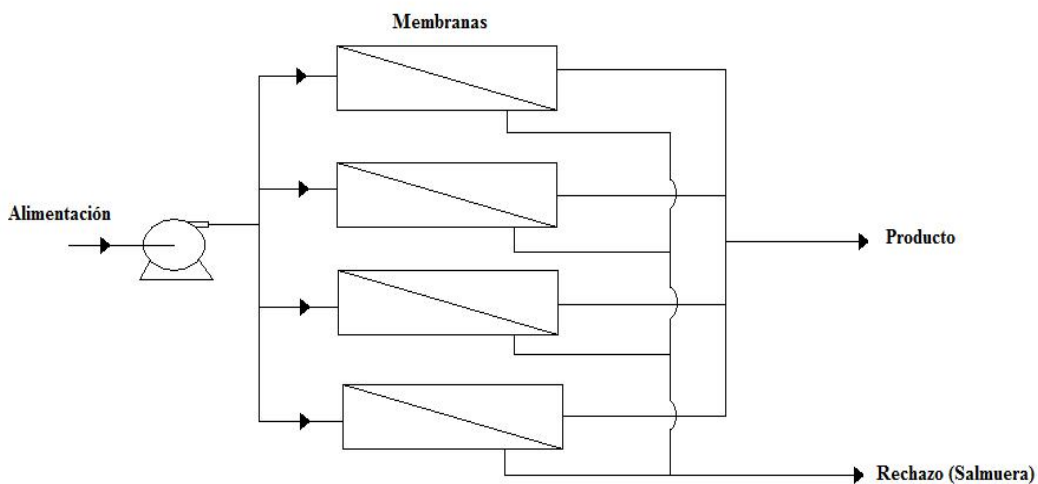
2.5.2 Paso:

Es el conjunto de tubos de presión o membranas que siendo alimentadas con los caudales de agua que salen de las membranas de la primera etapa de la ósmosis precisan de otra fuente de energía distinta de la anterior para recuperar un nuevo caudal.

Si el caudal de agua producto o el caudal de rechazo de una instalación de ósmosis es rebombado mediante una bomba que eleva su anterior presión, para alimentar a otro conjunto de membranas, estamos hablando de un paso; a partir de aquí tendríamos las siguientes estructuras de producción:

Simple:

Es un conjunto de membranas individuales o en tubos de presión, colocados en paralelo, que son alimentadas desde una bomba.



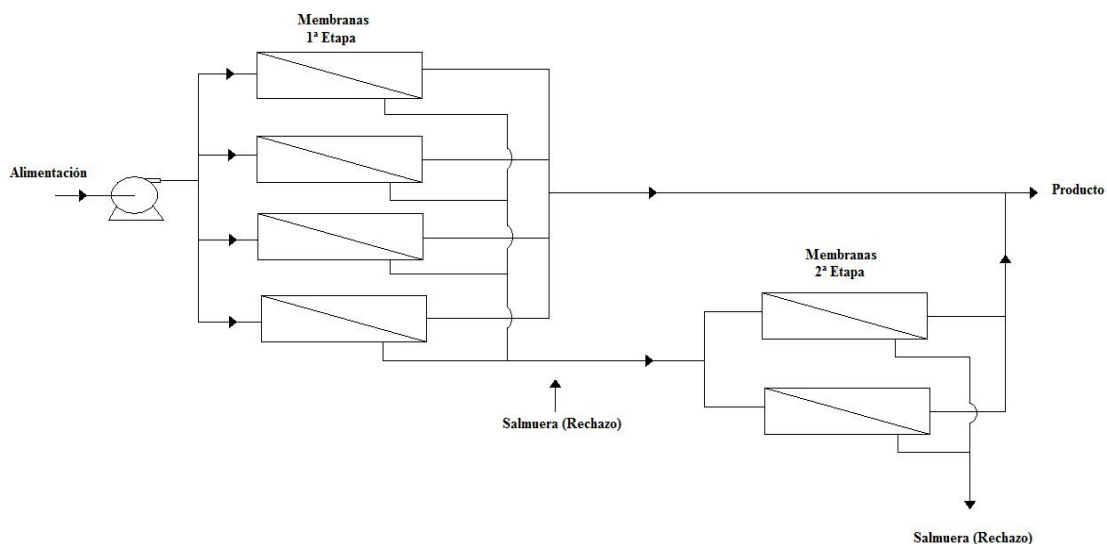
Como hemos dicho, este tipo de estructuras, demasiado ineficientes, solo se usa en instalaciones piloto o experimentales, o en la industria para extracción de jugos u otros líquidos o sólidos de gran valor.

También las instalaciones de agua de mar, por su baja recuperación, admiten este tipo de estructura.

Etapas de salmuera:

Es la estructura más frecuente de producción y consiste en una serie de tubos colocados en paralelo y otros en serie, de forma que la salmuera de los primeros es utilizada como alimentación de los segundos.

Dado que en cada etapa se recupera una parte de producto, el caudal de salmuera que llega a la segunda etapa es menor que el inicial y así sucesivamente, por lo que en cada etapa disminuye el número de tubos.



De acuerdo con las características de recuperación de la membrana, el porcentaje máximo de recuperación por tubos de presión de 6 elementos es del 50%, por lo que el máximo de etapas que se suelen colocar son tres. Mediante la primera se recuperaría el 50%, mediante la segunda un 25% y mediante la tercera un 12,5%. En total sería un 87,5%.

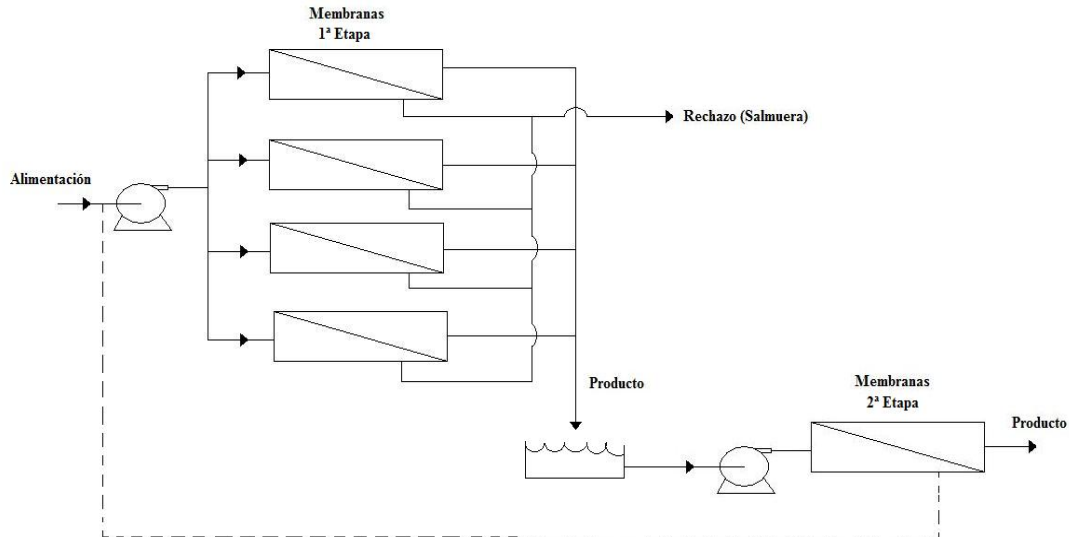
Recuperaciones mayores sería difícil y no justificarían una cuarta etapa: sería preferible recuperar algo más de límite del 50% en cada una de las tres etapas.

A medida que se recupera un porcentaje mayor la salmuera va incrementando su concentración, son las solubilidades de los iones presentes los que determinarán la capacidad de recuperación de la instalación y por tanto el número de etapas.

Etapas de producto:

Este tipo de instalación se emplea cuando se quiere mejorar la calidad del agua producto y para ello se pasa de nuevo por otro conjunto de membranas, utilizando para ello una bomba independiente.

Su utilización es cada vez menor, inicialmente se empleaba en las instalaciones de agua de mar en las que era imposible conseguir un agua de suficiente calidad con un solo paso.



La posterior aparición de membranas de agua de mar con rechazo superiores al 99,3%, que permiten obtener agua potable en un solo paso, ha hecho innecesario este tipo de instalaciones.

Hoy en día se siguen utilizando sin embargo en la industria, cuando se precisan aguas de calidad superior, o en otras instalaciones, para prolongar la vida de las membranas de primera etapa. En este último caso sólo una parte del caudal producto de la primera etapa se pasa por esta segunda etapa, mezclándose el conjunto de ambas etapas para obtener un perneado intermedio entre ambas.

2.6 Variación de los Parámetros:

Una membrana viene definida por los valores de sus parámetros característicos, sin embargo esos valores los proporciona el fabricante en base a unas pruebas que se realizan en fábrica y que están normalizados.

Dicha normalización no es arbitraria, para poder compra unas membranas con otras se refiere tanto a la salinidad del agua tratada, que suele ser un agua reconstruida artificialmente, como a la temperatura y presión a la que se realizan las pruebas.

Conviene conocer cómo esa variación influye en las características de funcionamiento de las membranas.

2.6.1. Con la Temperatura:

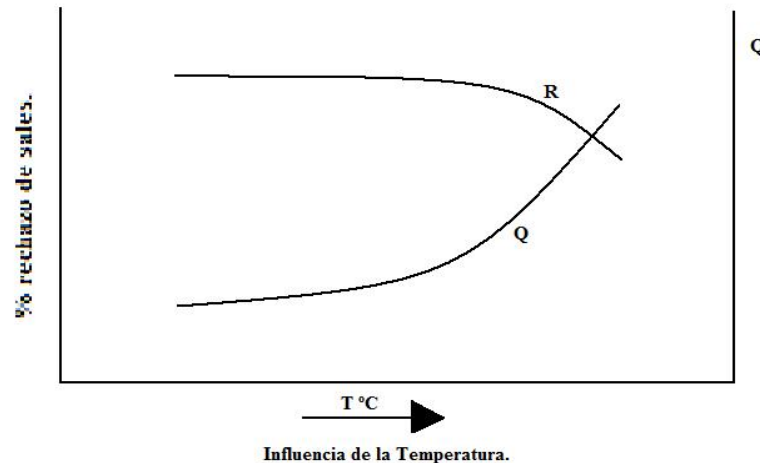
En todo sistema de OI (Osmosis Inversa) hay unas temperaturas máxima y mínimas de operación impuestas por la propia membrana. El límite inferior para todas las membranas es 0 °C. El límite superior depende de la membrana y también de la presión. Los límites superiores los establecen los fabricantes en 35-45 °C. Estos límites se establecen para prevenir distintos problemas como rápida hidrólisis de las membranas de acetato de celulosa, fallos de adherencia en membranas espirales, grietas en la hoja del tubo y la capa epoxi en los permeatos de fibra hueca, y una compactación excesiva en todas las membranas.

El funcionamiento óptimo se produce a una temperatura de 24 a 27 °C, aunque estas temperaturas pueden ser perjudiciales en caso de contaminación biológica, dado que favorece el desarrollo de ésta.

Si la temperatura del agua se mantiene constante también se mantiene la productividad. El punto donde se mide la temperatura del proceso es aguas abajo del punto en el que se inyectan los productos químicos y lo más próximo a la entrada a las membranas, pues en su paso por las bombas de alta presión, el agua puede elevar su temperatura 1 ó 2 grados.

Al aumentar la temperatura también lo hace el caudal. Esto se debe principalmente a la menor viscosidad del agua con la temperatura y por tanto su mayor difusión a través de la membrana.

También tiene lugar un descenso en el rechazo de sales, que se debe a un efecto dilatador del agua en la membrana, a un incremento de la solubilidad de la sal en la membrana, o a ambos.



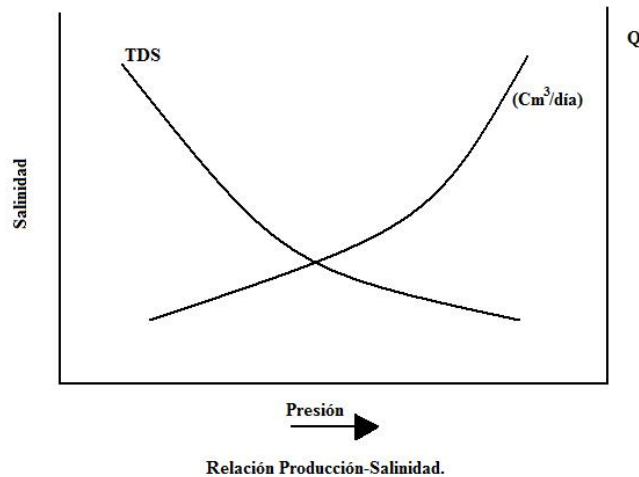
2.6.2. Con la Presión:

El efecto de la presión en la productividad total de la membrana es el resultado de la suma de la productividad instantánea y de la compactación. Normalmente la productividad es siempre mayor operando a alta presión que a baja presión, pero a lo largo del tiempo el aumento de la presión de operación produce una compactación de la membrana que a su vez reduce el caudal. En ocasiones el descenso de caudal por este concepto puede alcanzar hasta el 25 %.

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

Además en el paso del agua por las membranas o tubos de presión se produce una caída de presión o pérdida de carga que reduce la presión neta que se aplica a cada membrana.

Mientras la presión de alimentación influye en los dos parámetros principales de la OI (Osmosis Inversa), productividad del agua producto, la caída de presión afecta la estabilidad mecánica del equipo. Si ésta es elevada se produce daños en la membrana.



Aunque ni el flujo (paso) de sales, ni el gradiente de concentración a través de la membrana están directamente afectados por un cambio en la presión de alimentación, existe un efecto indirecto de la presión en la concentración de sales del agua producto.

Si la presión se reduce, pasa menos agua a través de la membrana mientras el paso de sales permanece constante, con lo que hay más sal por unidad de volumen de agua producto y en consecuencia mayor salinidad en ésta.

Con los avances logrados en el campo de la investigación han ido apareciendo membranas que trabajan cada vez a menor presión, pero proporcionando un caudal y un rechazo de sales aceptable.

Tanto en ensuciamiento como la precipitación están muy relacionados con el flujo de la membrana y se aceleran ampliamente por efecto de la polarización de la concentración en la superficie de la membrana.

2.6.3. Con el pH:

El rechazo de sales de las membranas depende en cierta medida del pH, pues cada material tiene un pH al que el rechazo es máximo. No todas las membranas reaccionan de igual forma a la variación del pH del agua de alimentación.

Las membranas de acetato de celulosa son muy sensibles a estas variaciones, de forma que sólo pueden actuar entre valores de pH de 4 a 7 de una forma continua, y durante periodos reducidos, como ocurre durante el lavado, pueden separarse ligeramente de estos valores de pH.

Fuera de esos valores recomendados de pH las membranas se hidrolizan y pierden por tanto de forma irreversible sus características. La membrana de poliamida, menos sensible, funciona sin mayores problemas entre valores de pH de 4 a 11 y durante periodos cortos soporta valores de pH de 3 o de 12.

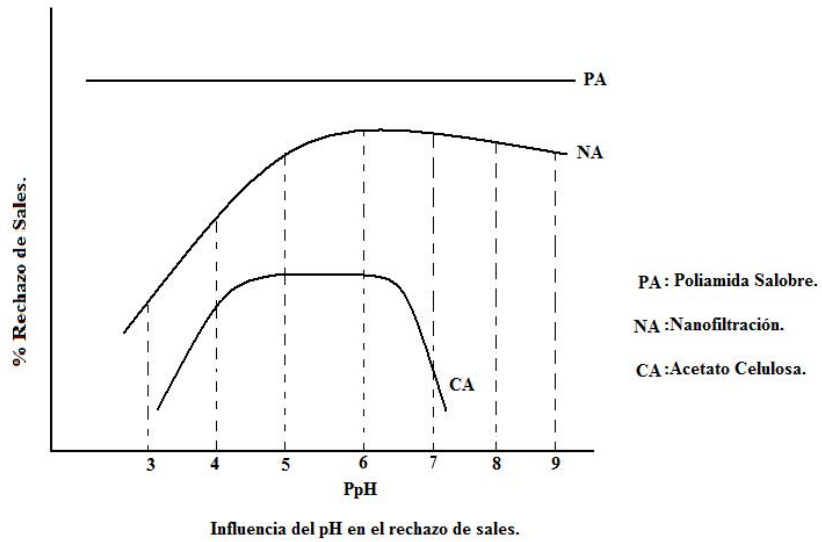
Pero el que una membrana pueda funcionar dentro de un rango de valores de pH determinados, no significa que sea igualmente eficiente a todos ellos.

Normalmente hay un valor óptimo de pH al que la membrana tiene el mayor rechazo de sales y por tanto conviene trabajar lo más cerca posible de este valor.

A medida que nos separamos de este valor el rechazo de sales se deteriora y, por tanto en igualdad de las restantes condiciones de temperatura o presión la calidad del agua producto es inferior.

Sin embargo, a pesar de ello, por las características del agua de alimentación en determinadas circunstancias puede interesar trabajar a un pH distinto de óptimo de la membrana.

En el grafico se muestra la tendencia del pH en relación con el rechazo de sales:



2. MEMORIA DESCRIPTIVA.

INDICE MEMORIA DESCRIPTIVA:**Introducción.**

- 1. Toma abierta y cántara de captación.**
- 2. Entrada a planta y acidificación.**
- 3. Filtración Grosera.**
- 4. Micro-Filtración.**
- 5. Desinfección por radiación ultravioleta (UV).**
- 6. Bastidores de Osmosis Inversa.**
- 7. Ajuste de pH final y remineralización del agua producto.**
- 8. Desinfección final, mediante la cloración del agua producto.**
- 9. Vertido de salmuera-rechazo de las membranas.**
- 10. Sistema de limpieza de las membranas.**

INTRODUCCIÓN:

El proceso se inicia con la entrada de agua del mar Mediterráneo a través de la conducción submarina de entrada a la planta, que conecta directamente con la cántara de captación, es decir, la entrada de agua se realiza a través de la torre de toma conectada a la conducción de entrada y conducida hasta la cántara de captación. En la cántara de captación el agua va a permanecer el tiempo de retención necesario para favorecer la sedimentación de los posibles elementos sólidos que entran con el agua.

El agua tras su entrada en la cántara de captación es bombeada a través de las 9 líneas de producción; que son totalmente independientes unas de otras, hasta los filtros de arenas para la eliminación de los sólidos en suspensión que dañarían a las membranas de osmosis inversa. Con esto conseguimos una filtración previa del agua de mar y por tanto el agua llega al resto de la instalación con unas características que permitirían su ingreso directamente sin ningún tipo de tratamiento adicional.

Estas características son: agua con poca o ninguna contaminación microbiológica y agua con bajo índice de ensuciamiento (SDI), en el apartado correspondiente a materias primas se detallan las características de esta agua.

Aunque el agua podría entrar directamente en las membranas (por debajo de SDI con un valor de 3,5), es recomendable tener un agua bruta 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 se realiza una filtración entre otros tratamiento previo a su entrada a las membranas de osmosis inversa.

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 CO₂ 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, se acidifica el agua bruta, para lo que se utiliza ácido sulfúrico dado su reducido coste. Se añade desde una serie de dos tanques en una instalación cercana a las conducciones del agua de alimentación hasta la filtración. Esta instalación de acidificación del agua bruta, no es más que la formada por dos tanques de almacenamiento del ácido sulfúrico y su distribución a las distintas líneas de producción o entrada de agua a planta.

El agua que llega a la planta tiene un índice SDI y una turbidez que pueden acarrear problemas, por lo que es conveniente incluir una filtración grosera con lechos de arena y posteriormente se realiza una micro-filtración con un paso de 5 micras en el mismo filtro, para poder garantizar un nivel de filtración mínimo de 5 micras que es el exigido por el fabricante de las membranas de osmosis inversa. La micro-filtración se realiza en un microfiltro por línea de producción, donde su principal ventaja frente a la micro-filtración por cartuchos no es más que la sustitución de esta malla por un paso metálico de 5 micras que previene o evita el ensuciamiento, reduciéndose los paros para el mantenimiento del mismo. De esta forma se evita la reposición constante de los cartuchos de filtración.

Seguidamente se somete al agua a una desinfección, consistente en este caso en la aplicación de luz ultravioleta al agua filtrada. Elegimos ese sistema en lugar del convencional de cloración-decloración, ya que aunque la cloración es más barata que la ultravioleta, pero 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 tras el paso por la filtración grosera y la micro-filtración está en las condiciones idóneas para ser desinfectada que es el paso previo antes de entrar en las bomba de alta y ser impulsada a través de los módulos de osmosis inversa.

La planta de desinfección consta de su bomba de impulsión por las distintas ramas de desinfección, conduciéndolos hasta las nueve lámparas de desinfección por cada línea de producción, teniéndose un total de 81 lámparas de luz ultravioleta (UV), por tanto elegimos la luz ultravioleta, ya que es más fácil de controlar que la adicción de dos reactivos, y por otro lado el agua de rechazo no va a contener ningún reactivo a parte del ácido sulfúrico añadido. Evitándose la formación del azufre coloidal y catión ferroso (insoluble) en el caso de que el agua entre con un contenido en ácido sulfhídrico o catión ferroso por cualquier variación del agua de alimentación, produciéndose la precipitación de estos sobre las membranas.

Tras el paso del agua por todo el pre-tratamiento, el agua ya esta en condiciones de ser conducida y elevada de presión para su entrada en los módulos de osmosis inversa.

El agua de las nueve líneas de producción es bombeada por una bomba de alta que la distribuye y fuerza su paso a través de los distintos módulos de osmosis inversa; cada modulo de osmosis contiene un total de 94 tubos de presión; de un solo paso cada modulo, con una longitud aproximada cada uno de ellos de 7 metros. En total, la instalación consta de 9 módulos de osmosis inversa por cada línea de producción y cada una de ellas con su correspondiente bomba de alta-recuperador. Sin embargo el agua que no atraviesa las membranas, conocida como rechazo o salmuera, conserva una gran parte de la alta presión que se le transmite, por lo que es conveniente transmitir esta presión a parte del agua de alimentación. Esto se realiza 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.

En el mercado nos encontramos con la empresa Sulzer Pumps, la cual nos suministra una bomba de alta presión con el sistema de turbina Pelton integrada de esta forma, evitamos la compra de la turbina por otro lado y se produce una mayor eficiencia del paso de la salmuera directamente por la Bomba y turbina Pelton.

El permeado sale de las membranas a presión atmosférica y es conducido para su tratamiento final antes de ser transferido a la red municipal de agua.

El postratamiento consta de la adicción de cal apagada, la cual se añade desde un silo a una cámara donde se mezcla con parte del permeado para la previa dilución de la cal y posteriormente es inyectado al permeado. Como último acondicionamiento se le añade hipoclorito sódico en una cantidad marcada por la ley según el pH del producto. Y por último es bombeado a la red de distribución municipal.

En la osmosis inversa se producen dos corrientes la de producto y la de rechazo, la producto ya se ha descrito su tratamiento, pero la de rechazo es un gran problema medioambiental debido a su alto contenido en sales que al ser vertidas al mar aumentan la concentración de sal, en el punto de vertido para ello se tiene que realizar su vertido a la mar previa dilución con agua de mar, para evitar el choque salino en el ambiente marino, afectando a la flora y fauna. Tras esta dilución es bombeado a través del emisario submarino y la salida se realiza a través de 21 bocas de salida separadas entre sí unos 5 metros con un caudal de $1,36 \text{ m}^3/\text{s}$, a una profundidad de 25 metros.

1. TOMA ABIERTA Y CÁNTARA DE CAPTACIÓN:

Se elige el sistema de captación de agua de mar mediante toma abierta y cántara de captación, ya que es la ideal para este tipo de instalación, en el caso de instalaciones de grandes dimensiones como es la que se quiere diseñar. Su utilización supone una composición química más homogénea, suministro sin interrupciones de agua a la planta, temperatura bastante estable.

La cántara de captación consiste en un depósito que se excava por debajo del nivel del terreno y se conecta con el emisario de entrada a planta; se recurre a ellas cuando las características del terreno impiden el paso de agua hacia los pozos playeros.

Es más frecuente en las instalaciones de mayor tamaño, ya que además actúa como reserva en el caso de avería de alguna de las bombas de la toma y se suele emplear también para bombeo del agua de limpieza de los filtros.

El agua que es transportada por la tubería de captación desde la torre de toma hasta la planta de alimentación, pasa por una cántara de captación previa a la alimentación actuando como un pozo de agua marina.

El emisario de entrada a la planta posee una longitud de 1400 metros y un diámetro de 1600 mm, fabricado en polietileno (PE) de alta resistencia, produciéndose un caudal de entrada de 216000 m³/día para las nueve líneas de producción. La entrada de agua se realiza a través de la torre de toma se realiza a una velocidad de 1,24 m/s, que conecta con el emisario que a su vez este conecta con la cántara de captación.

El agua de mar que es aspirada por la torre, proviene del entorno de la misma, a la distancia de varias decenas de metros. Esta aspiración crea un flujo de corriente en dirección a la toma, de forma que toda la concentración de sedimentos en el entorno de la misma será conducía hacia la entrada, produciéndose un caudal de entrada de sedimentos en la torre de toma en el siguiente rango [3,66 m³/año- 0,00125 m³/año], dependiendo del oleaje, las condiciones del mar y de la naturaleza del fondo marino.

En esta cántara el agua va a permanecer un tiempo de retención de 1,5 horas para favorecer la sedimentación de los posibles elementos sólidos que entran con el agua, estará situada en la cota de -10 m por debajo del nivel del mar, favoreciendo la entrada natural del agua de mar por presión, sin necesidad de bombear directamente el agua hasta la cántara. Coincidiendo esta cota con el nivel de colocación de la tubería de captación de agua de mar conectada con la torre de toma.

La cántara esta diseñada para un tiempo de retención determinado, se aconseja que el tiempo mínimo sea de 60 minutos. Las características más idóneas para la construcción de la misma y que se van a optar son de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho, lo que genera un volumen util de 10.000 m³ y un tiempo de retención de 1,1 h. Satisfaciéndose así las distintas relaciones para asemejar la cántara a un decantador primario en sus dimensiones ya que esta cántara va a actuar de decantador y cántara de bombeo.

La limpieza y mantenimiento de ésta se realiza con aire a presión, disponiéndose de los correspondientes equipos y tuberías necesarias para el mantenimiento de la misma.

Por encima de la cántara de captación se sitúan las bombas de captación las cuales pertenecen a la empresa GOULDS PUMP, modelo VHS 10x10-26, centrífuga vertical, para impulsión de agua de mar, el conjunto bomba-tubería de impulsión se encuentran rodeados por un tubo de PVC 8", cuya misión es proteger a la tubería de impulsión de la bomba de posibles movimientos del terreno. Además se dispone de un anillo de cemento alrededor con este mismo fin. En el plano correspondiente se muestran los detalles.

En la cántara de captación a la salida de cada línea, se coloca un medidor de caudal magnético y un transmisor de presión con el fin de supervisar el funcionamiento del sistema, poseyendo medidores de nivel en la cántara de captación.

2. ENTRADA A PLANTA Y ACIDIFICACIÓN:

En esta primera parte del pre-tratamiento al agua de mar, antes de su entrada en los módulos de osmosis inversa, se encuentra una zona de instrumentación y dosificación de ácido sulfúrico a las nueve líneas de producción. Las tuberías en esta zona son de PVC con un diámetro nominal de 20 pulgadas y las bridas son roscadas de clase 150 y suministradas por la empresa Hawle Armaturenwerke GMBH. Las conducciones han de tener una pendiente en el sentido ascendente del flujo de 3 mm/m, para facilitar la evacuación del posible aire succionado por el sistema.

A continuación se mide el caudal suministrado por el conjunto de bombas para las distintas líneas de entrada a planta, se eligen caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150. Necesitándose una longitud de perturbación equivalente a diez diámetros de entrada y cinco en la salida para evitar perturbaciones, siendo este tipo de caudalímetro el que se va a instalar en toda la instalación.

Tras la medición a todas las líneas de entrada a planta, los siguientes instrumentos que nos encontramos son un medidor de pH y un turbidímetro suministrados por la empresa Hamilton y Rosemount; el medidor de pH posee un rango de 0-14 insertado en la conducción tal y como lo indica el manual de instalación del mismo, se encuentra protegido por una armadura exterior que conecta a la tubería principal.

El phmetro tiene la misión de medir el pH de entrada a planta y actuar sobre la instalación de regulación de pH, para calcular la dosis necesaria para reducir el mismo a las condiciones establecidas, el conductímetro se situara tras la entrada de ácido.

Otro parámetro que se debe de controlar para el buen funcionamiento de las membranas de osmosis inversas, es la turbidez del agua de entrada, por lo que se colocara un medido de turbidez de la empresa Rosemount, modelo Clarity II Turbidimeter, Rango 0 - 250 unidades de turbidez (NTU). Esta compuesto por un sensor protegido por una cámara en la que va insertado en la tubería de conducción y un analizador que se puede montar en la misma tubería o con una separación de 15,2 m. Aunque realmente lo ideal sería medir el SDI directamente pero puede encontrarse para nuestra planta en particular una relación empírica entre SDI y turbidez; ya que la medida del SDI requiere de un equipo altamente complicado, capaz de filtrar el agua bruta.

Por tanto la medida de la turbidez se realiza continuamente en las líneas de entrada y el índice SDI lo mediremos con un equipo portátil o en el laboratorio para comprobar la relación entre SDI y turbidez.

Tras toda la instrumentación necesaria para controlar el proceso; se le añade ácido sulfúrico, desde la instalación proyectada (ver plano correspondiente, o anexo planta de sulfúrico) anexa a la entrada del agua a planta, esta consta de dos tanques de ácido sulfúrico con una capacidad de almacenamiento y autonomía de 12 horas de operación cada uno de ellos, cada tanque debe de suministrar un caudal de $6 \text{ m}^3/\text{h}$, con unas dimensiones cada uno de ellos de 2,5 m de diámetro y una altura de 3,75 m. Cada tanque será diseñado para suministrar este caudal de diseño con todas las garantías de funcionamiento y operatividad.

La conducción de salida del tanque se va a dividir en nueve ramas de entradas a la tuberías de captación de agua, conectando cada tubería de alimentación de las 9 bombas suministradoras, cada un de ellas recibiendo un caudal de $0,66 \text{ m}^3/\text{h}$.

El material del tanque y de las tuberías que conducen el ácido a las líneas de entrada principal es AISI SA-316, los plásticos (PVC, PE, etc.) que se utilizan en el resto de la instalación se podrían utilizar pero están muy limitados por temperaturas a unos 40-45°C, lo cual no conviene en un recipiente que va a estar a la intemperie. Se dispone de dos bombas dosificadoras, una de ellas en espera.

Los Tanques proyectados se encuentran dentro de un cubeto de retención, construido con cemento resistente a la corrosión capaz de almacenar el volumen total de almacenamiento de ambos tanques, en caso de accidente.

El tanque dispondrá de un filtro a la salida del mismo para evitar la entrada de material particulado al proceso. Una vez que el ácido es bombeado por las distintas tramas de entrada hasta las distintas líneas de entrada, no es necesario la colocación de un mezclador para el mismo, ya que se inyectan directamente a la entrada de agua con un caudal por línea de 1000 m³/h y el caudal de entrada de ácido es insignificante comparado con este, por lo que no existe problemas de mezcla y distribución del mismo.

Tras la acidificación el agua es conducida hasta los filtros de arena, para una primera eliminación grosera de partículas y material no deseado, en esta conducción de una longitud total de 20 metros divididos en dos tramos uno de 15 metros con un diámetro de 0,5 m y tras el se reduce el diámetro a una conducción de 0,25 m y una longitud de 5 m, que conecta directamente con la entrada de los filtros de arena. La reducción de paso de una tubería a otra se realiza con una contracción gradual bridada suministrada por la empresa Hawle, Inc DN 500-250.

En todas las líneas se dispondrá de 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. De ahí que las líneas de entrada están proyectadas con una determinada pendiente, insignificante pero suficiente para eliminar las burbujas de aire.

Los venteos pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m³/h, rango mayor del que se puede llegar a dar.

Todos estos instrumentos que se han mencionado son 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.

Se debe hacer hincapié en la localización de los distintos instrumentos, ya que cualquier inestabilidad en el flujo se traduce en inestabilidades en las medidas. Para evitarlo se deja suficiente longitud (normalmente entre 5 y 10 diámetros equivalentes de tubería) de tubería recta antes y después del instrumento. Ninguno de los instrumentos ha de penetra 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 de colocación es indiferente, entre 1 metro de distancia entre cada uno de ellos, ya que no producen una gran alteración del flujo.

Los conductímetros pertenecen a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0-200.000 μ S/cm. Y las termorresistencias de la empresa Omega Instruments modelo TX92-1 con rango -40/49°C y precisión 0,089°C.

3. FILTRACIÓN GROSERA:

El agua que entra a la planta perteneciente al bombeo de la misma desde la cántara de captación, contiene un valor medio en sólidos en suspensión, ya que la toma de agua es abierta por emisario submarino (el valor medio de SDI para toma abierta suele ser de 3), aunque la balsa de captación esta proyectada para una sedimentación de las partículas de arrastre, es necesario la realización de una filtración grosera, con filtros de arena.

Este proceso de filtración es muy importante para la preservación de las distintas membranas de osmosis inversa. Cuanto menor sea el contenido en sólidos en suspensión, mayor será el tiempo que se puede operar las membranas sin necesidad de realizar ninguna limpieza de las mismas. Si esto no se realizara los distintos sólidos en suspensión formarían sobre la superficie de las membranas una capa de estos que disminuye el flujo a través de ellas.

También se le pueden añadir al agua de entrada coagulante que forman partículas de mayor tamaño y más fácilmente filtrables, no se le van a añadir ningún tipo de coagulante, pues estos suelen ser cloruro férrico o de aluminio y si la dosis es mayor de la estrictamente necesaria, el hidróxido férrico o aluminico formados y que no se han 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 lo que el uso del coagulante estará sujeto al funcionamiento de los distintos filtros y el comportamiento de la instalación con los sólidos en suspensión. Ya que puede traer más prejuicios que beneficios a la instalación.

La instalación de filtración consta de un filtro de arena por cada línea de producción y tras este una bomba de impulsión, del agua filtrada a la segunda filtración (a la planta de micro-filtración), el filtro más adecuado para tratar un caudal de flujo de 1000 m³/h. Corresponde al Modelo PS 445 con un área de Filtración de 44,4 ft²≈ 4,14 m². La empresa suministradora del mismo es “*FRESNO Valves & Castings, Inc*” y la arena de filtración es sílice con un tamaño de 0,48 mm, con una base cimentada de 7,6 metros por 1,5 metros, para cada filtro.

La frecuencia de retrolavado es dependiente de las características de los contaminantes presentes en la fuente de agua. Aunque el controlador automatizado de retrolavado está equipado con un circuito lógico para iniciar el retrolavado cuando la presión diferencial a través de los filtros alcance un nivel dado, (típicamente 4-6 psi más que cuando los tanques están limpios), con frecuencia es más conveniente iniciar el retrolavado más pronto que esto se produzca.

El fango producido 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 asilamiento en la entrada de los distintos filtros y a la salida para evitar sobrepresiones en el arranque, para que el ciclo de limpieza pueda funcionar apropiadamente, las bombas se programaran para que el arranque sea suave, así evitamos las sobre presiones en el arranque.

Tras la salida del agua de los filtros estas pasan a una bomba de impulsión, para suministrar la suficiente presión hasta su llegada a las bombas de alta, y para la conexión hasta la planta de micro-filtración. Estas bombas son suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255), suministrado un caudal de 1000 m³/h.

Tras la salida de los filtro se coloca un muestreo y un medidor de turbidez idéntico a los de la entrada a planta para comprobar la eficiencia de los mismo.

4. MICRO-FILTRACIÓN:

Esta etapa de filtración es imprescindible en las instalaciones de ósmosis inversa, pues los filtros que hemos citado anteriormente, filtración grosera-arena, solo alcanzan un nivel de filtración grosera, insuficiente para las membranas.

Con la filtración de cartuchos se consigue la eliminación de partículas de pocas micras. Constituyen una filtración de afinos para protección de las membranas desaladoras.

El nivel de filtración al que hay que llegar es de 5 micras, pues este es el valor que imponen los fabricantes de membranas, como condición indispensable para garantizar el funcionamiento continuo de éstas.

Las partículas retenidas por los cartuchos incrementan las pérdidas de carga del mismo, por lo que cuando se alcanza un valor determinado se procede a su sustitución. Para nuestra instalación se coloca un filtro suministrado por la empresa Tekleen, Automatic Filtres, Inc., modelo ABW16-LP. Cada línea de producción posee su propio filtro.

Las características principales del filtro son:

- Flujo máximo: 6000 gpm.
- Limpieza automática detectada por incremento de la presión diferencial.
- Empleo del agua que se filtra como agua de lavado. Consumo reducido.
- Medidor de presión diferencial y controlador electrónico incorporados.
- Peso 453.6 Kg.

Tras la salida de los filtro se coloca un muestreo y un medidor de turbidez idéntico a los de la entrada a planta para comprobar la eficiencia de los mismo.

Previamente a los filtros se encuentra un venteo para protegerlos de sobrepresiones. Se recomienda una válvula de asilamiento en la entrada de los distintos filtros y a la salida para evitar sobrepresiones en el arranque, para que el ciclo de limpieza pueda funcionar apropiadamente, las bombas se programaran para que el arranque sea suave, así evitamos las sobre presiones en el arranque.

Tras la salida del agua de los filtros estas pasan a una bomba de impulsión, para suministrar la suficiente presión hasta su llegada a las bombas de alta, y para la conexión hasta la planta de esterilización.

Estas bombas son suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255). Idéntica a la bomba colocada tras la filtración con arena o grosera.

5. DESINFECCIÓN POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UV):

Una vez que ya tenemos el agua completamente filtrada, tras su paso por la filtración grosera y la micro-filtración en las distintas etapas, es necesario la desinfección del agua bruta antes de su ingreso en las membranas de osmosis inversa. Las membranas elegidas son de poliamida aromática, las cuales son de textura rugosa y susceptible 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 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 material 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 buena desinfección, tradicionalmente se realizaba 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.

Para la eliminación del hipoclorito se la añadía algún reductor como el metabisulfito sódico, ya que las membranas son muy sensibles al ataque de los oxidantes. Ya que la concentración de cloro residual que toleran las membranas es de 0,1 ppm de cloro libre residual.

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 que el de la desinfección con ultravioleta, y además es más complicado añadir dos reactivos en las cantidades necesarias.

También de esta manera evitamos el contacto del hipoclorito sódico con algún tipo de catión ferroso o anhídrido sulfúrico, que al entrar en contacto con este oxidante, forman azufre coloidal y hidróxido férrico, ambos insolubles y que precipitarían en las membranas. Por ello no se recomienda el empleo de oxidantes.

De esa manera también se minimiza el impacto ambiental, ya que parte del agua que se suministra al tratamiento va de vuelta al medio de captación,(Mar Mediterráneo).

La longitud de onda que mayor poder desinfectante posee, se establece en los 250 nm, hay que tener en cuenta en su diseño que los sólidos disueltos absorben parte de la radiación, por lo que hay que redimensionar el conjunto de los esterilizadores.

La planta de esterilización va a constar de un canal fabricado en hormigón armado con unas dimensiones de 20 cm de espesor de pared, con una altura de 0,9 metros y una longitud de 5,01 metros.

En su interior se van a insertar los distintos módulos de lámparas de luz ultravioleta, que se van a distribuir en 3 módulos de lámparas los cuales contienen un total de 12 lámparas de las 36 que contiene el canal, estos módulos se van a contener unas doce lámparas de luz ultravioleta suministrada por la empresa Trojan Technologies.

Estas lámparas están separadas entre sí unos 12 cm y unos 6 cm contra las paredes y el fondo del canal fabricado, para contener el agua a desinfectar.

Las conexiones a los canales deben de ser de acero inoxidable del mismo material que hemos utilizado anteriormente, en algunas partes de la instalación, AISI 316, que también es de uso en las zonas de alta presión, de esta manera no se hace acopio de materiales distintos.

Las entradas a los canales y las salidas son de acero ya mencionado, de esta manera evitamos que la luz ultravioleta incida en los tubos o conducciones de PVC.

En nuestra instalación tenemos un caudal total de 9000 m³/h, que se dividen para cada uno de los bastidores que van a tratar un caudal total cada uno de 1000 m³/h. Para esterilizar el agua se necesitan un total de 36 lámparas, para un caudal de 1000 m³/h, como se menciona anteriormente, para su desinfección.

Por tanto necesitaremos un total de 324 lamparas para la desinfección total del agua marina.

Los datos técnicos de los mismos se indican en su apartado de la memoria determinado a tal fin (ver memoria: Equipos).

Tras la salida de la instalación del agua, tras su paso por los canales, se bombea el agua hasta la bomba de alta presión, para este bombeo se elige a la empresa JOHNSON PUMP Modelo Combi-Norm “*Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)*”.

6. BASTIDORES DE OSMOSIS INVERSA:

Están constituidos por una estructura metálica sobre la que se colocan los distintos tubos de presión, con sus correspondientes membranas, debidamente sujetos para evitar posibles desplazamientos como consecuencia de los golpes de ariete que se producen en los arranques de la instalación. En la parte superior de todos ellos se dispone de unas llaves de purga para eliminar el aire en los arranques de la instalación. En esta parte de la instalación, es donde se producen la mayor parte de las fugas de agua, para ello se dispone de una canaleta, fijada al bastidor, para recoger los correspondientes goteos y conducirlos al drenaje general.

La separación entre bastidores se fija en 3 metros para poder realizar trabajos de manutención entre ellos.

Se eligen para nuestra instalación membranas de fibra hueca suministradas por la Empresa Hydranautics, perteneciente a la compañía Nitto Denko, del modelo SCW3+ HYDRANAUTICS, tamaño nominal de 8” Arrollamiento en Espiral.

Estas membranas se conectan formando tubos de 7 metros de longitud, capaces de soportar una presión máxima de 83,25 bar, con las salidas de rechazo y permeado en ambos extremos (opcional); con las siguientes características de las membranas suministradas por Hydranautics:

<i>Datos de Funcionamiento:</i>	<i>Valor</i>
Presión máxima aplicable	83,25 (bar)
Flujo de alimentación máximo	17 (m ³ /h)
Temperatura máxima de operación	45°C
Rango de pH agua de alimento	3-10
Turbidez máxima del agua de alimento	1,0 (NTU)
SDI (15min) máximo del agua de alimento	5
Máxima concentración Cloro libre	<0,1 (ppm)
Relación máxima de concentrado a permeado por elemento	05:01:00
Caída de presión máxima por elemento	0,689 (bar)
Rechazo de sales mínimo	99,70%
Rechazo de sales nominal	99,80%
Flujo de permeado	26,5 (m ³ /día)
Superficie	37,3 m ²

El sistema de distribución esta construido de acero AISI 316L, las conexiones de todas las tuberías y accesorios de esta zona serán también del mismo material suministrados por Victaulic, Inc. Permitiendo un montaje y desmontaje sencillo, muy comúnmente utilizados y que soportan una presión de hasta 1000 psi (69 bar). Para controlar el flujo que llega a cada línea se disponen dos válvulas de control y dos caudalímetros magnéticos. Para la regulación de la bomba utilizaremos un variador de frecuencia cuya acción vendrá determinada por la conductividad y temperatura del agua bruta.

Los bastidores para cada línea de producción están formados por un total de 94 tubos de presión, con una longitud cada uno de ellos de 7 metros, divididos en 4 sub-bastidores, de un solo paso (las veces que circula el agua por el tubo de presión). Disponiéndose de 9 bastidores en total para la producción deseada.

El agua de entrada a los bastidores son bombeadas a alta presión, debido a la acción de las bombas-turbina Pelton suministradas por Sulzer Pumps, el agua de alimentación aumenta su presión hasta los 60 bares, circulando a través de los tubos de presión obteniéndose el permeado y rechazo; donde el rechazo es recirculado de nuevo hasta la bomba-turbina, para el aprovechamiento energético de la elevada presión de salida del mismo.

A la entrada de la bomba se coloca un presostáto 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. A la salida de la bomba-turbina se colocan válvulas de retención y transmisores de presión a cada lado de la bomba. Se eligen de la empresa Dewrance modelo F67.

Para poder detectar el ensuciamiento de las membranas, se colocan transmisores de presión en la entrada de agua a tratar en cada tubo y a la salida del rechazo. Suministrados por la empresa Omega Instruments, Modelo PX4200-2KGL, con rangos de medida 0-1500 psi y exactitud de 2,5 psi(+/- 0,175 bar).

Tradicionalmente la recuperación de parte de la presión de salida del rechazo se ha realizado a través 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 alabes de una turbina que trasforma 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.

Hoy en día se encuentran distintos tipos de soluciones para tratar de aprovechar en mayor medida, la energía del rechazo del agua tratada, como las cámaras isobaricas capaces de recuperar un 90% de energía del rechazo de agua, etc...

Para nuestro sistema, hemos elegido la combinación de la bomba-turbina Pelton, suministrada como ya se mencionaba anteriormente por Sulzer Pumps, capaz de recuperar hasta un 95% de energía, con capacidad para tratar el caudal necesario. Uno por cada bastidor, en absoluto silencio, sin golpes de ariete y sin mezcla de fluidos.

Según la empresa, teniendo en cuenta el consumo energético del pretratamiento, el mínimo consumo específico de energía en una planta de ósmosis inversa que emplee este sistema o complejo de bomba-turbina se da con un porcentaje de recuperación entre 35-45%. Se toma un porcentaje de recuperación del 45%.

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.

7. AJUSTE DE PH FINAL Y REMINERALIZACIÓN DEL AGUA PRODUCTO:

El agua que obtenemos tras el proceso de osmosis inversa en los bastidores, ya mencionados en el apartado anterior, es tratada para su remineralización y ajuste de pH según el RD 111/1992, de 6 de Julio, donde se fijan los niveles exigidos para el calcio y bicarbonato que debe contener el agua para su potabilización y utilización en regadíos.

El agua que sale tiene una salinidad por debajo de la máxima permisible para un agua potable (393 ppm). Sin embargo, algunos parámetros de esta agua deben ser corregidos. Estos son el pH, contenido en calcio y bicarbonatos.

Según el RD, ya mencionado anteriormente los índices de estos parámetros deben de estar marcados entre:

- 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 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 el 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 valor mayor o igual de 60 ppm. En nuestro caso a cada línea se le debe de inyectar unas 51 ppm de cloruro de calcio por cada línea de producción; y unos 70 ppm de cal por cada línea de producción.

La cal se almacenara en un silo que descargar por medio de un tornillo sin fin en una cámara de mezcla, que toma parte del agua producto y lo mezcla con la cal, para hacer una previa dilución de la misma y posteriormente se inyecta en la misma agua producto. Se debe de realizar así ya que la cal es poco soluble, se debe de tener un gran énfasis en el mantenimiento de esta instalación, por los grandes problemas de atascamiento de las conducciones debido a la cal. Se debe de preparar una solución al 5% y esta es la que se debe de inyectar. Esta instalación no es objeto de diseño de este proyecto pero si, se contempla para el acondicionamiento final del agua producto. Se debería de realizar un proyecto paralelo para esta instalación.

En el caso del cloruro de calcio, es mucho más soluble y no necesita de una cámara fuera de la línea principal. Para nuestra instalación de cloruro de calcio vamos a necesitar una inyección de 51 ppm del reactivo para una producción de 10.800 m³/día por cada línea de producción. Ambas instalaciones se deben de proyectar para su funcionamiento durante una semana, en la cual tras esta deben de ser repuestos con más reactivos.

8. DESINFECCIÓN FINAL, MEDIANTE LA CLORACIÓN DEL AGUA PRODUCTO:

La desinfección final del agua producto se va a realizar mediante la inyección o adicción de cloro (Hipoclorito Sódico), con la cual vamos a conseguir la eliminación de los contaminantes bacteriológicos o por algas, que se pueden contener el agua producto por distintos motivos. Por ello se utilizan diversos derivados clorados, como productos de desinfección, para combatir la contaminación bacteriológica y la formación de algas.

La dosificación o inyección del cloro en nuestro sistema se realiza principalmente con una solución líquida de Hipoclorito Sódico, la base del proceso de desinfección es la formación de Ácido Hipocloroso (HClO) que posee una elevada acción biocida. No solo controla el proceso de crecimiento de las bacterias, sino que además evita la producción de enzimas que son necesarias para la proliferación de dichos microorganismos.

Según el Real Decreto 140/2003 de 7 de Febrero, los niveles de cloro residual libre y combinado para aguas de consumo público máximo 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
7,0-8,0	0,2	1,5
8,0-9,0	0,4	1,8
9,0-9,5	0,8	----

Se necesitan 1,51 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).

La inyección del hipoclorito sódico se realizara desde un tanque con capacidad para una semana de almacenamiento, debemos de inyectar 1,51 ppm de la solución para una producción de 10.800 m³/día por cada línea de producción, aproximadamente el tanque estará dimensionado para inyectar unos 114,15 Kg/semana de hipoclorito sódico.

El diseño de esta instalación no es de aplicación en el presente proyecto, se dimensionan las cantidades necesarias para la inyección de la solución en el agua producto, esta instalación será objeto de diseño de un proyecto paralelo al igual que ocurre con las otras soluciones o reactivos añadidos.

9. VERTIDO DEL SALMUERA - RECHAZO DE LAS MEMBRANAS:

El vertido de salmuera que se realiza al medio receptor, posee una concentración muy elevada de sales, aproximadamente de unos 71000 ppm sales, concentradas en la salmuera.

Esta salmuera se va a llevar a la conducción de vertido al Mar Mediterráneo, proyectada en los anexos de calculo correspondientes; el punto de vertido de la planta Desaladora se localiza a más de 800 m al N-NE (Nor-Noroeste) de las praderas de Posidonia oceánica más próximas, por lo que tampoco prevé afecciones sobre ellas, debido a que esta solución proyecta una dilución del orden de 1:5 de la salmuera con el agua bruta, de tal manera que el vertido final presenta una salinidad muy próxima al medio receptor.

En nuestra instalación el agua de rechazo o salmuera se va a diluir con el agua procedente de la central hidroeléctrica aledaña a la instalación, esta dilución se realizara en una cantara de dilución proyectada para tal efecto de dilución y posteriormente será bombeada al emisario submarino proyectado.

El vertido del rechazo producido en los bastidores de Ósmosis Inversa previamente diluido con agua procedente de la central hidroeléctrica, se bombea a través del emisario submarino proyectado, a través del tramo difusor de 200 m con 20 boquillas espaciadas cada 10 m.

El misario submarino es de boca única con una longitud del emisario. 2.500 m (1400 m común con conducción de captación). La captación de agua bruta y el emisario de vertido tendrán un tramo común de 1.400 m ya mencionado anteriormente, el cual implica una disminución notable en cuanto a la ocupación del lecho marino. El trazado del emisario submarino se encuentra alejado a más de 100 m de la formación de Cymodocea nodosa, proyectándose como un emisario semienterrado con escollera de protección de material ciclópeo, el cual facilita el asentamiento de la flora y fauna marina. La longitud del emisario subterráneo es de 2.500 m, incluyendo en su tramo de vertido 20 difusores separados 10 m entre ellos, que facilitan la rápida dilución de la salmuera en el medio marino.

En el mercado no encontramos con las bombas del Fabricante Goulds Pumps “Vertical Turbina Pumps”, Modelo VIT-FF, con una capacidad de 65,000 GPM \approx 14763 m³/h, es la encargada de bombar la disolución de la salmuera con el agua bruta.

10. SISTEMA DE LIMPIEZA DE LAS MEMBRANAS:

Las membranas deben ser sometidas periódicamente a una limpieza con distintos reactivos químicos, para eliminar los precipitados salinos, materia orgánica, bacterias o elementos coloidales que se han ido depositando sobre ellas a lo largo del ciclo de funcionamiento y reduciendo su eficiencia.

La limpieza consiste en la recirculación durante un tiempo de una serie de reactivos disueltos en el agua para eliminar la causa del ensuciamiento de las membranas.

Los equipos de limpieza están constituidos por un depósito en el que se disuelve el reactivo correspondiente en el agua que se va a recircular. Para facilitar la dilución de los reactivos se le coloca un electroagitador y un calentador que suministra una temperatura de 30-35° C para el agua de limpieza con los reactivos suministrados. Conectados a la bomba dosificador de la dilución y en la boca de salida se le coloca un filtro de cartuchos para evitar la entrada de cualquier tipo de elemento indeseado.

El bastidor se va a lavar por sub-bastidores, de los que esta comprendido (4 sub-bastidores de 94 tubos de presión), las dimensiones del equipo de limpieza se encuentran descritas en su correspondiente anexo del sistema limpieza de membranas.

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

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.
- 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.
- Coloides y sólidos en suspensión: son los agentes de ensuciamiento más comunes y puede 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.
- 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.
- 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 y un coagulante orgánico.

Cuando las membranas se ensucian y sobre todo si dicho ensuciamiento tiene lugar en un corto periodo de tiempo, las posibilidades de recuperación dependen fundamentalmente de la rapidez con que se actúe. Las membranas también deben limpiarse antes de una parada prolongada de la instalación (más de una semana).

Se deberá de realizar una limpieza cuando:

- 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%.
- Antes de largos períodos de parada (más de una semana).
- Antes de aplicar cualquier regenerador 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.

Se pueden realizar dos tipos de limpieza la llamada Limpieza Flushing, consistente en hacer llegar a las membranas, siguiendo el mismo camino que la solución a tratar, permeado, esta técnica se suele utilizar durante las paradas del sistema con objeto de:

- Reducir el retorno de solvente al fenómeno natural de osmosis.
- 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.

El otro tipo de limpieza conocida como limpieza química, consistente 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 a utilizar dependerá del tipo o naturaleza e las sustancias que constituyen los depósitos.

Consecuentemente, lo primero que debemos de conocer es el origen y el tipo de ensuciamiento producido para, por un lado tratar de eliminarlo de las membranas, y 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.

El siguiente cuadro resume, los tipos de reactivos químicos a utilizar para la limpieza según la naturaleza del contaminante.

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

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				
Acido cítrico 2% NH ₄ OH pH 2	X		X	X	X			
Acido cítrico 2% Na ₂ EDTA 2% NH ₄ OH hasta pH=4			X	X	X			
Acido 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
Acido 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	

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.
- Bombas circuladota.
- Filtro de 5 micras de paso.

Durante la realización de la limpieza es aconsejable que todas las personas que manipulen los distintos equipos vayan provistos 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 de funcionamiento. Por este motivo es aconsejable no aprovechar el permeado producido durante los primeros diez minutos una vez que se ha vuelto a poner en funcionamiento la planta.

3. OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN.

INDICE OBJETIVO Y JUSTIFICACIÓN:

1. Programa A.G.U.A.

2. Objetivo.

3. Viabilidad:

3.1 Legal.

3.2 Técnica.

3.3 Económica.

1. Programa A.G.U.A.

El objetivo último y fundamental del presente proyecto es el abastecimiento de agua potable, para consumo y regadío del Levante Almeriense, con una población de 83.000 habitantes en una extensión de 1586 Km², es decir, una densidad de población de 51,9 hab/Km² y con una gran extensión de zonas de cultivos.

Esta región depende en gran medida su economía en el turismo, en los meses estivales de verano y sobre todo de la agricultura que fundamenta la economía de la zona; por sus peculiaridades regionales, su situación geográfica de la zona y el acusante cambio climático del planeta, la zona del Levante Almeriense sufre grandes periodos de escasez de agua, con el consiguiente perjuicio para los ciudadanos y la economía agrícola de la zona.

Para la solución de este problema se prevé la construcción de una desaladora de agua de mar, aprobada por el Plan Hidrológico Nacional apoyado por el programa A.G.U.A. Bajo la mirada de la sociedad estatal Aguas de las Cuencas del Mediterráneo ACUAMED, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, contemplada en la Ley 11/2005 como actuación en incremento de los recursos hídricos de la cuenca del Mediterráneo.

El Plan Hidrológico Nacional fue aprobado por el Congreso en 2005, modificando el Plan del 2001, y sustituyendo el trasvase del Ebro por el proyecto A.G.U.A. El principal proyecto del Plan del 2001 era el trasvase del Ebro, un proyecto para transferir agua desde la cuenca del Ebro a Castellón, Valencia, Alicante, Murcia, Almería y Barcelona, que fue aprobado por el Parlamento en la legislatura 2000-2004.

El proyecto AGUA del Plan actual prevé suministrar 600 hm³, de los que 300 hm³ se destinan a regadío, de forma que se elimine la sobreexplotación de acuíferos.

La implantación del Programa A.G.U.A. contempla:

- La reforma de las Confederaciones Hidrográficas, con la incorporación de las Comunidades Autónomas al proceso de toma de decisiones y de control público del uso del agua y de su calidad. Y la Creación de un Banco Público del Agua.
- El establecimiento de unas tarifas del agua acorde con los costes reales de obtención y tratamiento de la misma.
- Dirigir las actuaciones que impliquen una mejora de la gestión y suministro de agua de calidad teniendo en cuenta las necesidades existente, así como:
 - La optimización de infraestructuras existentes.
 - La depuración.
 - La desalación.
- Las principales actuaciones contempladas por el Programa A.G.U.A. son las desaladoras. El programa incluye 20 desaladoras, algunas de nueva construcción así como la ampliación de las ya existentes. En Andalucía, las actuaciones se centran en Almería, donde se invertirán 579 millones de euros para lograr 314 hectómetros cúbicos de agua.
- A la provincia de Almería se destinan 352 millones de euros, 226 de los cuales son destinados a la implantación de 5 nuevas desaladoras entre las que se encuentra la proyectada, con un incremento de los recursos hídricos de 165 hectómetros cúbicos al año. El resto del presupuesto se destina a actuaciones para mejorar la gestión de los recursos hídricos.

	Almería	Málaga	
Incremento disponibilidad recursos hídricos	5	2	5
Mejora de la gestión de los recursos hídricos	7	3	12
Mejora de la calidad del agua, prevención de inundaciones y restauración ambiental	---	---	--
	12	5	17

Actuaciones	Objetivos	Incremento recursos	Presupuesto
Desaladora del Campo de Dalías	Incremento disponibilidad de recursos hídricos	165 Hm ³ /año	226 millones €
Desaladora en Najar			
Desaladora en el Bajo Almanzora			
Desaladora de agua de mar de Carboneras. 2ª fase			
Desalación en el Poniente Almeriense	Mejora de la gestión de los recursos hídricos	24 Hm ³ /año	126 millones €
Actuaciones complementarias de reutilización de aguas residuales en el Campo de Dalías			
Actuaciones de reutilización de aguas residuales en Almería			
Conexión presa Cuevas de Almanzora-Poniente Almeriense (Sector Norte)			
Mejora de las infraestructuras hidráulicas de los riegos de la zona de Poniente de Adra			
Conducciones en la zona regable del embalse de Cuevas de Almanzora			
Conducción Boca Sur del Túnel de El Saltador-Camino del Cerro Minado (Almanzora)			
Modernización de la infraestructura hidráulica de los regadíos de la comarca de Los Vélez			

2. Objetivo.

El principal objetivo de la nueva planta es el abastecimiento de agua para riego y consumo humano del Levante Almeriense.

El área de influencia de las necesidades a satisfacer abarca la totalidad o parte de quince términos municipales: Carboneras, Mojacar, Garrucha, Turre, Los Gallardos, Bédar, Antas, Vera, Cuevas de Almanzora, Huercal-Overa, Pulpí, Taberna, Zurgena, Arboleas, aproximadamente el 15 por ciento de la población de la provincia de Almería y un área de más de 12.031 hectáreas de producción constituyen los principales cultivos de regadío.

Para la solución del problema planteado se prevé la proyección de una planta desaladora que sea capaz de producir agua al menor coste posible ambientales y económicos.

Las alternativas para la desalación desde el punto de vista tecnológico son:

- Destilación súbita multietapa (MSF, Multi-Stage Flash distillation).
- Destilación por múltiples efectos (MED, Multi-Efect Distillation).
- Compresión mecánica de vapor (CV).
- Ósmosis inversa.
- Electrodialisis.

En el proceso destilación flash multietapa MSF se calienta agua de mar en el calentador de salmuera, el agua de mar caliente se hace pasar a la primera etapa a una presión a la cual se produce se súbita ebullición parcial, el vapor se condensa como agua producto y vehiculando el resto hacia el siguiente efecto, donde al existir una presión inferior se repite el efecto. La calidad del agua no es buena, se debe de disponer de una central térmica cerca y requiere una gran robustez.

El proceso de destilación multiefecto (MED) como el anterior, se realiza en etapas sucesivas y utiliza el principio de reducción sucesiva de presión. El agua de mar se introduce en el primer efecto donde se calienta hasta su punto de ebullición mediante vapor procedente del exterior produciéndose su evaporación parcial, el resto pasa al siguiente efecto. No suele emplearse para agua potable a gran escala debido a la insistencia de compresores volumétricos de vapor de baja presión de tamaño suficiente para una producción considerable. Con un consumo energético elevado.

La electrodialisis utiliza un potencial eléctrico para conducir las sales disueltas selectivamente a través de la membrana. La ósmosis inversa utiliza la presión para la separación de las sales dejando para el agua desalada a través de la membrana e impidiendo el paso de concentrado.

El consumo de energía es distinto para cada aplicación, los procesos de destilación necesitan una fuente de calor para mantener el ciclo térmico y simultáneamente un consumo de energía eléctrica para su funcionamiento hidráulico. Los procesos de membrana necesitan para su funcionamiento exclusivamente energía eléctrica, en la siguiente tabla podemos ver los consumos por tecnología.

TIPO DE PROCESO	TIPO DE ENERGÍA		
		CALORÍFICA	ELÉCTRICA
		<i>termias/m3</i>	<i>kwh/m3</i>
Evaporación Multiefecto	MED	55	1,6
Evaporación Multietapa	MSF	70	3
Compresión de Vapor	CV	0	8,7
Osmosis Inversa	OI	0	3,5

La comparación de consumo entre procesos de destilación y membranas no resulta fácil dado el distinto origen de la energía utilizada si se tiene además en cuenta que habitualmente los procesos de destilación están asociados a plantas duales de producción conjunta de energía. Comparando las distintas tecnologías se llega a la conclusión de que en la actualidad las plantas modernas de desalación por ósmosis inversa son las que presentan un consumo energético inferior y menos coste.

IMPORTES EN \$ /m3					
CONCEPTO		MSF	MED	CV	OI
ENERGIA	Combustible	0,40	0,30		
	Electricidad	0,20	0,11	0,60	0,25
MANO DE OBRA		0,04	0,04	0,07	0,07
PRODUCTOS QUIMICOS		0,05	0,04	0,04	0,05
REPOSICION MEMBRANAS		0,00	0,00	0,00	0,02
MANTENIMIENTO		0,03	0,03	0,02	0,03
TOTAL		0,72	0,52	0,73	0,42

Característica	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
Tipo energía	térmica	térmica	eléctrica	eléctrica	eléctrica
Consumo energético primario (kJ/kg)	alto (>200)	alto/medio (150-200)	medio (100-150)	bajo (<80)	bajo (<30)
Coste instalaciones	alto	alto/medio	alto	medio	medio
Capacidad producción (m ³ /día)	alta (>50.000)	media (< 20.000)	baja (<5.000)	alta (>50.000)	media (<30.000)
Posibilidad ampliación	difícil	difícil	difícil	fácil	fácil
Fiabilidad de operación	alta	media	baja	alta	alta
Desalación agua de mar	sí	sí	sí	sí	no
Calidad agua desalada (ppm)	alta (< 50)	alta (< 50)	alta (< 50)	media (300-500)	media (<300)
Superficie terreno requerida de instalación	mucha	media	poca	poca	poca

En donde se observa la tendencia de la ósmosis inversa a ser una de las mejores técnicas para la desalación de agua marina en la actualidad, ya que su consumo de energía es bajo, el coste es de los más bajos, la producción es muy elevada.

Concluimos eligiendo a la ósmosis inversa como la tecnología a aplicar en la instalación, y la más idónea dadas las circunstancias y necesidades de la instalación.

3. Viabilidad.

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

Viabilidad legal:

Desde el punto de vista legal se garantiza el cumplimiento de la instalación con lo dispuesto en la Ley de Aguas del Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de Julio.

El agua producto que se obtiene de la desalación en la instalación cumple con lo exigido en el Real Decreto 140/2003 de 7 de Febrero, por los que se establecen los criterios de la calidad del agua de consumo humano y la Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

En la instalación se produce un rechazo de salmuera que es vertido al mar, previa disolución del mismo, el vertido de salmuera cumple con el Real Decreto 258/1989 de 10 marzo sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar. Y la propia instalación como el emisario submarino y la captación submarina cumplen con la Ley 22/1988, de Costas; así como la Orden de emisarios submarinos de 2003.

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.

Viabilidad Técnica:

Se ha seleccionado la tecnología de ósmosis inversa por los distintos motivos ya documentados en apartados anteriores, las membranas escogidas son las conocidas comercialmente por la Empresa Hydranautics, perteneciente a la compañía Nitto Denko del tipo Arrollamiento en Espiral. Con todas las garantías que da una marca líder en fabricación de membranas para osmosis inversa.

Previo a la desalación es necesaria la filtración del agua de mar para eliminar sólidos en suspensión, algas, etc. Perjudiciales para las membranas de osmosis inversa, por ello se elige la empresa Flor-Guard, división de Fresnos Valves & Castings, Inc. Modelo PS-648.

Los equipos de Bombeo de baja presión corresponden a la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm “*Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)*”. Los equipos de esterilización son responsabilidad de la empresa Excel Water Technologies, modelo SUV 800P High Flor, con una capacidad de esterilización del 99%.

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.

La viabilidad técnica de este proyecto queda asegurada por la viabilidad de las empresas seleccionadas, donde cumpliendo que la plana es capaz de operar en continuo bajo las especificaciones indicadas en el vigente proyecto.

Viabilidad Económica:

La viabilidad económica del vigente proyecto queda aprobada en el apartado correspondiente al presupuesto y estudio económico del proyecto.

4. MEMORIA DE CALCULOS.

INDICE MEMORIA DE CALCULO:

- 1. Diseño torre de toma de agua salada.**
- 2. Profundidad toma de agua y pérdida de cargas en conducción.**
- 3. Diseño cántara de captación de agua de mar.**
- 4. Calculo de la escollera de protección de la torre de toma.**
- 5. Balizamiento de la torre de toma.**
- 6. Dimensionado bombas de alimentación y perdidas de carga en tubería de aspiración, desde la cántara hasta la entrada de la alimentación.**
- 7. Caudales de diseño, concentración de rechazo y permeado.**
- 8. Determinación del número de membranas y flujo por unidad de superficie por bastidor.**
- 9. Determinación de la presión osmótica de la solución de aporte.**
- 10. Filtración grosera, número de filtros y dimensiones.**
- 11. Dosis de ácido sulfúrico, cal y cloruro de calcio.**
- 12. Dosificación de ácido sulfúrico.**
- 13. Dimensionados tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico.**
- 14. Determinación bombas de ácido sulfúrico y perdidas de carga en las tuberías de succión.**

- 15. Pérdidas de carga conexión tanques de sulfúrico en su distribución a las tomas de alimentación.**
- 16. Pérdidas de carga en los tramos de conexión entre los tanques de ácido sulfúrico y las distintas tuberías de alimentación a la planta.**
- 17. Cálculos pérdidas de carga entre las conducciones de alimentación y las conexiones a los distintos filtros de arena.**
- 18. Pérdida de carga en estación de micro-filtración y bombas de impulsión.**
- 19. Cálculo de los esterilizadores de UV necesarios para la desinfección inicial del agua de alimentación.**
- 20. Dimensionado de las pérdidas de carga producidas en la instalación de esterilización UV, dimensionado de las bombas de impulsión y canal de ultravioleta.**
- 21. Cálculo de la presión necesaria en las líneas de alta presión.**
- 22. Instalación submarina de tubería de polietileno correspondiente al emisario submarino de salida de salmuera al mar.**
- 23. Cálculos de los porcentajes de saturación en el rechazo y su precipitación.**
- 24. Dosificación del hidróxido de calcio o cal, al agua producto.**
- 25. Dosificación del cloruro de calcio al agua producto.**
- 26. Dosis necesaria de hipoclorito sodico en el efluente de salida del agua producto para cumplir la normativa vigente.**
- 27. Dosificación de hipoclorito sodico.**
- 28. Sistema de Limpieza.**

1. Diseño Torre de Toma de Agua Salada.

Tenemos que bombear a la planta un caudal de entrada para las nueve líneas de producción de:

$$24000 \text{ m}^3/\text{d} * 9 = 216000 \text{ m}^3/\text{d} = 9000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Este es el caudal que se bombea a la planta como alimentación, a través de la tubería de captación, entrando por la torre de toma de agua salada. Dimensionando la torre de toma con una velocidad de entrada de 1,24 m/s (para evitar colonizaciones), se obtiene el diámetro.

$$\text{Velocidad} = \text{Caudal de entrada} / \text{Sección.}$$

$$\text{Velocidad} = 9000 \text{ (m}^3/\text{h)} / (\Pi * (1,6)^2 \text{ (m}^2) / 4) = 1,24 \text{ m/s}$$

Para el diseño dimensional de la torre de toma, utilizaremos el método desarrollado por SHIN-ICHI SENSU (Hydraulics Dep. Central Research Institute of Electric Power Ind-Tokyo), basado en los experimentos y observaciones de campo, de los Laboratorios Hidráulicos de Driepi (Japón).

Las características hidráulicas de una torre de toma circular dependen de los siguientes parámetros:

- h_0 = Altura de la ventana de toma.
- D = Diámetro de la torre de toma.
- Z_0 = Distancia de la base de la torre de toma al fondo.
- β = Número de sectores de toma.
- α = Número total de sectores de la torre.
- ρ = Densidad de agua.
- $\Delta\rho / \rho$ = Estratificación de densidad del agua.
- Q = Caudal de cálculo.
- U_0 = Velocidad de toma.

En la figura del anexo correspondiente a torre de toma podemos observar cada uno de los parámetros.

El diámetro de la torre de toma se deduce de la expresión:

$$D = 2[(2 n \alpha) / (3 \Pi) (1 + m)]^{3/5} [Q / ((C \Pi \beta) / (\alpha g^{1/2} (\Delta\rho / \rho)^{1/2}))]^{2/5}.$$

Siendo:

$$- m = (Z_0/h_0) \quad - n = (\Pi D) / (\alpha h_0)$$

En nuestro caso el diámetro de la torre esta impuesto y obtenido en función del caudal de aporte diario de 97200 m³/día y la velocidad de paso.

Diámetro es de 1600 mm con una velocidad de succión de 1,24 m/s.

La altura de la ventana de toma se obtiene de $h_0 = (\Pi D) / (n \alpha)$.

Y la velocidad de toma se deduce de:

$$-U_0 = Q / (\Pi D \beta / \alpha h_0 0,85)$$

Para un valor de $Q = 1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ y suponiendo que la totalidad del agua se realice en la totalidad del perímetro de la torre ($\alpha = \beta = 4$), para diferentes valores de los parámetros se obtiene el siguiente abanico de soluciones.

Datos	
Velocidad(m/s)	1,24
Diámetro (m)	1,6
densidad agua (Kg/m³)	1100,64
Ho(m)	0,44

m	Z₀(m)
1,5	0,7059
1,6	0,7529
1,7	0,8000
1,8	0,8471
1,9	0,8941
2	0,9412

El parámetro m es un parámetro de diseño que nos marca la relación entre la altura de la ventana de toma (h_0) y la distancia de la base de la torre de toma al fondo.

Este parámetro hace que al aumentar nos aumenta la altura de la base por lo tanto por cuestiones de diseño y para salvar la posible succión de partículas de los alrededores de la toma vamos a tomar una altura de la base de 0,75.

Influencia de las dimensiones en la captación de sedimentos.

Teniendo en cuenta que la concentración de sedimentos en suspensión, provocada por la acción del oleaje, disminuye conforme aumenta la distancia al fondo, cabe suponer que con una altura de entrada (Z_0) suficientemente grande, podrá reducirse considerablemente la captación de material en suspensión.

Esa suposición, cabe matizarla con las siguientes consideraciones:

El agua de mar que es aspirada por la torre, proviene del entorno de la misma, a la distancia de varias decenas de metros. Esta aspiración crea un flujo de corriente en dirección a la toma, de forma que toda la concentración de sedimentos en el entorno de la misma será conducida hacia la entrada.

Si la totalidad de sedimentos en suspensión no fuese aspirada, una parte de los mismos se acumularía alrededor de la torre de toma. Basándonos en la teoría de flujos potenciales, que permite definir el esquema de flujo alrededor de una torre de toma, podremos determinar la influencia de la variación en las dimensiones de la torre en la captación de sedimentos.

Para simplificar el cálculo, las líneas de flujo interior y superior se representan esquemáticamente por rectas de pendiente 1:5.

En esta hipótesis puede expresarse la velocidad del flujo radial de llegada a la toma, como una función de la distancia al centro de la torre.

$$F(x) = (Q/2\pi) * (1/(ax^2+bx)).$$

Siendo:

- V_H = Componente horizontal de la velocidad (m/s).

- X = Distancia horizontal al centro de la torre (m).

- Q = Caudal (m^3/s).

- a = $Z - (h_0/n Z_0)$.

- b = $h_0 - a R$ (m).

- R = Radio de la torre de toma (m).

- n = Pendiente de la línea de flujo.

La velocidad horizontal media, en el trayecto donde la línea inferior de flujo no corta, puede obtenerse de la expresión:

$$\bar{V}_H = \int_R^{R+nZ_0} \frac{f(x) dx}{h Z_0} = \left[\frac{Q}{2 \tau b n Z_0} \cdot \frac{a x}{a x + b} \right]_R^{R+nZ_0}$$

En la hipótesis simplificada de considerar con pendiente uniforme a las líneas de flujo, podemos expresar la componente vertical de la velocidad media como:

$$V_v = V_H / n$$

Si comparamos la velocidad vertical media a lo largo de la línea inferior de flujo, con la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión (W), pueden presentarse dos casos:

-Si $V_v > W$, la partícula no sedimentará y será succionada en el agua de alimentación. Si una partícula que se encuentra en la línea inferior de flujo es succionada, cabe suponer que las partículas en suspensión también serán arrastradas por el agua de alimentación.

-Si $V_v < W$, una partícula que se desplaza a lo largo de la línea inferior del flujo no será succionada y sedimentará al menos temporalmente.

En este caso es difícil predecir si las partículas situadas por encima de la línea inferior de flujo serán no captadas por la torre. En base a lo expresado anteriormente, sobre la ausencia de sedimentación en el entorno de las torres de toma existentes, cabe suponer que las partículas susceptibles de ser captadas por el flujo de toma (granulometría fina), terminan siendo aspiradas por la torre, si bien aunque sedimentan temporalmente en las proximidades de la toma ($V_v < W$), pueden volver a ser resuspendidas por el oleaje e incorporarse al flujo de alimentación.

n	Z (m)	H₀(m)	V_H(m/s)	V_V(m/s)
5	1	0,44	0,113	0,023
5	2	0,44	0,121	0,024
5	3	0,44	0,123	0,025
5	4	0,44	0,125	0,025
5	5	0,44	0,125	0,025
5	6	0,44	0,126	0,025
5	7	0,44	0,126	0,025
5	8	0,44	0,127	0,025
5	9	0,44	0,127	0,025
5	10	0,44	0,127	0,025
5	11	0,44	0,127	0,025
5	12	0,44	0,127	0,025
5	13	0,44	0,128	0,026
5	14	0,44	0,128	0,026
5	15	0,44	0,128	0,026
5	16	0,44	0,128	0,026
5	17	0,44	0,128	0,026
5	18	0,44	0,128	0,026
5	19	0,44	0,128	0,026
5	20	0,44	0,128	0,026

Dp micras	500	400	300	200	150	100	70
W (m/s) 10⁻²	15,41	9,86	5,55	2,47	1,39	0,62	0,3
W (m/s)	0,1541	0,0986	0,0555	0,0247	0,0139	0,0062	0,003

Admisión de Sedimentos:

El cálculo de la capacidad de admisión de sedimentos de una toma de agua, es un dato importante para el dimensionamiento de la balsa de decantación y bombeo.

La forma de la torre de toma, puede influir en la admisión de sedimentos con el agua de alimentación.

La obstrucción de una toma de agua de alimentación por sedimentos, puede producirse de dos formas diferentes:

- a) Obstrucción de la abertura de la torre, por un banco de arena que se forma en sus alrededores debido a las variaciones en la configuración del fondo marino.

En el caso de situar la torre de toma en profundidades superiores a 8 (m), no es necesario considerar este caso, pues no es previsible esperar alteraciones en el perfil marino a tales profundidades.

- b) La obstrucción de la tubería de toma por sedimentación del material en suspensión transportado con el agua de alimentación. En este caso se deberá de dimensionar la tubería, de forma que la capacidad de transporte de sedimentos sea superior que la capacidad de admisión.

Es posible determinar analíticamente, de forma aproximada, la capacidad de absorción de sedimentos a partir de la distribución vertical media de la tasa de transporte de sólidos en suspensión inducido por el oleaje.

Siendo q = Tasa de transporte de sedimentos (peso del material que pasa a través de una sección por unidad de tiempo ($\text{gr./cm}^2 \text{ s}$)). Se establece como valor del mismo:

$$q_{\max} = \frac{5,2 (\theta - \theta_c)^{3/2} [(\rho_s - \rho)g D^3]^{1/2}}{\rho^{1/2}}$$

Siendo:

- W_s = Velocidad de sedimentación de las partículas (D_{50}).

- D = Diámetro de las partículas (D_{50}).

- θ = Función de arrastre:

$$\theta = \frac{Z}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D}$$

Siendo:

- Z = Resistencia al deslizamiento = $0,5 f_w \rho U_m^2$

- f_w = Coeficiente de fricción.

- U_m = Velocidad orbital.

- ρ_s = Densidad de las partículas.

- ρ = Densidad del agua.

Se establece para ≥ 2 c la siguiente tasa media de transporte de sedimentos:

$$q_{\text{media}} = 12,5 \text{ }^3 \text{ W D}$$

Obteniéndose los siguientes resultados:

W (m/s)	Dp micras	θ	$q_{\max}(\text{Kg}/\text{m}^2\text{s})$	$q_{\text{medio}}(\text{Kg}/\text{m}^2\text{s})$
0,1541	500	0,334	0,0956	0,00003593
0,0986	400	0,345	0,0583	0,00002028
0,0555	300	0,380	0,0438	0,00001145
0,0247	200	0,472	0,0006	0,00000647
0,0139	150	0,250	0,0082	0,00000041
0,0062	100	0,610	0,0171	0,00000176
0,003	70	0,007	-----	-----

En esta expresión no se aprecia la influencia del oleaje de la zona en donde se instala la toma de agua de mar, se deberá de corregir estos valores de caudales máximos medios de succión de partículas en la alimentación en función de la altura del oleaje. En función de las diferentes alturas de oleaje podemos establecer las siguientes tasas media y máxima de admisión de sedimentos en el fondo.

Teniendo en cuenta los porcentajes de presentación de los diferentes estados de la mar (altura de oleaje) y para la dimensión de la torre de toma, se puede establecer las siguientes tasas medias.

Oleaje		
Altura(m)	%Presentación	H/año.
(2;4)	0,52	46
(4;6)	0,05	4
(6;8)	0,005	1

Considerando como promedio de la tasa de transporte:

$$\bar{q} = \frac{\sum q_i \cdot t_i}{\sum t_i}$$

Siendo:

. q_i =Tasa de transporte de sedimentos.

- t_i = Horas año de presentación del temporal.

Obteniéndose:

$q_{\max}(\text{Kg/m}^2\text{s})$	$q_{\text{medio}}(\text{Kg/m}^2\text{s})$
0,0956	0,00003593
0,0583	0,00002028
0,0438	0,00001145
0,0006	0,00000647
0,0082	0,00000041
0,0171	0,00000176

Se obtiene los siguientes valores medios:

- $q_{\max}(\text{Kg/m}^2\text{s}) = 0,0320$.
- $q_{\text{medio}}(\text{Kg/m}^2\text{s}) = 0,00001090$.

Teniendo en cuenta los valores de diámetro y altura de la torre de toma de agua de alimentación, para el valor obtenido de altura de torre y diámetro del mismo podemos calcular los caudales de sedimentación máximo y mínimo.

$$Q_i = q_i D h_0 59,525.$$

Obteniéndose:

	$h_o(m)$	$D(m)$	m^3/h	$m^3/año$
q_{max}	0,44	1,5	1,255	3,66
q_{medio}	0,44	1,5	0,000428	0,00125042

No existen criterios bien definidos en lo concerniente a la admisión de sedimentos en la toma de agua. A título orientativo, el laboratorio Hidráulico de Delf realizó un estudio de sedimentos de la toma de agua de Marsa el Brega (Libia).

A partir de las concentraciones de sedimentos medidas en el agua y de cálculos analíticos similares a los anteriormente expuestos, se determinó una tasa anual de ingestión de $3000 m^3$ para una caudal de entrada de $18 m^3/s$.

El fondo sobre el cual se apoyaba la torre de toma, estaba constituido por arena fina ($D_{50} = 130 \mu$); la admisión de sedimentos ($3000 m^3/año$) en Marsa el Brega, no provocó ningún daño anormal a la instalación.

Esta tasa anual de ingestión es mucho mayor que la calculada para la toma de agua de mar, se ha de suponer que al ser la ingestión de sedimentos mucho menor, el funcionamiento de la instalación esta garantizado para los parámetros calculados.

Estabilidad de la torre de toma:

Sin un conocimiento exacto de las características del terreno en donde se va a asentar la misma no se podrá establecer el comportamiento de la misma frente a las acciones del oleaje.

En la redacción del proyecto constructivo, se realizara un estudio detallado de la cuestión, a efectos de la estabilidad, la relación entre el diámetro de la torre y su altura sobre el fondo marino (D/Z_0+h_0), no deberá ser inferior a 1,25.

Para nuestro caso:

D(m)	h₀(m)	Z₀(m)	D/(Z₀+h₀)
1,6	0,44	0,75	1,32

De elegir soluciones cuya relación de dimensiones fuera inferior a la citada, supondría la necesidad de reforzar considerablemente la estructura, con el consiguiente encarecimiento de la misma.

Descripción de la solución propuesta:

La relación de dimensiones ($D/Z_0+h_0 = 1,32$) permite predecir un comportamiento adecuado frente a los esfuerzos a que estará sometida la estructura, provocadas por el oleaje.

La velocidad de toma (1,41 m/s), es lo suficientemente baja para evitar la ingestión de peces y la capacidad de absorción de sedimentos, no difiere demasiado del resto de soluciones estudiadas.

Dadas las dimensiones de la torre de toma, consideramos que la misma deberá prefabricarse en polietileno de alta densidad.

2. Profundidad Toma de agua y Perdida de Cargas en Conducción.

El agua que entra por la torre de toma es transportada por la toma de agua, es decir, por una tubería de PVC de un diámetro de 1600 mm, que nos conduce el agua desde la torre de entrada hasta la cántara de captación.

Según lo establecido por el Ministerio de Obras Publicas y lo publicado en el Boletín Oficial del Estado (BOE), se expone: “La longitud del emisario de vertido al mar tiene una longitud total de 2175 m y la conducción de entrada a planta coincide en 1400 m de conducción, situándose una diferencia entre la entrada de alimentación y salida de salmuera de 775m; y la conducción de salida de salmuera termina en una serie de difusores colocados en una cota de -20 m bajo el nivel del mar”.

Con la longitud del emisario, la profundidad de la zona y las características de la costa que presentan una morfología Mediterránea con una linealidad de la profundidad y distancia de la costa.

Se obtiene:

Diámetro toma (1600 mm)		
Profundidad (-m)	Longitud(m)	Perdida Carga
20	2175	1,090
19	2066,25	1,035
18	1957,5	0,981
17	1848,75	0,926
16	1740	0,872
15	1631,25	0,817
14	1522,5	0,763
13	1413,75	0,708
12	1305	0,654
11	1196,25	0,599
10	1087,5	0,545
9	978,75	0,490
8	870	0,436
7	761,25	0,381
6	652,5	0,327
5	543,75	0,272
Fijado	1400	0,701

La profundidad a la que se sitúa la cántara de captación se comprenderá entre los 10 y 9 metros de profundidad, coincidiendo con la toma de agua que se situara a la misma cota por debajo del nivel del mar.

La toma de agua presenta el mismo diámetro que la torre de toma, unos 1600 mm, para distintas profundidades y longitudes de la toma podemos calcular sus pérdidas de carga.

La velocidad de entrada del agua por la sección de 1600 mm es de:

$$V = 1,24 \text{ m/s}$$

Suministrada por un caudal de 216000 m³/d con una sección fijada en 1600 mm tramo recto de conducción 2175 m, calculando las pérdidas de carga:

$$h_{f \text{ tramo recto } 2175 \text{ m}} = 4f (L/d) (V^2 / 2 * 9,81)$$

Calculando el Reynolds:

$$Re = (V d \rho) / \mu = (1,24 \text{ m/s } 1,6 \text{ m } 1199,64 \text{ Kg/m}^3) / (0,00089 \text{ N.s/m}^2) = 2,68 \cdot 10^6$$

A partir del Reynolds y la rugosidad relativa del material, se pasa a calcular el factor de fricción de la conducción, graficado en tablas o mediante expresiones empíricas, optando por estas últimas ya que se comete menos error que los métodos gráficos a partir de la gráfica de Moody, utilizando las ecuaciones de Chen válida para cualquier tipo de tubo rugoso y la ecuación de Drew para tubos lisos ambas en estado turbulento, el Reynolds obtenido es de un valor elevado comprendido entre 3000 – 3.10⁶, satisfaciéndose así la condición necesaria para la utilización de las ecuaciones determinadas.

La ecuación de Chen:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -4 \log \left\{ \frac{1}{3,7065} \frac{\epsilon}{D} - \frac{5,0452}{Re} \log \left[\frac{1}{2,8257} \left(\frac{\epsilon}{D} \right)^{1,1098} + \frac{5,8506}{Re^{0,8981}} \right] \right\}$$

Obteniéndose un factor de fricción de $4f = 0,0101$ (adimensional).

La ecuación de Drew: $f = 0,00140 + 0,125 \text{Re}^{-0,32}$

Obteniéndose un factor de fricción de $4f = 0,0102$ (adimensional).

Demostrándose que no existe gran diferencia en utilizar una u otra independientemente de trabajemos con tubo rugoso o liso, por tanto se obtendrá un factor de fricción de 0,01015, siendo la media de ambos valores.

Calculados el factor de fricción, se calcula la pérdida de carga en el tramo recto de conducción de 1400 mm y de sección de 1600 mm de diámetro, a partir de la ecuación que abajo se adjunta:

$$(4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f$$

Siendo:

- $4f$ = Factor de fricción = 0,01015 (adimensional).
- L = Longitud conducción = 1400 m
- D = Diámetro de la conducción = 1600 mm = 1,6 m
- V = Velocidad en la conducción = 1,24 m/s
- h_f = Perdida de carga.

Dando un valor de perdida de carga de 0,70 m, a lo largo de la conducción que nos une la torre de toma o captación, con la cántara de captación de las bombas llevan la alimentación a la planta desaladora en cuestión.

Descripción de la solución propuesta:

La profundidad de la conducción desde la torre de toma hasta la cántara de captación debe de estar en concordancia la una con la otra, para que se produzca la entrada natural de agua salada a la cántara.

La conducción de agua coincide en unos 1400 m con el emisario submarino, que se sitúa en una cota de -20 m por debajo del nivel del mar.

Esta conducción posee un diámetro de 1600 mm y una longitud de 1400 m desde la cántara de captación hasta la torre de toma de agua salada, las pérdidas de carga que se producen en la misma es de 0,70 m.

Produciéndose una pérdidas de carga insignificantes, y provocando que al situar la cántara de captación por debajo de este valor de 0,70 m, en una cota por debajo del nivel del mar, se produzca la entrada de agua salada a través de la conducción sin necesidad de utilizar agentes externos como bombas.

3. Diseño cántara de captación de agua de mar.

El agua que es transportada por la tubería de captación desde la torre de toma hasta la planta de alimentación, pasa por una cantara de captación previa a la alimentación actuando como un pozo de agua marina.

En esta cántara el agua va a permanecer un tiempo de retención de 1,5 horas para favorecer la sedimentación de los posibles elementos sólidos que entran con el agua, es decir, actuando como un sedimentador primario, que elimina el agua de partículas sólidas que puedan dañar las bombas de alimentación a la planta.

Esta cántara estará situada en la cota de -10 m por debajo del nivel del mar, favoreciendo la entrada natural del agua de mar por presión, sin necesidad de bombear directamente el agua hasta la cántara.

Coincidiendo esta cota con el nivel de colocación de la tubería de captación de agua de mar conectada con la torre de toma.

Dimensionando la misma para un tiempo de retención comentado anteriormente de 1,5 horas, tiempo mínimo de retención, para favorecer la sedimentación de las partículas sólidas.

Para el diseño de la cántara debemos tener en cuenta el tiempo de retención que va a estar el agua en la cantara para así actuar de decantador primario, se aconseja que el tiempo mínimo sea de 60 minutos, en la siguiente tabla podemos ver como influye el tiempo de retención en el volumen de la cantara.

Tiempo (h)	Caudal (m³/h)	Volumen (m³)
1	9000	9000
1,2	9000	10800
2	9000	18000
2,5	9000	22500
3	9000	27000
3,5	9000	31500
4	9000	36000

Observándose que a mayor tiempo de retención en la cántara de captación mayor será el volumen de la misma, tomando un tiempo de 1,2 horas (72 minutos) vamos a necesitar un volumen de 10800 m³, se menciona que el tiempo de retención mínimo es de 60 minutos sobre dimensionándolo un 33,4% obtenemos un tiempo de 72 minutos.

Fijando el caudal para un tiempo de 72 minutos obtenemos las siguientes características dimensionales de la cántara; considerándola de forma rectangular siendo la más adecuada para este tipo de instalación.

Volumen (m³)	Alto (m)	Largo (m)	Ancho (m)
10800	6,75	40	40
10800	8,64	50	25
10800	3	60	60
10800	2,20	70	70
10800	1,69	80	80

La cántara de captación va a actuar como desarenador o decantador primario rectangular ya que en ella se van a depositar las arenas o partículas en suspensión que entran con el agua de alimentación; para desarenadores primarios rectangulares existe una acotación dimensional para el tamaño del mismo, como se puede observar en la tabla:

Decantación Primaria	Valor Mínimo	Valor Típico	Valor Máximo
L	5	--	90
L/H	5	15	40
L/d	1,5	4,5	7,5
H	1,5	3	3

Para el diseño de la cántara se obtiene lo anteriores resultados tabulados en la tabla anterior.

Las características más idóneas para la construcción de la misma y que se van a optar son de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho. Ya que estas relaciones se comprenden entre los valores prefijados para las distintas relaciones.

En nuestro diseño obtenemos:

L/H	5,8
L/d	2
L	50
H	8,64

Con un Área = 1250 m².

Satisfaciéndose así las distintas relaciones para asemejar la cántara a un decantador primario en sus dimensiones ya que esta cántara va a actuar de decantador y cántara de bombeo.

Las dimensiones de la balsa de bombeo, deben permitir la sedimentación de las partículas de arena aspiradas por la toma de tamaño superior a 70 micras. De acuerdo a la teoría de sedimentación, para la eliminación por gravedad de las partículas de tamaño D , es necesario que la carga superficial hidráulica del decantador sea inferior a la velocidad de sedimentación crítica, según la Ley de Stokes, se deduce de la expresión:

$$V_c = \frac{G (\rho_s - \rho_w) D^2}{18 \mu}$$

Siendo:

- V_c = Velocidad crítica de sedimentación.
- G = Aceleración de la gravedad.
- ρ_s = Densidad de la partícula.
- ρ_w = Densidad del agua.
- μ = Coeficiente de viscosidad molecular.

Para un diámetro de la partícula de 70 micras, se obtiene una velocidad crítica de sedimentación de:

$$V_c = (9,81(2650-1199,64)(70 \cdot 10^{-6})^2)/(18 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3}) = 3,367 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

$$V_c = 3,367 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Corrigiendo este valor con un coeficiente de 0,8, para tener en cuenta el efecto de turbulencia en la entrada a la balsa y la no esfericidad de los granos de arena tenemos que:

$$V_c = 2,69 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

La superficie mínima necesaria para la sedimentación total de las partículas con velocidades críticas iguales o superiores a la anterior, se obtiene de la expresión:

$$A_s = K \frac{Q}{S}$$

Siendo:

- A_s = Área de sedimentador.
- Q = Caudal de entrada.
- S = Carga superficial Hidráulica (V_c).
- K = Coeficiente corrector de acumulación no uniforme de la arena, ($K= 1,3$).

Sustituyendo los valores anteriores, obtenemos como área mínima de sedimentación, para partículas de diámetro igual a 70 micras.

$$A_s = 1,3 \cdot (900/3600) \cdot (1/2,69 \cdot 10^{-3}) = 1208,18 \text{ m}^2.$$
$$A_s = 1208,18 \text{ m}^2.$$

Obteniéndose un área mínima para la sedimentación de partículas del tamaño considerado de 70 micras, de 1208 m^2 , siendo esta menor que el área diseñada anteriormente en función de tiempo de retención del agua; por tanto cubrimos las necesidades de sedimentación con satisfacción.

$$\text{Área} = 1250 \text{ m}^2 > 1208 \text{ m}^2 \text{ de área mínima de sedimentación (70 micras).}$$

4. Cálculo de la Escollera de protección de la Torre de Toma:

Para evitar erosiones en el entorno de la torre de toma es conveniente proteger con escollera dicha zona.

Las características de la ola de cálculo que figuran en el cálculo establecen un valor máximo de altura de 7 metros y un periodo de 11 segundos.

Para el cálculo del peso de la escollera aplicamos la fórmula de HUDSON considerando una altura de oleaje ficticia H^* , que conforme a las teorías de Iribaren viene dada por la expresión:

$$H^* = \frac{2\pi (H/2)^2}{L_0 [\text{Sh } 2\pi d/L]^2}$$

Considerando una profundidad de 20 mts.

$$L_0 = 1,2 \cdot 11^2 = 145,2 \text{ m}$$

$$d/L_0 = 0,01102 \quad ; \quad d/L = 0,0013 \quad ; \quad \text{Sh } (2\pi d/L) = 0,9295$$

$$H^* = 0,631.$$

El peso de los cantos de escollera se define, de acuerdo con la fórmula de HUDSON, por la expresión:

$$W = \frac{\rho H^3}{K_0 (\rho_R - 1)^3 \cotg \theta}$$

Siendo:

W = peso de la escollera.

H^* = Altura ficticia de oleaje.

θ = Angulo del talud.

ρ = Densidad de la escollera.

ρ_R = Densidad relativa de la escollera.

K_0 = coeficiente de estabilidad adoptado, 3.

Sustituyendo los parámetros obtenidos, en la expresión anterior, se deduce un peso para los cantos de:

$$W = 13,4 \text{ Kg.}$$

5. Balizamiento de la Torre de Toma:

Para preservar la torre de toma de los daños que puedan causarle la pesca por arrastre o la navegación y teniendo en cuenta los requisitos de la reglamentación oficial vigente para este tipo de obras se ha considerado como solución más conveniente para el balizamiento el de utilizar un boya de gran tamaño con marcas y señales para día y para la noche.

La boya se fondeará a unos 50 m del extremo final de la torre de toma con cadena de acero unida a un muerto de fondeo que deberá estar enterrado.

Para la señalización de la torre de toma se han previsto una boya cilíndrica de tipo BCP de 2 metros de diámetro según el croquis adjunto en anexo correspondiente a balizamiento.

La boya dispondrá, en su parte superior, de un castillete en el que estarán fijados los paneles solares fotovoltaicos, bajo ellos estará instalada la linterna que será del tipo BDH 220 o similar con destellaos de óptica de horizonte y célula fotoeléctrica de cambiador destellador de lámparas.

En un flotador se instalarán bolsillos, contruidos de acero inoxidable para albergar los acumuladores eléctricos, estos bolsillos deberán reunir las debidas condiciones de estabilidad, ventilación y refrigeración.

La boya que estará pintada de amarillo llevará la marca de tope y el reflector de radar.

El tren de fondeo para esta boya está constituido por dos ramales laterales de cadena con conrete de 20,5 mm de diámetro que parte de las asas de anclaje inferiores y que tienen una longitud de 7 m, estos ramales se unen en su parte inferior prolongándose en un solo ramal de 20 m de longitud.

El final de esta cadena se une a un muerto de hormigón de 3000 Kgs de peso en seco (1,3 x 1,3 x 0,75 m). Estos tramos de cadena se unirán entre sí, a la boya y al muerto por medio de grilletes.

No se incluyen cálculos justificativos del tren de fondeo de esta boya ya que los sistemas de amarre responden a patentes de las casas fabricantes de las boyas.

El muerto al que ancla la boya se situará a unos 50 metros mar adentro del extremo de la tubería y en la misma alineación de la misma.

Dicho muerto deberá estar enterrado en el fondo marino.

Esquema de la boya y tren de fondeo, adjuntado en el anexo correspondiente a balizamiento.

6. Dimensionado Bombas de Alimentación Planta y Perdida de Carga en Tubería de aspiración, desde la cántara hasta la entrada de la alimentación.

Para determinar la bomba característica, se aplica Bernoulli entre el punto de succión y la tubería que conecta con la planta de alimentación, es decir, en la misma boca de salida de la bomba.

La ecuación descrita se puede escribir como:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

La velocidad de aspiración ha de ser de 1,41 m/s ya que el caudal necesario de entrada es 1000 m³/h, por tanto se obtiene una sección:

$$S = Q / V = 1000 \text{ (m}^3\text{/h)} / 1,41 \text{ (m/s)} = 0,2 \text{ m}^2 \rightarrow \Phi_{\text{interno}} = 0,5 \text{ m.}$$

El diámetro nominal mínimo ha de ser de 24”.

Tubería de aspiración de PVC con diámetro nominal 24” con cédula 80.

Los datos suministrados por el fabricante son:

- Diámetro externo = 609,6 mm.
- Diámetro interno = 544,0 mm.
- Espesor = 30,9 mm.
-

Ahora calculamos el valor exacto de la velocidad en la tubería de succión:

$$V = 1000 \text{ (m}^3\text{/h)} / (\pi \cdot 0,544/4) = 1,179 \text{ m/s.}$$

Imponiendo una tubería de impulsión de las mismas características obtenemos una velocidad de impulsión de 1,179 m/s, para así obtener el mismo caudal a la entrada de la bomba que a la salida de ella.

Para el cálculo de h_a debemos de estimar las pérdidas de carga producidas en la tubería de succión, con una longitud de 8 m y un diámetro de 0,544 m o de 24”; calculando en primer lugar el factor de fricción de la tubería en tramo recto.

Basándonos en los cálculos previos del Reynolds:

$$Re = (0,5m \cdot 1,4154 \text{ m/s} \cdot 1199,64 \text{ Kg/m}^3) / (0,00089 \text{ N.s/m}^2) = 9,539 \cdot 10^{-5}$$

Calculado el valor de Reynolds y asumiendo que nos estamos moviendo en régimen turbulento nos acogemos a la ecuación empírica de Drew para tubo liso en régimen turbulento comprendido entre los valores de 3000 hasta $3 \cdot 10^6$, cuya ecuación es:

$$f = 0,00140 + 0,125Re^{-0,32}$$

Para el valor de Reynolds dado de $9,53 \cdot 10^5$; $f = 2,9256 \cdot 10^{-3}$.

Pasando a calcular las pérdidas de carga como:

$$(4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior:

$$h_f = 0,0117 (8/0,5)(1,4154^2/(2 \cdot 9,81)) = 1,838 \text{ m.}$$

Dando un valor de pérdida de carga de 1,838 m.

Aplicando Bernouilli entre los puntos de succión e impulsión de la bomba, es decir, entre la carga y descarga de la bomba:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ambas velocidades son iguales, este termino se anula, velocidad de descarga es igual que la velocidad de succión.

$$h_a = (1,348-1)/(1199,64 \cdot 9,81) + 1,838 + 9,81 \cdot 8 = 80,32$$

Dando un valor de $h_a = 80,32$ m. Calculando la Potencia teórica y mínima que debe poseer la bomba, para la impulsión del liquido.

$$P_a = (80,32 \cdot 1000 \cdot 1199,64 \cdot 9,81) / (1000 \cdot 3600) = 262,51 \text{ KW.}$$

La presión comunicada al fluido es de 262,51 KW. La presión en estas tuberías es la proporcionada por la bomba y la que tenía el fluido antes de ser succionado. La presión del fluido es la atmosférica que no hay que añadirla.

La presión de prueba hidráulica es: $P_{\text{hidr}} = P_{\text{diseño}} \cdot 1,5 = 262,51 = 393,84 \text{ KW.}$

La mínima presión que ha de suministrar la bomba es de 10,32 m y el caudal que ha de tratar es de 1000 m³/h.

Se elige la bomba suministrada por la empresa GOULDS PUMP, modelo VHS 10x10-26, centrífuga vertical, para impulsión de agua de mar:

- Caudal máximo: 1590 m³/h.
- h_{max}: 42.6 m.
- Temperatura de trabajo: 93°C.
- Tamaño de sólidos: 254 mm.
- Presión máxima: 482,6 KPa.
- NPSH_{req}: 3,4 m.
- Potencia requerida: 350 KW.

Seleccionando el tamaño más adecuado de la graficas características del anexo correspondiente a bombas de alimentación.

Comprobación para evitar la cavitación de la bomba, calculando para ello el NPSH_{disp}; partiendo de los datos de altura de succión de la toma de la bomba hasta la cántara de captación.

Para calcular el NPSH_{disk}, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\text{NPSH}_d = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Calculando cada termino por separado:

- h_{sp}= 16,60 m. (carga estática, debida a la columna de agua).
- h_s = 8 m. (diferencia de alturas)
- h_f = 1,83 m. (perdidas de carga en la tubería de succión).
- h_{vp} = 0,26 m. (presión de vapor del agua de mar).

$$\text{NPSH}_{disp} = 6,57 \text{ m.}$$

Consiguiéndose que el $NPSH_{disp} > NPSH_{req}$, evitando la cavitación de la bomba para transportar el agua desde la cántara de captación hasta la planta.

7. Caudales de diseño y Concentración de Rechazo y Permeado.

El proceso de desalación esta enmarcado por una serie de ecuaciones que definen o aclaran los distintos aspectos que deben conocerse, y que en última instancia permiten realizar el diseño de las distintas instalaciones.

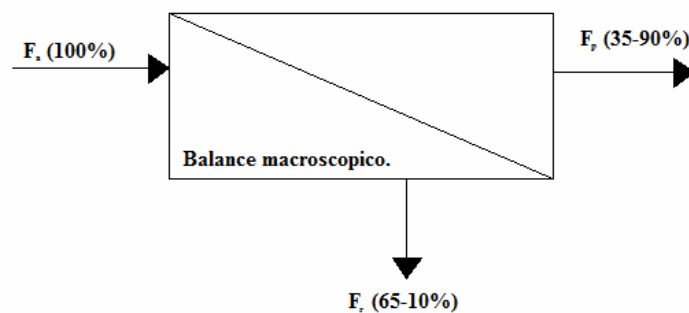
Partiendo de los distintos flujos o caudales que se generan en el proceso podemos distinguir:

-Flujo o caudal de alimentación que es el que se pretende desalar y se aplica en un lado de la membrana: F_a .

-Flujo o caudal de producto que corresponde al agua a la que se le han eliminado o reducido las sales: F_p .

-Flujo o caudal de concentrado (rechazo), que arrastra las sales que han sido separadas por la membrana y que se depositarían sobre ella: F_r .

Realizando un balance macroscópico al sistema, que se representa en la figura adjunta, un balance de materia en donde la entrada al sistema es igual a la salida:



Ecuaciones del Balance macroscópico:

$$F_a = F_p + F_r$$

$$C_a * F_a = C_p * F_p + C_r * F_r.$$

Conocido el valor del caudal producto que es uno de nuestros parámetros determinados inicialmente, como la capacidad que deseamos obtener, la producción al día es de 97.200 m³; conocida la conversión global, con la siguiente relación obtenemos:

$$-F_p = 97.200 \text{ m}^3/\text{d. (valor asignado)}.$$

-Adjudicando una conversión global del 45% para la instalación.

$$R\% = (F_p/F_a) * 100; F_p = 97.200 \text{ m}^3/\text{día}; F_a = 216.000 \text{ m}^3/\text{día}.$$

-Del balance se obtiene:

$$F_a - F_p = F_r$$

$$F_r = 118800 \text{ m}^3/\text{día. (global)}.$$

Para cada línea se obtiene:

$$-F_r = 13200 \text{ m}^3/\text{día}.$$

$$-F_p = 10800 \text{ m}^3/\text{día}.$$

$$-F_a = 24000 \text{ m}^3/\text{día}.$$

Resumen:

Caudales	Global (m³/d)	Línea (m³/d)
F _a (Alimentación)	216.000	24.000
F _r (Rechazo)	118.800	13.200
F _p (Permeado)	97.200	10.800

Conocidos los caudales de entrada y salida se determinan la concentración de producto, previamente calculando la concentración del rechazo, parámetro importante en el diseño, para establecer la forma de eliminación de un caudal importante por su carácter contaminante.

A través de la ecuación:

$$C_r = \frac{RS \cdot C_a}{(1-R)}$$

Siendo:

-RS= Rechazo de sales, característico de cada membrana =99,6%

-C_a= Concentración de sal en mg/l, para cada componente “i”.

-R = Conversión Global = 45%

A través de esta ecuación se ve también cómo se puede influir en la calidad del rechazo para que no cree problemas en su eliminación, decidiendo desde el diseño de la instalación el tipo de membrana a elegir y la conversión del sistema.

Partiendo de las características generales de salinidad del agua bruta:

<i>CATIONES</i> (mg/L)		<i>ANIONES</i> (mg/L)	
Sodio(Na ⁺)	12179	Cloro(Cl ⁻)	21555
Magnesio(Mg ⁺²)	1387	SO ₄ ⁻²	4539,89
Calcio(Ca ⁺²)	449	HCO ₃ ⁻¹	158,6
Potasio(K ⁺)	418	F ⁻	1

$$C_{r(\text{Na}^+)} = 0,996 \cdot 12179(\text{mg/l}) / (1-0,45) = 22055,061 \text{ mg/l.}$$

$$C_{r(\text{Mg}^{+2})} = 0,996 \cdot 1387(\text{mg/l}) / (1-0,45) = 2511,73 \text{ mg/l.}$$

$$C_{r(\text{Ca}^{+2})} = 0,996 \cdot 449(\text{mg/l}) / (1-0,45) = 813,098 \text{ mg/l.}$$

$$C_{r(\text{K}^+)} = 0,996 \cdot 418(\text{mg/l}) / (1-0,45) = 756,96 \text{ mg/l.}$$

$$C_{r(\text{Cl}^-)} = 0,996 \cdot 21555(\text{mg/l}) / (1-0,45) = 39034,14 \text{ mg/l.}$$

$$C_{r(\text{SO}_4^{-2})} = 0,996 * 4539,89 \text{ (mg/l)} / (1-0,45) = 8221,23 \text{ mg/l.}$$

$$C_{r(\text{HCO}_3^{-})} = 0,996 * 158,6 \text{ (mg/l)} / (1-0,45) = 287,21 \text{ mg/l.}$$

$$C_{r(\text{F}^{-})} = 0,996 * 1 \text{ (mg/l)} / (1-0,45) = 1,81 \text{ mg/l.}$$

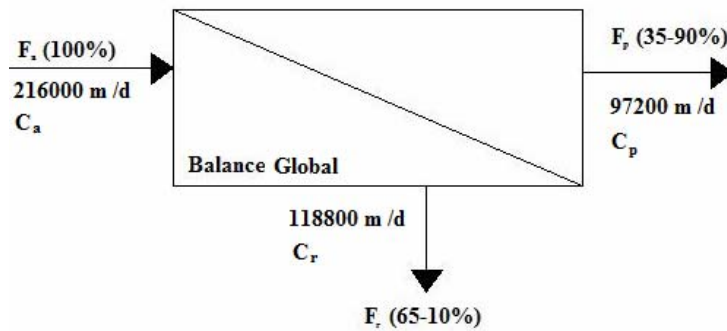
$$\text{Salinidad total de rechazo: TDS}_R = 71234,91 \text{ mg/l.}$$

Cuadro resumen salinidad de rechazo:

<i>Cationes Y Aniones</i>	<i>Salinidad del rechazo mg/L</i>
Sodio(Na ⁺)	22055,06
Magnesio(Mg ⁺²)	2511,73
Calcio(Ca ⁺²)	813,1
Potasio(K ⁺)	756,96
Cloro(Cl ⁻)	39034,14
SO ₄ ⁻²	8221,23
HCO ₃ ⁻¹	287,21
F ⁻	1,81
TDS _R	71234,91

Conocidos los caudales totales de entrada y salida, tras la realización del balance de materia a la instalación, y conocido las concentraciones de entrada y rechazo, se calcula la concertación de sales en el permeado, es de gran importancia para determinar el tratamiento al que se debe de someter la corriente para adecuarla en su uso agrícola-humano.

La determinación de la concentración de sales en la corriente de permeado la realizamos aplicando un balance al sistema, conocidos los distintos parámetros:



Ecuaciones del Balance macroscópico:

$$F_a = F_p + F_r$$

$$C_a * F_a = C_p * F_p + C_r * F_r$$

Despejando la concentración producto:

$$C_p = (C_a * F_a) - (C_r * F_r) / F_p$$

$$C_{p(Na^+)} = (216000 * 12179) - (118800 * 22055,06) / (97200) = 108,26 \text{ mg/l.}$$

$$C_{p(Mg^{+2})} = (216000 * 1387) - (118800 * 2511,73) / (97200) = 30,42 \text{ mg/l.}$$

$$C_{p(Ca^{+2})} = (216000 * 449) - (118800 * 813,1) / (97200) = 3,99 \text{ mg/l.}$$

$$C_{p(K^+)} = (216000 * 418) - (118800 * 756,96) / (97200) = 28,16 \text{ mg/l.}$$

$$C_{p(Cl^-)} = (216000 * 21555) - (118800 * 39034,14) / (97200) = 191,61 \text{ mg/l.}$$

$$C_{p(SO_4^{-2})} = (216000 * 4539,89) - (118800 * 8221,23) / (97200) = 40,36 \text{ mg/l.}$$

$$C_{p(HCO_3^-)} = (216000 * 158,6) - (118800 * 287,21) / (97200) = 1,41 \text{ mg/l.}$$

$$C_{p(F^-)} = (216000 * 1) - (118800 * 1,81) / (97200) = 0,01 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Salinidad total de producto: } TDS_p = 392,31 \text{ mg/l.}$$

Cuadro resumen salinidad producto:

<i>Cationes Y Aniones</i>	<i>Salinidad del producto mg/L</i>
Sodio(Na^+)	108,26
Magnesio(Mg^{+2})	30,42
Calcio(Ca^{+2})	3,99
Potasio(K^+)	28,16
Cloro(Cl^-)	191,61

<i>Cationes Y Aniones</i>	<i>Salinidad del producto mg/L</i>
SO ₄ ⁻²	40,36
HCO ₃ ⁻¹	1,41
F ⁻	0,01
TDS _R	392,31

8. Determinación del número de membranas y flujo por unidad de superficie por bastidor.

Una membrana viene definida en sus condiciones de funcionamiento por un flujo por unidad de superficie de membrana, que ha sido contrastado en fábrica.

Este flujo depende de las características de permeabilidad de la membrana y del tipo de membranas y es aquel que permite un funcionamiento regular de las mismas sin ensuciamiento anormal.

Se define mediante la unidad GFD o su equivalente decimal L/m².día.

<i>Tipos de Aguas</i>	<i>GFD</i>	<i>L/m².día</i>
Residuales	8-10	13-17
Mar Superficie	10-16	17-27
Mar Pozo	16-20	27-34
Salobres Pozo Profundo	18-22	31-37
Agua RO/UF	22-30	37-51

El flujo específico que es el volumen de agua que atraviesa la membrana por unidad de tiempo y de superficie, se representa por J y se determina a partir del caudal nominal de la membrana, haciendo una serie de correcciones.

Partiendo del caudal nominal de la membrana (F_n), se calcula el caudal de diseño (F_d):

$$F_n = 26,5 \text{ m}^3/\text{día} = 22,3 \text{ m}^3/\text{día}$$

El F_n se reduce en un 30% para tener en cuenta que dentro de cada tubo de presión la recuperación de cada elemento es descendente. La causa es el continuo descenso de la presión neta, dado que la presión aplicada disminuye por el rozamiento con las membranas y la presión osmótica aumenta.

Se aplica además una reducción del 10% debido al ensuciamiento. Por tanto el caudal de permeado que se trata para los caudales es un 60% del nominal.

También se ve afectado por la temperatura y la presión aplicadas.

Para corregir en función de la temperatura tenemos el factor corrector de la temperatura (TCF) y en función de la presión tenemos PF:

$$TCF_{20^\circ\text{C}} = \exp \left(K \left(\frac{1}{273 + T} - \frac{1}{298} \right) \right)$$

K = depende de la naturaleza de la membrana entre 2100 y 2800 K.

$$PF = \left[\frac{P - \Delta\Phi_m}{P_{*} - \Delta\Phi_m} \right]$$

Partiendo del flujo nominal (F_n) para la instalación mas adecuado según lo tabulado en la tabla anterior; $F_n = 26,5 \text{ m}^3/\text{d}$, para unas condiciones del agua de alimentación de 20°C y suponiendo una temperatura de trabajo de 60 bar; comprendida entre el rango de trabajo de operación de las membranas, y suponiendo un coeficiente

de pérdidas del flujo nominal de alrededor del 60% debido a la descendencia de la presión en los tubos de presión, se obtiene:

Previamente, cálculos de los factores de corrección de la temperatura y la presión.

$$TCF_{20^{\circ}C} = \exp \left[K \frac{1}{273 + T} - \frac{1}{298} \right]$$

$$TCF_{20^{\circ}C} = \exp \left[2800 \frac{1}{273+20} - \frac{1}{298} \right] = 1,173$$

$$PF = \left[\frac{P - \Delta\Phi_m}{P_{f,b} - \Delta\Phi_m} \right] \quad PF = \frac{60 - 22}{60 - 55,5} = 1,13$$

El valor de la presión osmótica de la solución $\Delta\Phi_m$ se calcula en el anexo.

Con los valores de corrección de la temperatura y presión, se calcula el valor del flujo de diseño por membrana.

$$F_d = (F_n / TCF_{20^{\circ}C} PF_{60bar}) 0,6 = (26,5 / 1,173 1,13) 0,6 = 15,168 \text{ m}^3/\text{d}.$$

$F_d = 15,168 \text{ m}^3/\text{d} = 632 \text{ l/h}$, expresado en función de los metros cuadrados de membrana, se expresa como $J_A = 18,21 \text{ l/m}^2 \text{ h}$.

Consiguiendo que el flujo de diseño sea menor que el flujo máximo por membrana para este tipo de instalación, cifrado en $J_{A \text{ máx}} = 27 \text{ l/m}^2 \text{ h}$.

Se expresa J_A como el volumen de agua que atraviesa la membrana por unidad de tiempo y de superficie; que no es más que el caudal que atraviesa las membranas, expresado por el área total que atraviesa este caudal.

$$J_A = Q/\text{Area} \rightarrow Q = 10800 \text{ m}^3/\text{día} \rightarrow J_A = 18,21 \text{ l/m}^2\text{h}.$$

Por tanto:

$$\text{Area} = 10800 (\text{m}^3/\text{día}) / 18,21 (\text{l/m}^2\text{h}) = 24711,69 \text{ m}^2.$$

Conocida las características suministradas por la empresa Hydranautics, perteneciente a la compañía Nitto Denko; de las membranas SCW3+ HYDRANAUTICS, tamaño nominal de 8". Poseen un área de 34,7 m² cada una de ellas.

$$N^{\circ}_{\text{elementos}} = \text{Area} / \text{Area}_{\text{membranas}} = 24711,69 (\text{m}^2) / 34,7 \text{ m}^2 = 660 \text{ membranas}.$$

Comprobando la presión de trabajo:

$$P_{\text{trabajo}} = J/A + P_{\text{osmotica}} = 18,21/0,46 + 22 = 60 \text{ bar}.$$

La presión de trabajo ronda el valor de los 60 bares, valor fijo e impuesto para que las condiciones de flujo dentro de la membrana sean las dadas anteriormente; y para que el arreglo del numero de membranas sea el estipulado y no se produzca un aumento sensible del numero de membranas; con esta presión de trabajo no produce ningún tipo de daño a las condiciones de trabajo de las membranas y conseguimos un buen arreglo, en la distribución del numero de tubos de presión por cada bastidor.

Cálculos comprobados con el programa de diseño y simulación, suministrado por la compañía Hydranautics, denominado "IMSDESING INTEGRATE MEMBRANE SOLUTIONS, Hydranautics-2006".

Verificándose el correcto funcionamiento del diseño.



Programa de Hydranautics - [Análisis]

Archivo Análisis Diseño OI UF Tratamiento Cálculo Gráficas Ayuda

Proyecto: Desaladora Dalías Código: DESALA Alim.: Agua de mar - toma abierta Fecha: 03/10/2007

pH	7,00	Turbid	3,0	Cond. E	60769 μ S/cm	CO2	17,500 ppm	
Temp.	25,0 C	SDI	0,0 15min	H2S	0,0 ppm	Fe	0,000 ppm	
Ca	449,0 ppm		22,39 meq	CO3	0,4 ppm		0,00 meq	
Mg	1387,0 ppm		114,16 meq	HCO3	158,6 ppm		2,60 meq	
Na	12192,3 ppm		530,10 meq	SO4	3200,0 ppm		66,67 meq	
K	418,0 ppm		10,72 meq	Cl	21555,0 ppm		608,04 meq	
NH4	0,0 ppm		0,00 meq	F	1,0 ppm		0,05 meq	
Ba	0,000 ppm		0,00 meq	NO3	0,0 ppm		0,00 meq	
Sr	0,000 ppm		0,00 meq	B	0,00 ppm		0,00 meq	
				SiO2	0,0 ppm		0,00 meq	
Total Positiv.			677,37 meq	Auto balance			Total Negativ.	677,36 meq

SDT calculados	39361 ppm	Fuerza iónica	0,779	Impr.
Sat. CaSO4	25,0 %	Sat. BaSO4	0,0 %	Save
Sat. Sílice	0,0 %	Saturación de SrSO4	0,0 %	
Índ. saturación	0,1 Langelier	Presión osmótica	416,2 psi	

Programa de Hydranautics - [Diseño OI]

Archivo Análisis Diseño OI UF Tratamiento Cálculo Gráficas Ayuda

Proyecto: Desaladora Dalías Calculado por: Alfonso Fecha:

pH: 7,00 Edad membrana: 0,0 años Tipo de Químico: H2SO4

Temp.: 25,0 C Dos. Prod. Quím.: 0,0 ppm Concent. Químicos, %: 100

Disminución flujo %/año: 7,0 Agua Alm.: Agua de mar - toma abierta

Inc. paso sal %/año: 10,0 Mezcla permeado: Contrapres. Perm.:

Recup. Permeado %: 45,0 Recirc. Concentrado: Bomba búster:

Caudal Perm.: m3/d 10800,00

Flux promedio: l/m2-hr 18,4

Caudal Alimentación: m3/d 24000,0

Caudal Concentrado: m3/d 13200,0

Stage 1

Sistema

Modelo: SWC3+

Elementos/tubo: 7 Etapas Paso 1: 1

Tubos: 94 Recalcular

Modelo:

Elementos/tubo:

Tubos:

Pasos: 1

Ejecutar

Impr.

Diagr. Flujo

Resultados

Programa de Hydranautics - [Diseño OI]

Archivo Análisis Diseño OI UF Tratamiento Cálculo Gráficas Ayuda

Proyecto: Desaladora Dalías Calculado por: Alfonso Fecha:

pH: 7,00 Edad membrana: 0,0 años Tipo de Químico: H2SO4

Temp.: 25,0 C Dos. Prod. Quím.: 0,0 ppm Concent. Químicos, %: 100

Disminución flujo %/año: 7,0 Agua Alm.: Agua de mar - toma abierta

Inc. paso sal %/año: 10,0 Mezcla permeado: Contrapres. Perm.:

Recup. Permeado %: 45,0 Recirc. Concentrado: Bomba búster:

Caudal Perm.: m3/d 10800,00

Flux promedio: l/m2-hr 18,4

Caudal Alimentación: m3/d 24000,0

Caudal Concentrado: m3/d 13200,0

Resultados Cálculo

Arreglo	Tubos	Presión bar	Alim.	Conc.	Caudal/tubo m3/hr	Alim.	Conc.	Flux l/m2-hr	Beta
1-1	94	64,6	62,8	10,6	5,9	18,4	1,04		
1-2	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00		
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00		
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00		

Concentración Perm. (ppm)

Ca	0,51	K	2,83	Sr	0,00	Cl	106,16	NO3	0,00	CO2	17,46
Mg	1,57	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	3,94	B	0,00	pH	5,2
Na	66,09	Ba	0,00	HCO3	1,40	F	0,01	SiO2	0,00		
SDT total: 182,5 ppm											

Parámetros Conc.

CaSO4 sat, %	53	SrSO4 sat, %	0	Fuerza iónica	1,41	pH	7,3
BaSO4 sat, %	0	SiO2 sat, %	0	Presión osmótica	52,1	Bar	

Índice Saturación: Langelier: 0,9 Stiff & Davis: -0,15 SDT total: 71416,8 ppm

Pasos: 1

Siguiente

Impr.

Diagr. Flujo

Resultados

Condiciones de trabajo:

Flujo Nominal (F_n)	26,5 m ³ /d
Flujo Diseño (F_d)	15,16 m ³ /d
Flujo Unidad Superficie (J_A)	18,21 l/m ² h
Área Total	24711,69 m ²
Numero membranas	660 (por bastidor)
Numero de tubos presión	94 (por bastidor)
Elementos por tubos.	7
Presión de Trabajo	60 (bar)

9. Determinación de la presión osmótica de la solución de aporte.

Es muy importante conocer el valor de la presión osmótica de la solución de aporte ya que condiciona la presión de trabajo, el consumo de energía en el proceso.

Consideraciones termodinámicas permiten establecer que la relación existente entre la presión osmótica de una solución y la concentración de sustancias que la componen viene dada por la ecuación:

$$\Pi = - \left(\frac{RT}{V_0} \right) \text{Ln } a_0$$

Siendo:

- Π = presión osmótica.
- a_0 = actividad del agua.
- R = constante de los gases perfectos.
- T = Temperatura absoluta en grados Kelvin.
- V_0 = volumen molar parcial del solvente en la solución.

Teniendo en cuenta que un kilogramo de agua son 55,51 moles, la actividad de la misma en una solución viene dada por la ecuación:

$$\ln a_s = \frac{\sum m_i}{55,51} \phi$$

Sustituyendo valores en la ecuación queda finalmente:

$$\Pi = 0,08308 \phi (t + 273,16) \sum m_i$$

Siendo:

- ϕ = coeficiente osmótico para agua de mar = 0,902.
- t = temperatura del agua en °C.
- $\sum m_i$ = suma de las molalidades de todos los constituyentes de la solución, tanto iónicos como no iónicos.
- Π = presión osmótica en bares.

La molalidad de cada constituyente se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$m_i = \frac{C_i}{1000 P M_i \frac{10^6 - STD}{10^6}}$$

Donde:

- C_i = concentración del componente “i” de la solución en mg/l.
- $P M_i$ = peso molecular del componente “i”.
- STD = contenido en sales totales de la solución, en mg/l.

Con las características del agua de aporte:

Mar mediterráneo: Salinidad Bruta= 39348 mg/L; pH= 7,4-7,6

<i>CATIONES</i> (mg/L)		<i>ANIONES</i> (mg/L)	
Sodio(Na ⁺)	12179	Cloro(Cl ⁻)	21555
Magnesio(Mg ⁺²)	1387	SO ₄ ⁻²	4539,89
Calcio(Ca ⁺²)	449	HCO ₃ ⁻¹	158,6

<i>CATIONES</i> (mg/L)		<i>ANIONES</i> (mg/L)	
Potasio(K ⁺)	418	F ⁻	1

Para la determinación de la presión osmótica de las corrientes de entrada y salida del sistema necesitamos saber la temperatura a la cual se encuentra nuestra agua a tratar, en nuestro caso la toma de agua se realizaba en las costas de Balerna situada en la provincia de Almería limítrofe con el Mar Mediterráneo; los registros de temperatura del mar oscila entre las distintas estaciones del año, los sondeos nos muestran el siguiente resultado.

<i>Estaciones del Año</i>	<i>T °C, del Mar Mediterráneo</i>
Primavera- Verano	21-30°
Otoño-Invierno	10-15°

Calculando la molalidad de cada catión y anión:

$$m_{\text{Na}^+} = 12179 / (1000 * 22,98(10^6 - 39348/10^6)) = 0,0532 \text{ moles/ } 1000 \text{ gr. agua.}$$

$$m_{\text{Mg}^{+2}} = 1387 / (1000 * 24,31(10^6 - 39348/10^6)) = 0,0593 \text{ moles/gr.}$$

$$m_{\text{Ca}^{+2}} = 449 / (1000 * 40,08(10^6 - 39348/10^6)) = 0,0116 \text{ moles/gr.}$$

$$m_{\text{K}^+} = 418 / (1000 * 39,102(10^6 - 39348/10^6)) = 0,0111 \text{ moles/gr.}$$

$$m_{\text{Cl}^-} = 21555 / (1000 * 35,5(10^6 - 39348/10^6)) = 0,632 \text{ moles/gr.}$$

$$m_{\text{SO}_4^{-2}} = 4539,89 / (1000 * 96,06(10^6 - 39348/10^6)) = 0,049 \text{ moles/gr.}$$

$$m_{\text{HCO}_3^-} = 158,6 / (1000 * 61(10^6 - 39348/10^6)) = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ moles/gr.}$$

$$m_{\text{F}^-} = 1 / (1000 * 18,99(10^6 - 39348/10^6)) = 5,48 \cdot 10^{-5} \text{ moles/gr.}$$

Estimando una temperatura para los dos grandes periodos de 25°C para el verano y una mínima de 12°C para el invierno.

La presión osmótica toma el siguiente valor:

$$\Pi = 0,08308 \phi (t + 273,16) \sum m_i$$

$$\Pi_{25^\circ\text{C}} = 0,08308 * 0,902 * (25 + 273,16) + \sum (m_{\text{Na}^+} + m_{\text{Mg}^{+2}} + m_{\text{Ca}^{+2}} + m_{\text{K}^+} + m_{\text{Cl}^-} + m_{\text{SO}_4^{-2}} + m_{\text{HCO}_3^-} + m_{\text{F}^-}) = 23,16 \text{ bar.}$$

$$\Pi_{12^\circ\text{C}} = 0,08308 * 0,902 * (12 + 273,16) + \sum (m_{\text{Na}^+} + m_{\text{Mg}^{+2}} + m_{\text{Ca}^{+2}} + m_{\text{K}^+} + m_{\text{Cl}^-} + m_{\text{SO}_4^{-2}} + m_{\text{HCO}_3^-} + m_{\text{F}^-}) = 22,18 \text{ bar.}$$

$$\Pi_m = (\Pi_{25^\circ\text{C}} + \Pi_{12^\circ\text{C}}) / 2 = 22 \text{ bar.}$$

Esta es la presión osmótica de la solución de aporte que deberemos de vencer para poder realizar la operación de osmosis inversa en los tubos de presión.

10. Filtración Grosera, Número de Filtros y Dimensiones.

Antes de tratar el agua o hacer pasar la misma por los bastidores de membranas que van a proceder a la desalación del agua, se debe de realizar una filtración grosera al agua de entrada, ya que se podrá producir un ensuciamiento excesivo de las membranas y un mal funcionamiento de la instalación.

Para la realización de la misma se suelen emplear filtros de arena; de una sola capa o multicapa; en ocasiones la filtración sobre la arena no es suficiente para llevar a los niveles exigidos, NTU de 1 y SDI igual o superior a 5, o los filtros se obstruyen con demasiada rapidez.

Por las características de la toma de agua (mar abierto), que presenta una mayor turbidez del agua se utiliza un filtro de arena con distintas granulometrías, de esta manera somos capaces de eliminar la mayor turbidez posible; en el caso de tomas en pozos, no es necesario la utilización de distintas capas filtrantes de material ya que el propio lecho del pozo se utiliza como medio filtrante, caracterizando al agua de una turbidez menor que en nuestro caso.

El tamaño medio de esos materiales más usados son: antracita 0,8-1,2 mm, arena 0,5-0,8 mm, granate 0,4-0,6 mm y magnetita 0,3-0,4 mm.

Pero todos estos valores son aproximados, pues lo más correcto es determinar *in situ* mediante pruebas piloto la granulometría adecuada para conseguir bajar el índice de turbidez.

Por lo que vamos a partir de un lecho de grava de una sola capa, que deberá de observarse su funcionamiento a medida que se va operando con el mismo y determinar cual es la capa y el material más adecuado.

La capacidad de trabajo de la planta es de 9000 m³/h global, pero un caudal por línea de 1000 m³/h, por lo que debemos de buscar un número adecuado de filtros y un tamaño idóneo para filtrar este caudal de aporte a las membranas o módulos de osmosis inversa.

La empresa “**FRESNO Valves &Castings, Inc**” suministradora de equipos filtrantes nos remite el catalogo de equipos; en el podemos destacar los tamaños de filtros:

Número de Modelo	Rango de Flujo Estándar		Rango de Flujo Métrico		Area de Filtración Ft ²	Peso de Embarque - Libras
	25 GPM/FT ²	17 GPM/FT ²	17 L/S/M ²	11.5 L/S/M ²		
215	62	42	3.9	2.6	2.5	136
218	88	60	5.6	3.8	3.5	160
318	132	90	8.4	5.7	5.3	240
224	157	107	9.9	6.7	6.3	220
324	235	160	14.8	10.1	9.5	330
230	244	167	15.4	10.5	9.8	315
330	368	250	23.2	15.8	14.7	430
236	353	240	22.3	15.1	14.1	525
336	530	360	33.4	22.7	21.2	770
245	555	377	35.0	23.8	22.2	690
345	832	566	52.5	35.7	33.3	1075
445	1110	754	70.0	47.6	44.4	1490
545	1387	943	87.5	59.5	55.5	1850
645	1665	1132	105.0	71.4	66.6	2200
248	625	425	39.4	26.8	25.0	720
348	937	637	59.1	40.2	37.5	1105
448	1250	850	78.9	53.6	50.0	1520
548	1562	1062	98.5	67.0	62.5	1880
648	1875	1275	118.3	80.4	75.0	2230

Seleccionamos el filtro más adecuado para tratar un caudal de flujo de 1000 m³/h, comparando entre los Modelos PS 445 y el Modelo PS 545. Corresponde al Modelo PS 445 con un área de Filtración de 44,4 ft² ≈ 4,14 m².

Y trabajando en un rango de flujo métrico de 70 L/s/m². Cambiando sus unidades:

$$70 \text{ l/s} * (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) * (3600 \text{ s} / 1 \text{ h}) = 252 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^2.$$

Sabemos que 1 m² de área de filtración es capaz de tratar un flujo métrico de 252 m³/h, por tanto si nuestro filtro posee un área de 4,14 m²:

$$4,14 \text{ m}^2 * (252 \text{ m}^3 / \text{h} / 1 \text{ m}^2) = 1044,29 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Flujo que trata cada filtro de arena, Modelo PS 445 = 1044,29 m³/h.

Ahora comparándolo con el correspondiente al Modelo PS 545 (señalado en la tabla) con un área de Filtración de 55,5 ft² ≈ 5,18 m².

Y trabajando en un rango de flujo métrico de 87,5 L/s/m². Cambiando sus unidades:

$$87,5 \text{ l/s} * (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) * (3600 \text{ s} / 1 \text{ h}) = 315 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^2.$$

Sabemos que 1 m² de área de filtración es capaz de tratar un flujo métrico de 315 m³/h, por tanto si nuestro filtro posee un área de 5,18 m²:

$$5,18 \text{ m}^2 * (315 \text{ m}^3 / \text{h} / 1 \text{ m}^2) = 1631,7 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Flujo que trata cada filtro de arena, Modelo PS 545 = 1631,7 m³/h.

Elegimos este último filtro ya que nos permite un mayor rango de trabajo y versatilidad en el momento de aumento de la producción si fuera necesario.

Numero de filtros necesarios será igual a:

Numero de filtros = Caudal Total/ Caudal tratamiento de cada filtro.

$$N^{\circ}_{\text{filtros}} = 1000 \text{ (m}^3\text{/h)} / 1631,7 \text{ (m}^3\text{/h)} = 0,61 \text{ Filtros} = 1 \text{ Filtro por línea.}$$

Por lo tanto se van a colocar 1 filtros, por cada línea de producción; donde cada uno de ellos va a ser capaz de tratar unos 1631,7 m³/h, y a su vez se va a colocar un filtro que tan solo se va a utilizar cuando se este procediendo al lavado de alguno de los otros nueve.

Las dimensiones del mismo nos las facilita la propia empresa suministradora que se observan en el grafico, ver anexo correspondiente a filtración grosera.

La planta va a constar de un total de nueve filtros de arena todos con las mismas características, y van a tratar un caudal individual de 1000 m³/h, ya que se esta dividiendo la planta en líneas de producción, para obtener un caudal final de 9000 m³/h de tratamiento de agua en la misma.

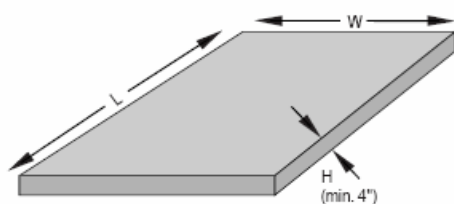
Otro aspecto a reseñar en los filtros es el tipo de arena o grava a utilizar, como ya mencionamos anteriormente lo más adecuado es hacer un estudio de planta piloto e ir comprobando con distintos tipos de lechos granulados y sus distintas configuraciones cual es el más adecuado.

Vamos a partir de unos filtros llenados con arena del modelo y tipo especificados en las tablas, suministradas por el fabricante; ver anexo.

Tomamos un tamaño de sílice de 0,48 mm, así somos capaces de eliminar una mayor suciedad en el agua de entrada a los módulos de osmosis inversa, al ser el lecho granulado uniforme y de un tamaño de partícula pequeño vamos a conseguir una mayor reducción y eliminación de suciedad y partículas indeseadas que con un tamaño mayor. Para finalizar con el diseño debemos de tener en cuenta la base donde se van a colocar estos filtros; la base que soporta la unidad de filtro debe estar nivelada y ser relativamente lisa.

La base deberá ser plana dentro de 1/8" orilla a orilla.

El tipo de fuerte o cemento recomendado es el grado comercial 5 - saco Redi-Mix. La base deberá ser de al menos 4" de espesor con cimientos de 6"x 6" en el perímetro. Se debe permitir un tiempo de curado suficiente. El cuadro de abajo provee las dimensiones mínimas de la base para los filtros solamente.



Número de Modelo	LARGO		ANCHO	
	Pulgadas	Metros	Pulgadas	Metros
PS 348	160	4.1	60	1.5
PS 448	220	5.6	60	1.5
PS 548	300	7.6	60	1.5
PS 648	350	8.9	60	1.5

11. Dosis Acido sulfúrico (H₂SO₄), Cal (Ca (OH)₂) y Cloruro de Calcio (CaCl₂):

El agua de alimentación tomada de la cántara de captación tiene un rango de pH comprendido entre 7,4-7,6; que son unos valores elevados para la utilización de la misma.

Las membranas solo pueden trabajar con un rango de 6,5-7; y el agua para consumo humano ha de cumplir un valor de pH comprendido entre 6,5 y 9,5; según el RD de 140/2003 de 7 de Febrero.

Por tanto debemos de bajar este valor para un correcto funcionamiento de la instalación y para el uso del agua.

El rechazo de sales de las membranas depende en cierta medida del pH, y el correcto funcionamiento de la membrana dependerá de las condiciones de entrada del agua a la misma, por ello debemos acondicionar el agua a los valores recomendados por el fabricante para el correcto funcionamiento.

El agua para consumo humano debe de cumplir el requisito establecido por el RD (Real Decreto), donde:

$$-\text{pH} = 6,5-9,5$$

$$-[\text{Ca}^{+2}] \geq 60 \text{ ppm.}$$

$$-[\text{HCO}_3^-] \geq 30 \text{ ppm.}$$

$$-[\text{Cl}^-] \leq 250 \text{ ppm.}$$

$$-[\text{Na}^+] \leq 200 \text{ ppm.}$$

$$-[\text{SO}_4^{2-}] \leq 250 \text{ ppm.}$$

$$-\text{Boro} \leq 1 \text{ ppm.}$$

$$-\text{Conductividad} \leq 2.500 \mu\text{S/cm a } 20^\circ\text{C}$$

El agua no debe de presentar un carácter ni agresiva ni incrustante, para ello se debe de determinar el Índice de Langelier, que debe de comprenderse entre +/-0,5. El agua producto o perneada cumple con lo establecido anteriormente excepto en el caso de su alcalinidad, contenido en calcio y su índice de incrustación. Es requisito indispensable corregir estos parámetros.

Para ello, el índice de Langelier se mide nos da un valor o cuantía de la agresividad del agua, así para valores negativos nos movemos en el rango de aguas no incrustantes o agresivas y para valores positivos todo lo contrario.

En el caso de agua destinada para consumo humano nos interesa un agua incrustante, así como su uso para la distribución por las tuberías, para ello se toma un valor de LSI (Langelier) de 0,2.

Para corregir el agua lo que se recomienda es añadir ácido sulfúrico (H_2SO_4), al agua bruta para corregir el pH y formar dióxido de carbono. Donde el dióxido de carbono pasa sin impedimentos a través de las membranas al tratarse de un gas disuelto.

Una vez tratada el agua con ácido sulfúrico y tras el paso por las membranas se le añade cal para convertir el dióxido de carbono en alcalinidad, al mismo tiempo que se aumenta su alcalinidad y pH.

La relación siguiente nos marca el índice de Langelier:

$$LSI = pH - pH_s$$

-pH = del agua tratada.

-pH_s = pH de saturación, o donde no se produce la precipitación del carbonato en el agua.

Para calcular el pH_s partiendo de la siguiente ecuación:

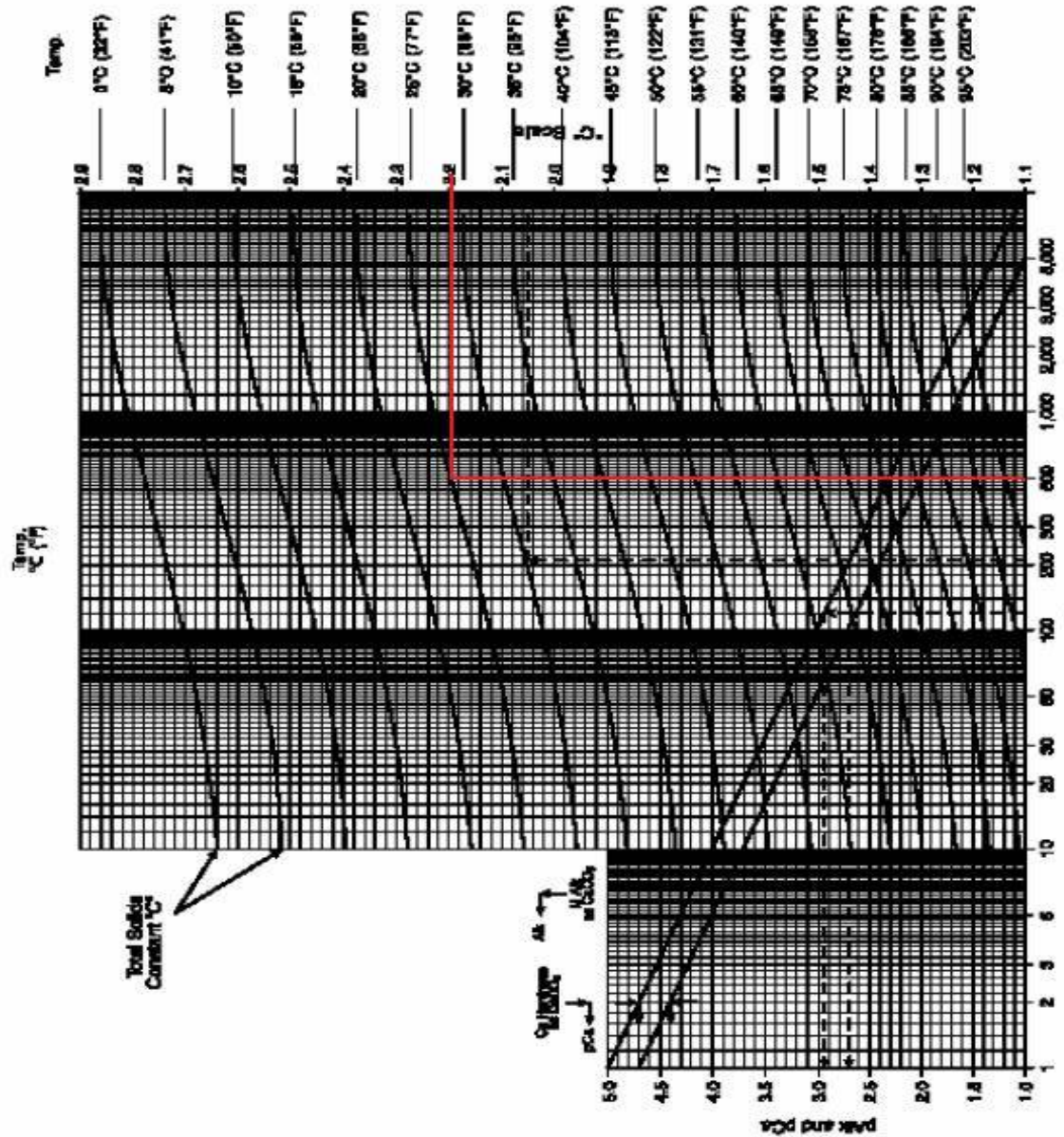
$$pH_s = pCa + pAlc + C$$

- pCa = - log [Ca⁺²] expresado en mol/l.
- pAlc = - log [HCO₃⁻] expresado en mol/l.
- C = Constante que depende de la temperatura y del contenido en sólidos disueltos totales.

Para nosotros, sabemos que la concentración de calcio recomendada por la OMS (Organización Mundial de la Salud), ronda el valor de los 60 ppm, por tanto:

- [Ca⁺²] = 60 ppm Ca (2,5 ppm CaCO₃/ 1 ppm Ca⁺²) = 150 ppm CaCO₃
= 1,498.10⁻³ M
- pCa = - log [1,498.10⁻³] = 2,82.
- pAlc, variable que vamos a obtener a partir del grafico:

Para una temperatura de operación igual a 25°C y un contenido en sólidos disueltos totales de aproximadamente 500 ppm (el permeado tiene 392,3 ppm y se le ha de añadir cal, suponemos un valor final de 500 ppm), tenemos un valor para la constante C:



El valor que se deduce del grafico para la constante C = 2,26, por tanto el valor del pH_s se puede obtener despejando de las relaciones anteriores;

$$pH_s = 2,82 + pAlc + 2,26$$

Buscándose un LSI = 0,2.

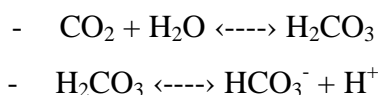
$$0,2 = pH - 5,084296 - pAlc.$$

Necesitamos un pH adecuado para el uso al que va a ser dedicado el agua producto para ello tomamos un valor de pH máximo en el agua producto de 8,5 ya que el máximo legal está en 9,5 y se debe de dar cierto margen de seguridad, así ya se puede determinar el valor en alcalinidad que va a tener el producto:

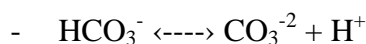
$$pAlc = 3,22.$$

Dando una concentración: $[HCO_3^-] = 6,085 \cdot 10^{-4} \text{ M}$ $CaCO_3 = 1,217 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ HCO_3^- ; $[HCO_3^-] = 74,28 \text{ ppm}$, cumpliéndose así con las exigencias de la OMS donde esta cantidad de $[HCO_3^-]$ debe ser mayor de 30 ppm.

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, a través de las constantes de disociación del ácido carbónico.

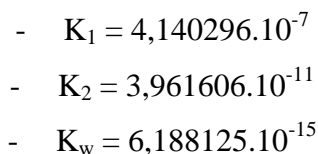


$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$



$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{-2}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

La primera constante de disociación que suele aparecer en la bibliografía engloba a los dos primeros términos en la constante de disociación del ácido carbónico. Estas constantes a la temperatura de operación de 20°C y el producto iónico del agua valen:



Podemos obtener la concentración de carbono total:

$C_{\text{total}} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{H}_2\text{CO}_3]$; donde el H_2CO_3 engloba al ácido carbónico y al dióxido de carbono disuelto, no se tendrán en cuenta a efectos de cálculo ya que uno por ser gas y otro por ser un compuesto sin carga atraviesan sin problemas las membranas.

$$C_{\text{total}} = [\text{HCO}_3^-] + \frac{K_2 [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} + \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{K_1} = [\text{HCO}_3^-] \left(1 + \frac{K_2}{[\text{H}^+]} + \frac{[\text{H}^+]}{K_1} \right)$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{C_{\text{total}} \cdot K_1 \cdot [\text{H}^+]}{K_1 K_2 + K_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{C_{\text{total}} K_1 K_2}{K_1 K_2 + K_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

$$[\text{CO}_2] = \frac{C_{\text{total}} [\text{H}^+]^2}{K_1 K_2 + K_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

Si el pH de salida esperado para el agua producto es de 8,5 por tanto:

Si el $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$, la concentración de protones $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$, obteniéndose una concentración de protones igual, $[\text{H}^+] = 3,1622 \cdot 10^{-9}$ M, y $[\text{HCO}_3^-] = 74,28 \text{ ppm} = 1,217 \cdot 10^{-3}$ M. Partiendo de esta característica de salida del agua producto podemos obtener la cantidad de carbono total que hay en el agua.

$$C_{\text{total}} = \frac{[\text{HCO}_3^-] (K_1 K_2 + K_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2)}{K_1 \cdot [\text{H}^+]}$$

$$1,2173 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,961606 \cdot 10^{-11} + 4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,1622 \cdot 10^{-9} + (3,1622 \cdot 10^{-9})^2}{4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,1622 \cdot 10^{-9}} \right)$$

Obteniéndose un valor de $C_{\text{total}} = 1,2419 \cdot 10^{-3} \text{M}$.

Contenido en carbono total que ha de contener el permeado y que ha de proceder del dióxido de carbono formado al añadir ácido sulfúrico al agua de alimentación. El dióxido de carbono formado se va a distribuir por igual tanto en el permeado como en el rechazo, tiene la misma concentración que el agua bruta acidificada. Necesitamos formar $1,2419 \cdot 10^{-3} \text{M}$ de dióxido de carbono, de esta forma podemos calcular el pH al que debemos de llevar el agua de alimentación (agua de mar bruta) para formar $1,2419 \cdot 10^{-3} \text{M}$ de CO_2 .

Para nuestro caso, se calcula el contenido de carbono total en el agua bruta, se calculara partiendo del pH inicial del agua y su salinidad.

$$\text{pH inicial} = 8,5; \text{ por tanto } [\text{H}^+] = 10^{-8,5} = 3,162 \cdot 10^{-9} \text{ M.}$$

La concentración de $[\text{HCO}_3^-]_{\text{agua de alimentación}} = 158,6 \text{ ppm} = 2,601 \cdot 10^{-3} \text{M}$.

$$C_{\text{total agua alimentación}} = \frac{[\text{HCO}_3^-] (K_1 K_2 + K_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2)}{K_1 \cdot [\text{H}^+]}$$

$$2,6 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{1,64022 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,162 \cdot 10^{-9} + (3,162 \cdot 10^{-9})^2}{4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,162 \cdot 10^{-9}} \right)$$

$$C_{\text{total agua alimentación}} = 2,6524 \cdot 10^{-3} \text{ M.}$$

El pH al que vamos a llevar el agua de alimentación esta marcado por la concentración de $\text{CO}_2 = 1,2419 \cdot 10^{-3} \text{M}$, partiendo de la ecuación anterior:

$$[\text{CO}_2] = \frac{C_{\text{total}} [\text{H}^+]^2}{K_1 K_2 + K_1 [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2}$$

$$1,2419 \cdot 10^{-3} = \left(\frac{2,6524 \cdot 10^{-3} * [\text{H}^+]^2}{1,64022 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2} \right)$$

$$2,03698 \cdot 10^{-20} + 5,14183 \cdot 10^{-10} * [\text{H}^+] + 1,2419 \cdot 10^{-3} * [\text{H}^+]^2 = 2,6524 \cdot 10^{-3} * [\text{H}^+]^2$$

$$1,4105 \cdot 10^{-3} * [\text{H}^+]^2 - 5,14183 \cdot 10^{-10} * [\text{H}^+] - 2,03698 \cdot 10^{-20} = 0$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado, se obtiene un valor de $[\text{H}^+] = 4,5087 \cdot 10^{-7} \text{ M}$.

Dando un pH del agua acidificada en la entrada:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = 6,34.$$

$$\text{pH}_{\text{agua acidificada}} = 6,34.$$

Se va a producir una bajada del pH del agua de alimentación de 8,5 a 6,34, debido a la acidificación de la misma con el ácido sulfúrico (H_2SO_4), para esta reducción utilizaremos un ácido sulfúrico al 98%. Una vez calculado este valor debemos de saber cual es la dosis necesaria que debemos añadir para que el agua alcance este valor, para ello nos basaremos en el hecho de que la electroneutralidad debe conservarse al añadir el ácido; se debe de producir que la carga total de cationes en el agua debe de ser igual a la carga total de aniones para así obtener un agua neutra.

Carga total aniones = Carga total de cationes.

$$[\text{OH}^-] + [\text{Cl}^-] + [\text{F}^-] + 2[\text{SO}_4^{-2}] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{-2}] = [\text{H}^+] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + 2[\text{Ca}^{+2}] + 2[\text{Mg}^{+2}]$$

La sílice se encuentra en su mayoría en forma de H_4SiO_4 , en forma coloidal, disuelta y coloidal; tan solo una pequeña fracción se encuentra como H_3SiO_4^- , por lo que se desprecia en este balance.

Ahora se calculan los distintos parámetros para este balance:

$$[\text{OH}^-] = K_w/[\text{H}^+] = 6,188125 \cdot 10^{-15} / 4,5087 \cdot 10^{-7} = 1,3724 \cdot 10^{-8} \text{ M.}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \left(\frac{1,24 \cdot 10^{-3} * 4,140296 \cdot 10^{-7} * 4,5087 \cdot 10^{-7}}{1,64022 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} * 4,5087 \cdot 10^{-7} + (4,5087 \cdot 10^{-7})^2} \right)$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 5,9356 \cdot 10^{-4} \text{ M.}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \left(\frac{1,24 \cdot 10^{-3} * 4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,961606 \cdot 10^{-11}}{1,64022 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} * 4,5087 \cdot 10^{-7} + (4,5087 \cdot 10^{-7})^2} \right)$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 5,2154 \cdot 10^{-8} \text{ M.}$$

Introduciendo los datos de las distintas concentraciones de aniones y cationes en el balance de cargas:

$$[\text{OH}^-] + [\text{Cl}^-] + [\text{F}^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{H}^+] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + 2[\text{Ca}^{+2}] + 2[\text{Mg}^{+2}]$$

$$4,5007 \cdot 10^{-7} + 0,531834 + 0,03547 + 2(0,01120) + 2(0,05707) = 1,3724 \cdot 10^{-8} + 2[\text{SO}_4^{2-}]$$

$$+ 0,60718 + 2,02289 \cdot 10^{-3} + 2(5,3034 \cdot 10^{-7}).$$

$$0,7038 = 0,60920 + 2[\text{SO}_4^{2-}]$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 0,09454 / 2 = 0,0472$$

$$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{agua acidificada}} = 0,04 \text{ M}$$

La cantidad de sulfatos en el agua acidificada es la suma del contenido inicial en sulfatos y el añadido en forma de ácido sulfúrico. Por tanto la cantidad de sulfatos añadido al agua de entrada o alimentación:

$$[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{añadido}} = [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{agua acidificada}} - [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{inicial}} = 0,04 - 0,02807 = 0,011 \text{ M} = 1068 \text{ ppm.}$$

Cuando se añade ácido sulfúrico al agua de alimentación se va a producir en esta agua la producción de sulfatos, por cada ppm de ácido sulfúrico se produce 1 ppm de sulfatos por lo que el valor anterior es la dosis de ácido al 100%, que se debe de añadir; para trabaja con el ácido se recurrió a un ácido de una pureza del 98%, por tanto:

$$\text{Dosis al 98\% de H}_2\text{SO}_4 = 1068 / 0,98 = 1090 \text{ ppm.}$$

Para mayor seguridad en la acidificación del agua se va a tomar un 10% de seguridad sobre la dosis, para evitar las posibles variaciones que se puedan dar en el agua de alimentación. Con el dióxido de carbono no existe ningún tipo de problema de que se formen burbujas de dióxido de carbono, su solubilidad a 20°C y 1bar es de 88ml CO₂/l.

$$\text{Dosis final de H}_2\text{SO}_4 = 1199 \text{ ppm.}$$

Una vez que tenemos acondicionado el agua de alimento para las membranas debemos de acondicionar el permeado para obtener un pH_{producto} de 8,5 y un contenido en bicarbonato de 74,28 ppm como se calculo anteriormente.

Con el permeado al igual que con el agua producto se debe de conservar la electroneutralidad al añadir cal al agua permeada:



Tenemos un pH de un valor igual a 8,5:

$$[\text{H}^+] = 10^{-8,5} = 3,16227 \cdot 10^{-9} \text{ M}$$

Necesitamos conocer el valor de las distintas especies (aniones y cationes); para ello nos basamos en el balance a las mismas para obtener sus concentraciones; calculado en el anexo correspondiente:

<i>Cationes Y Aniones</i>	<i>Salinidad del producto mg/L</i>
Sodio(Na ⁺)	108,26
Magnesio(Mg ⁺²)	30,42
Calcio(Ca ⁺²)	3,99
Potasio(K ⁺)	28,16
Cloro(Cl ⁻)	191,61
SO ₄ ⁻²	40,36
HCO ₃ ⁻¹	74,28
F ⁻	0,01
TDS _R	477,09

$$[\text{Na}^+] = 108,26 \text{ mg/l} = 4,709 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{K}^+] = 28,16 \text{ mg/l} = 7,2205 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$[\text{Mg}^{+2}] = 30,42 \text{ mg/l} = 1,25185 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{OH}^-] = K_w / [\text{H}^+] = 6,188125 \cdot 10^{-15} / 3,16227 \cdot 10^{-9} = 1,95686 \cdot 10^{-6} \text{ M}$$

$$[\text{Cl}^-] = 191,61 \text{ mg/l} = 5,397 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{F}^-] = 0,01 \text{ mg/l} = 5,2910 \cdot 10^{-7} \text{ M}$$

$$[\text{SO}_4^{-2}] = 40,36 \text{ mg/l} = 4,2041 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 74,28 \text{ ppm} = 1,21735 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{CO}_3^{-2}] = \left(\frac{1,24 \cdot 10^{-3} * 4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,961606 \cdot 10^{-11}}{64022 \cdot 10^{-17} + 4,140296 \cdot 10^{-7} * 3,961606 \cdot 10^{-11} + (3,961606 \cdot 10^{-11})^2} \right)$$

$$[\text{CO}_3^{-2}] = 1,522724 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

Introduciendo todos los valores en el balance de cargas:

$$3,16227 \cdot 10^{-9} + 4,709 \cdot 10^{-3} + 7,2205 \cdot 10^{-4} + 2[\text{Ca}^{+2}] + 2(1,25185 \cdot 10^{-3}) = 1,95686 \cdot 10^{-6} + 5,397 \cdot 10^{-3} + 5,2910 \cdot 10^{-7} + 2(4,2041 \cdot 10^{-4}) + 1,21735 \cdot 10^{-3} + 2(1,522724 \cdot 10^{-5})$$

$$3,225 \cdot 10^{-3} + 2[\text{Ca}^{+2}] = 7,48811 \cdot 10^{-3}$$

$$[\text{Ca}^{+2}]_{\text{producto}} = 2,1315 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Sabemos que la concentración de calcio en el agua se debe al calcio producto y al que se encuentra en el permeado, por tanto la concentración de calcio a añadir:

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

$$[\text{Ca}^{+2}]_{\text{añadido forma cal}} = 2,1315 \cdot 10^{-3} - 9,955 \cdot 10^{-5} - 1,2518 \cdot 10^{-3} = 7,62098 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{Dosis de Ca(OH)}_2 = 7,62098 \cdot 10^{-4} \text{ M (74,09474g/ 1mol Ca(OH)}_2)$$

$$\text{Dosis de Ca (OH)}_2 = 56,46 \text{ ppm de cal pura.}$$

La cal comercial que podemos encontrar en el mercado ronda una pureza del 85-99%; eligiendo Ca (OH)₂ al 90% rondando el grado alimenticio, por tanto la dosis comercial es:

$$\text{Dosis Ca (OH)}_2 \text{ al 90\%} = 56,46 \text{ ppm} / 0,90 = 63 \text{ ppm.}$$

Tomándose una dosis sobre dimensionada como ya hicimos en el caso del ácido sulfúrico, para evitar las posibles perturbaciones que se puedan dar; esta dosis será de 70 ppm en Ca (OH)₂ al 90%.

Según el RD mencionado a principios de este anexo se puede comprobar que el agua para consumo humano debe de tener un mínimo de 60 ppm de calcio, exigido por Ley, para llegar a este mínimo se debe de añadir cloruro calcico. El contenido en calcio antes de añadir este, viene dado por la concentración de (Ca⁺²+Mg⁺²), añadir un exceso de cal nos llevaría a valores de pH demasiado altos que no son permitidos.

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

$$[\text{Ca}^{+2}]_{\text{como CaCl}_2} = 60 - 44,41 = 15,59 \text{ ppm} = 3,897 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{Dosis CaCl}_2 \text{ al 100\%} = 3,897 \cdot 10^{-4} (110,986 \text{ gr/ 1 mol CaCl}_2) = 43,25 \text{ ppm.}$$

El grado alimentario del cloruro de calcio es de un 94%, por tanto:

Dosis CaCl_2 al 94% = 46,01 ppm + 10% de seguridad = 51 ppm.

La composición final del agua tras añadir cloruro de calcio e hidróxido de calcio e ajustar todos los parámetros necesarios para la utilización del agua antes de utilizar el hipoclorito sodico.

<i>Cationes Y Aniones</i>	<i>Salinidad del producto mg/L</i>
Sodio(Na^+)	108,26
Magnesio(Mg^{+2})	30,42
Calcio(Ca^{+2})	85,43
Potasio(K^+)	28,16
Cloro(Cl^-)	191,61
SO_4^{-2}	40,36
HCO_3^{-1}	74,28
F^-	0,01
TDS_R	528,12
pH	8,5

Supusimos un contenido en TDS_R de 500 ppm, dando un valor de la constante $C= 2,26$; para el valor dado de TDS_R de 528,12 se obtiene un valor de $C= 2,29$.

La diferencia existente es mínima, por lo que se da por bueno los cálculos.

12. Dosificación de Acido sulfúrico H₂SO₄.

El ácido sulfúrico se introduce en la tubería de conducción antes de realizar la operación de filtrado, para así garantizar una buena difusión entre el ácido y el agua de entrada a la planta.

La dosis determinada en su anexo correspondiente es de 1200 ppm, que se deben de añadir al agua para reducir su pH inicial de 8,5 hasta un valor de 6,34.

El caudal de ácido vendrá dado por:

$$1200 \text{ ppm} \cdot Q_{\text{entrada}} = 1200 \text{ gr/m}^3 \cdot 9000 \text{ m}^3/\text{h} = 10791 \text{ Kg/h.}$$

Conocido la densidad y viscosidad del ácido para una temperatura de 20°C:

- $\mu_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,027 \text{ Kg/ m.s.}$
- $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3.$

$$10791 \text{ (Kg/h)} \cdot 1 / 1,8 \cdot 10^3 \text{ (Kg/m}^3) = 5,9976 \text{ m}^3/\text{h} \approx 6 \text{ m}^3/\text{h} = 144 \text{ m}^3/\text{d.}$$

Asumiendo una relación altura/diámetro igual a 1,5 podemos calcular la altura y el diámetro útil que ha de tener el recipiente; basándonos en la norma de diseño ASME Boiler Pressure Vessel y ASME B31.3-2002(Pressure Pipping).

La forma geométrica del tanque es cilíndrica, conocido el volumen podemos obtener el radio del mismo:

$$V = 3 \Pi R^3 \text{ -----} \rightarrow R = (V / 3 \Pi)^{1/3}$$

$$R = (144 / 3 \Pi)^{1/3} = 2,48 \approx 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro del cilindro} = 5 \text{ m.}$$

$$H / D = 1,5$$

$$\text{Altura útil del cilindro} = 7,5 \text{ m.}$$

Solución propuesta:

Estas dimensiones serán para un solo tanque, se van a colocar dos tanques con una autonomía cada uno de ellos para 12 horas de operación. Por tanto, cada tanque debe de suministrar un caudal de $6 \text{ m}^3/\text{h}$, con unas dimensiones cada uno de ellos de 2,5 m de diámetro y una altura de 3,75 m. Cada tanque será diseñado para suministrar este caudal de diseño con todas las garantías de funcionamiento y operatividad.

La conducción de salida del tanque se va a dividir en nueve ramas de entradas a la tuberías de captación de agua, conectando cada tubería de alimentación de las 9 bombas suministradoras, cada un de ellas recibiendo un caudal de $0,66 \text{ m}^3/\text{h}$.

13. Dimensionado Tanques de Almacenamiento de Acido Sulfúrico (H_2SO_4):

Existen numeroso recipientes que se utilizan en las plantas industriales que se utilizan en las plantas de procesos, algunos de estos tiene la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen de algún proceso, este tipo de recipientes son llamados en general tanques.

Para el diseño de estos tanques nos fundamentamos en el Real Decreto 769/1999, de 7 de Mayo por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979 de 4-4-1979, que aprobó el Reglamento de Aparatos a presión. Por el código Internacional CÓDIGO ASME SECCION VIII DIVISION 1 *ANSI/ASME BPV Code-VIII-1 (2000)*.

REAL DECRETO 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.

Datos generales del diseño:

Presión de diseño, debe de ser en todo caso mayor a la máxima de operación o servicio. Su valor se fija como el valor asignado según el cuadro:

OPERACION	DISEÑO
0-1,5	3,5 Kg/ cm ² Manométrico
1,6-13,5	2 Kg/ cm ² + P.O.(Presión de Operación)
13,6-20	115% de P.O.
20.1-25	3 Kg/ cm ² + P.O.
≥ 25,1	112% de P.O.

Para nuestro caso donde los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico están sometidos a la presión atmosférica con un valor de 1,03 Kg/cm²; tomamos un valor de diseño de 3,5 Kg/cm².

Al igual que en el apartado anterior, la temperatura de diseño debe ser superior a la máxima que se produzca durante la operación, se adopta como temperatura de diseño:

$$T_{\text{Diseño}} = \text{Máxima Temperatura de operación} + 20^{\circ}\text{C} = 40^{\circ}\text{C}.$$

Por norma o código se debe de fijar un valor mínimo del espesor de las envolventes, excluido el sobreespesor por corrosión admisible de las envolventes y fondos, será:

Para aceros inoxidables de t_{min} : 3 mm.

Los recipientes a presión se calculan con un espesor de pared capaz de soportar sin deformación la presión a la que se verán sometidos. Es decir, que la presión a la que trabaja el material sea inferior a la máxima tensión admisible del mismo.

Esta tensión máxima admisible depende de las características del material, variando con la temperatura de trabajo. Para el código ASME VIII, Div.1, para los materiales ASTM-ASME, existe unas tablas donde según el tipo de material se obtiene esta tensión máxima admisible.

En la siguiente tabla podemos observar distintas temperaturas de operación con distintas clases de aceros o materiales, para nuestro diseño con una temperatura de operación de 104° F, nos situaríamos en un rango que nos da un tipo de material no adecuado, para la sustancia que en el mismo se almacena, asignando como material más adecuado para el almacenamiento de ácido sulfúrico, el acero inoxidable y lo tomamos a una temperatura mayor de la de operación, garantizando una mayor seguridad al sistema.

	Temperatura de diseño, °F	Material	Placa	Tubo	Forjados	Accesorios	Tornillería	
Criogénico	-425 hasta -321	Acero inoxidable	SA-240 304, 304L, 347 316, 316L	SA-312- 304, 304L, 347, 316, 316L	SA-182- 304L, 347 316, 316L	SA-403 304, 304L, 347, 316, 316L	SA-320-B8 con SA-194-8	
	-320 hasta -151	níquel 9	SA-353	SA-333-8	SA-522-1	SA-420-WPL8		
Baja temperatura	-150 hasta -76	níquel 3½	SA-203-D	SA-333-3	SA-350-LF63	SA-420-WPL3	SA-320-L7 con SA-194-4	
	-75 hasta -51	níquel 2½	SA-203-A					
	-50 hasta -21	Acero al carbono	SA-516-55, 60 hasta SA-20	SA-333-6	SA-350-LF2	SA-420WPL6		
	-20 hasta 4		SA-516 todos	SA-333-1 a 6				
	5 hasta 32		SA-285-C					
Intermedio	33 hasta 60 61 hasta 775	Acero al carbono	SA-516 todos SA-515 todos SA-455 todos	SA-53-B SA-106-B	SA-105 SA-181-60, 70	SA-234-WPB	SA-193-B7 con SA-194-2H	
	776 hasta 875		C-½Mo	SA-204-B	335-P1	SA-182-F1		SA-234-WP1
Alta temperatura	876 hasta 1000	1Cr-½Mo	SA-387-12-1	SA-335-P12	SA-182-F12	SA-234-WP12	con SA-193-B5 SA-194-3	
		1½C-½Mo	SA-387-11-2	SA-335-P11	SA-182-F11	SA-234-WP11		
	1001 hasta 1100	2½C-1Mo	SA-387-22-1	SA-335-P22	SA-182-F22	SA-234-WP22		
	1101 hasta 1500	Acero inoxidable	SA-240-347H	SA-312-347H	SA-182-347H	SA-403-347H		SA-193-B8 con SA-193-B8
		Incoloy	SB-424	SB-423	SB-425	SB-366		
	Arriba de 1500	Inconel	SB-443	SB-444	SB-446	SB-366		

De Bednar, H. H., *Pressure Vessel Design Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York, 1981.

También debemos de fijarnos en la matriz fluido/
material:

Table B-1. Fluid/Material Matrix

EM-1110-1-4008
5 May 99

FLUID/MATERIAL	Sulfuric Acid 95%	Sulfuric Acid 98%	Sulfuric Acid 100%	Sulfuric Acid 103%	Sulfuric Acid, Fuming	Sulfurous Acid	Tetrachloroethane
METALS							
Aluminum	U	U	U		32 (90)	187 (370)	15 (60)
Bronze	U	U	U		U	U	
Carbon Steel	32 (90)	38 (100)	43 (110)			U	26 (80)
Copper		U	U		U	38 (100)	15 (60)
Ductile Iron, Pearlitic	49 (120)	121 (250)	163 (325)				
Hastelloy C	143 (290)	98 (210)	87 (190)		32 (90)	187 (370)	71 (160)
Inconel	U	U	U	U	U	32 (90)	
Monel	U	U	U	U	U	U	
Nickel	U	U	U		U	U	
304 SS	32 (90)	26 (80)	26 (80)	U	32 (90)	U	26 (80)
316 SS	98 (210)	98 (210)	98 (210)	32 (90)	98 (210)	65 (150)	15 (60)

Por tanto los aceros inoxidable que son validos para el diseño del tanque son: SA-182, SA- 347H; partiendo como material adecuado para la fabricación del mismo con el acero SA-316; encontramos la siguiente tabulación donde podemos observar su composición en 1^{1/4}Cr-1/2 Mo-Si, grado F11 (K11597)

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;* AND SECTION VIII, DIVISION 1
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Min. Tensile Strength, ksi	Min. Yield Strength, ksi	Applic. and Max. Temp. Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only)			External Pressure Chart No.	Notes
			I	III	VIII-1		
1	55	33	1200	700	1200	CS-2	S4, T5
2	55	33	NP	700	NP	CS-2	G26, W10, W12
3	60	30	NP	700	NP	CS-2	G17
19
20	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Forgings	SA-182	F11	K11597	1 ... 4 1
21	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Sms. tube	SA-213	T11	K11597	... 4 1
22	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Sms. & wld. fittings	SA-234	WP11	... 1 ...	4 1
23	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Wld. tube	SA-250	T11	K11597	... 4 1
24	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Wld. tube	SA-250	T11S1	K11597	... 4 1
25	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Sms. pipe	SA-335	P11	K11597	... 4 1
26	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Forgings	SA-316	F11	K11597	1 ... 4 1
27	1 ^{1/4} Cr- ^{1/2} Mo-Si	...	Forged pipe	SA-369	FP11	K11597	... 4 1

A02
A02

Remitiéndose a la Línea 4 de las siguientes tabulaciones:

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;* AND SECTION VIII, DIVISION 1
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Min. Tensile Strength, ksi	Min. Yield Strength, ksi	Applic. and Max. Temp. Limits (NP = Not Permitted) (SPT = Supports Only)			External Pressure Chart No.	Notes
			I	III	VIII-1		
1	55	33	1200	700	1200	CS-2	S4, T5
2	55	33	NP	700	NP	CS-2	G26, W10, W12
3	60	30	NP	700	NP	CS-2	G17
23	60	30	1200	NP	NP	CS-2	G3, S4, T5
24	60	30	1200	NP	NP	CS-2	S4, T5, W13
25	60	30	1200	700	1200	CS-2	S4, T5
26	60	30	1200	NP	NP	CS-2	G18, S4, T5
27	60	30	1200	700	1200	CS-2	S4, T5

TABLE 1A (CONT'D)
SECTION I; SECTION III, CLASS 2 AND 3;* AND SECTION VIII, DIVISION 1
MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES S FOR FERROUS MATERIALS
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temperature, °F, Not Exceeding													
	-20 to 100	150	200	250	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900
23	14.5	...	14.5	...	14.5	14.3	13.8	13.3	13.1	12.8	12.6	12.2	11.9	11.6
24	17.1	...	17.1	...	17.1	16.8	16.2	15.7	15.4	15.1	14.8	14.4	14.0	13.6
25	17.1	...	17.1	...	17.1	16.8	16.2	15.7	15.4	15.1	14.8	14.4	14.0	13.6
26	17.1	...	17.1	...	17.1	16.8	16.2	15.7	15.4	15.1	14.8	14.4	14.0	13.6

Dando un valor del esfuerzo máximo admisible = 17100 psi ≈ 17,1 Kpsi.

La unión entre chapas se realiza, normalmente, por medio de la soldadura, y esta representa una discontinuidad dentro del trazado de chapa que puede producir una intensificación local de las tensiones a que se encuentra sometido el material. Esa razón, junto con la posibilidad de producirse defectos en la realización de la soldadura y el calentamiento y rápido enfriamiento al que está sometida la zona próxima a la soldadura, dan pie a considerar la zona de soldadura como debilitada.

En el cálculo de los tanques de almacenamiento a presión, se introduce una reducción en la tensión máxima admisible multiplicado está por un coeficiente denominado eficiencia de soldadura (E), cuyo valor varia según el caso:

DISEÑO DE JUNTAS SOLDADAS (CONT.)				
CONDICION DE DISEÑO	TIPO DE SOLDADURA	EXAMEN RADIOGRAFICO	EFICIENCIA DE JUNTA	TRATAMIENTO TERMICO DESPUES DE LA SOLDADURA
3. El recipiente se diseña para presión externa únicamente o el diseño está basado en UW-12(c) (ver tabla).	Cualquier junta soldada UW-11(c).	No se requiere examen radiográfico.	0.70 Tipo (1) 0.65 Tipo (2) 0.60 Tipo (3) 0.55 Tipo (4) 0.50 Tipo (5) 0.45 Tipo (6) En todos los demás cálculos de diseño se usará el 80% del valor de esfuerzo del material.	Por la norma UCS-56.
4. Recipientes que contengan sustancias tóxicas y peligrosas UW-2(a).	Las juntas A serán del tipo (1), UW-2(a)(1)(a). Las juntas B y C serán del tipo No. (1) o No. (2) UW-2(a)(1)(b). Las juntas D llevarán soldadura de penetración total a través de todo el espesor de la pared del recipiente o la boquilla UW-2(a)(1)(c).	Completo Todas las juntas a tope en cascos y cabezas deben examinarse radiográficamente por completo, excepto los tubos de intercambiadores y los intercambiadores UW-2(a)(2), (3) y UW-11(a)(4)	1.0 0.9*	Los recipientes fabricados de aceros al carbón o con bajo contenido de aleación deben tratarse térmicamente después de haberse soldado, UW-2(c).

La eficiencia de soldadura $E = 0,9$

La presión interna en un elemento cilíndrico produce dos tipos de tensiones: circunferenciales o transversales y axiales o longitudinales; siendo el valor de las primeras doble que el de las segundas. Por lo tanto, cuando en las diferentes normas o códigos se incluyen las formulas que definen el espesor exigido, estas están basadas en las tensiones circunferenciales que se producen, por ser superiores los espesores requeridos debido a éstas.

Calculando la presión de trabajo:

$$P = P_{\text{Diseño}} + (H \cdot \rho / 10^4) \text{ en Kg/cm}^2.$$

$$P = 3,5 + (3750 \cdot 1,8 \cdot 10^3 / 10^4) = 678,5 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$P_{\text{trabajo del tanque H}_2\text{SO}_4} = 678,5 \text{ Kg/cm}^2.$$

Siendo:

-P = Presión de diseño o proyecto más presión de la columna e líquido.

-P_{Diseño} = Presión de diseño asignada por norma.

-H = altura de los tanques o columna de líquido en mm.

-ρ = densidad del líquido en Kg/m³.

Partiendo de:

$$t = (P_{\text{trabajo}} R_i) / (2SE - 0,2 P_{\text{trabajo}})$$

$$t = (670,5 \cdot 49,21) / (2 \cdot 17000 \cdot 0,9 - 0,2 \cdot 670,5)$$

$$t = 1,083'' \approx 0,027 \text{ m}$$

$$t = 27,5 \text{ mm} + 20\% \text{ corrosión} = 33 \text{ mm}.$$

Todo recipiente sometido a presión debe ser comprobado antes de su puesta en operación. La comprobación consiste en ensayos no destructivos, tales como radiografiados, comprobación con líquidos penetrantes y partículas magnéticas de las soldaduras, y una prueba hidráulica del recipiente a una presión mayor que la de proyecto.

Para el código ASME VIII Div.1, la presión de prueba es:

$$P_{Hm} = 1,5. P. (S_a/S)$$

Siendo:

- P_{Hm} = Presión Hidráulica mínima, Kg/cm².
- P = Presión de diseño o proyecto, Kg/cm².
- S = Tensión admisible a temperatura de diseño, Kg/cm².
- S_a = Tensión admisible a temperatura ambiente, Kg/cm².

$$P_{Hm} = 1,5 \cdot 678,5 (1700/1700)$$

$$P_{Hm} = 1017,75 \text{ Kg/cm}^2.$$

El reglamento español de aparatos a presión requiere, además de una prueba inicial, otra periódica a una presión de:

$$P_{Hp} = 1,3. P. (S_a/S)$$

$$P_{Hp} = 1,3 \cdot 678,5 \cdot 1 = 882,05 \text{ Kg/cm}^2.$$

Al igual que la presión interna o externa, el viento produce unas tensiones en las paredes del recipiente que pueden producir la inestabilidad mecánica del mismo.

El valor de las cargas uniformas son función del área expuesta y de la presión que el viento ejerce sobre esta área denominada presión de diseño del viento. La determinación de estas cargas unitarias se lleva a cabo con la siguiente expresión:

$$Q = (D_0/ 10^3) P_w$$

Siendo:

- Q = carga al viento por metro lineal de altura, Kg/m.
- D_0 = diámetro del recipiente, incluido aislamiento, si lo hay en mm.
- P_w = presión de diseño del viento, en Kg/m².

La presión de diseño P_w , es función de la presión básica del viento (p), de la forma del recipiente, de la esbeltez y de los accesorios externos del recipiente pudiendo concertarse todo ello en la fórmula:

$$P_w = p c K r$$

Siendo:

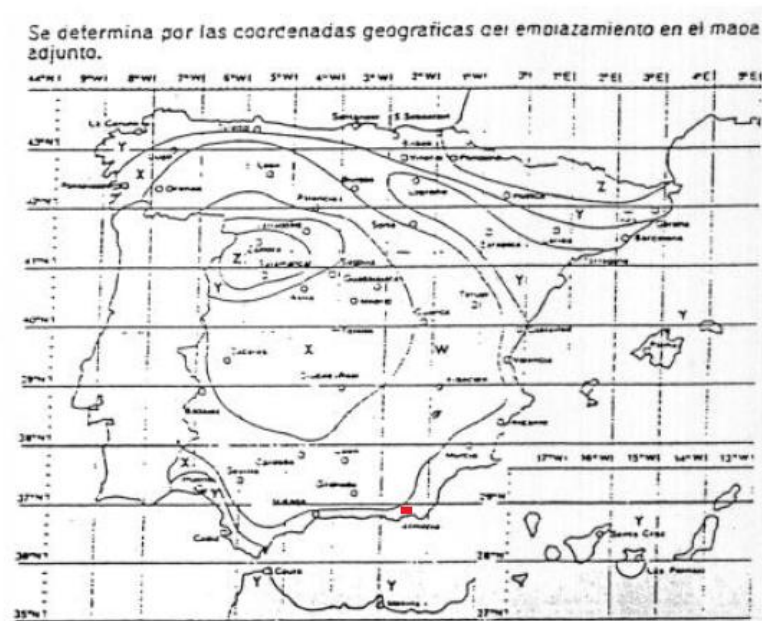
- p = presión básica del viento, Kg/m^2 .
- c = factor de forma.
- K = coeficiente de esbeltez.
- r = coeficiente de accesorios.

La presión básica de viento es función del viento y de la elevación sobre el suelo, genéricamente tenemos la siguiente expresión:

$$p = p_0 K_a$$

Siendo:

- p_0 = presión básica del viento a la altura del suelo, Kg/m^2 . (Graficado).
- K_a = factor de altura. (Tabulado).



Una vez que tenemos determinada la zona de viento en donde se va a localizar o emplazar los distintos tanques de almacenamiento podemos determinar la carga de viento en Kg/m².

Carga total de viento q en kg/m²

Zona eólica:	W		X		Y		Z	
Situación topográfica:	Normal	Expuesta	Normal	Expuesta	Normal	Expuesta	Normal	Expuesta
60	100	110	111	122	123	135	136	149
57	99	109	110	121	122	134	135	148
54	98	108	109	120	121	133	134	147
51	97	107	108	119	120	132	132	146
48	96	106	107	118	119	131	131	144
45	95	105	106	117	118	129	130	143
42	94	104	105	116	116	128	129	141
39	92	102	103	114	114	126	126	138
36	91	100	102	112	113	124	124	137
33	90	99	101	111	112	123	123	135
30	89	98	100	110	110	121	122	134
27	88	96	98	107	109	119	120	131
24	86	95	96	106	107	117	118	129
21	84	92	93	103	104	114	114	125
18	81	89	90	99	100	110	110	121
15	76	83	84	93	94	103	103	114
12	71	78	79	87	88	96	97	108
9	65	72	73	80	81	89	89	97
6	60	66	67	74	74	82	82	90
3	53	59	60	66	66	73	73	80

Obteniéndose una carga de viento de 60 Kg/m²; tomamos el mayor valor de los dos para casos desfavorables y lo aumentamos en un 10% de seguridad.

Por lo tanto la carga de viento, p₀ = 66 Kg/m².

Como el valor del factor de altura se adopta usualmente los siguientes:

Altura sobre el suelo, en m	K_a
De 0 a 15	1
De 16 a 25	1,15
De 26 a 40	1,3
> 40	1,5

En nuestro caso $K_a = 1$.

Factor de forma c :

Es función de la forma expuesta al viento (carcasa), y en las torres y recipientes su valor es:

Área expuesta	c
Cilíndrica(superficie lisa)	0,6
Cilíndrica(superficie rugosa)	0,8
Esférica	0,45

$C = 0,6$.

El coeficiente de esbeltez es función de la relación entre la altura H y el diámetro exterior D_0 expuesto al viento. Su valor se indica a continuación:

Esbeltez H/D_0	Factor K
De 1 a 5	1
10	1,25
30	1,35
≥ 70	1,5

La esbeltez resultante de dividir la altura del mismo, $H = 3,75$ m y un diámetro $D_0 = 2,5$ m, por tanto $H/D_0 = (3,75/2,5) = 1,5$; por tanto $K = 1$.

Para tener en cuenta el efecto de suma de área que produce las tuberías soportadas, las plataformas, escaleras y, en general, cualquier accesorio exterior a las torres o recipientes se introduce un coeficiente que compensa estas acciones y cuyo valor se obtiene a partir del siguiente cuadro:

Diámetro D_0 en mm.	r
< 399	1,4
De 400 a 599	1,3
De 600 a 999	1,2
> 1000	1,15

$$r = 1,15$$

Por tanto:

$$P_w = p \cdot c \cdot K \cdot r$$

$$p = p_0 \cdot K_a = 66 \text{ (Kg/m}^2\text{)} \cdot 1 = 66 \text{ Kg/m}^2.$$

$$P_w = 66 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1,15 = 45,54 \text{ Kg/m}^2.$$

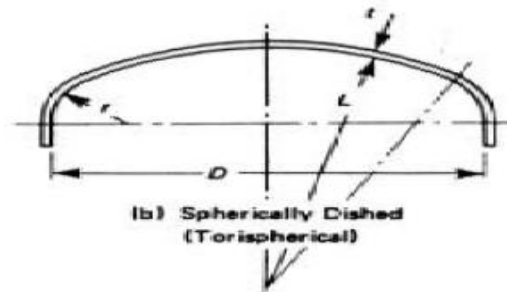
$$\text{Así el valor de } Q = (2500 / 10^3) \cdot 45,54 \text{ Kg/m}^2.$$

$$Q = 113,85 \text{ Kg/m}.$$

La tapa superior va a tener las siguientes características: del tipo Toriesféricas, ya que son las de mayor aceptación e la industria, a su bajo coste y a que son capaces de soportar grandes presiones. Se construyen mediante una figura de revolución cuyo perfil interno se obtiene mediante dos radios de curvatura con centros diversos. Y el fondo del tanque es plano, consiste en una chapa plana soldada directamente a la carcasa.

Características de la tapa; (Korbogen Boden):

- $L = 0,8 D_0 = 2 \text{ m.}$
- $R = D_0 / 6,5 = 0.38 \text{ m.}$



Todo recipiente deberá de disponer de sistemas de vente o alivio de presión para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal modo que se evite la deformación del techo o de las paredes como consecuencia de las variaciones de presión producidas por efectos de los llenados, vaciado o cambios de de temperatura.

Las salidas de dicho sistema estarán alejadas de los puntos de operación y vías de circulación en donde las personas puedan verse expuestas, o se protegerán adecuadamente para evitar las proyecciones de líquido y vapores.

El tanque dispondrá de un venteo con una dimensión mayor o igual que el diámetro de las tuberías de entrada y salida, en ningún caso inferior a 35 mm.

Dispondrá de un venteo con una válvula antiretorno para evitar la entrada de gases o líquidos que alteren o reaccionen con el almacenado.

La instalación de almacenamiento de ácido sulfúrico, consta de dos tanques cada uno con una capacidad de 72 m^3 , diseñados cada uno de ellos de forma similar, como se ha desarrollado en este anexo.

Ambos tanques poseen las mismas características y dimensiones calculadas en este anexo; no existe requerimiento especial de distancias entre instalaciones de líquidos corrosivos entre sí ni respecto a otras plantas según el RAQ (Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos e Instrucciones Técnicas Complementarias), Real Decreto 379/2001, de 6 de Abril.

La distancia entre dos recipientes de líquidos corrosivos contiguos debe ser la suficiente para garantizar un buen acceso a los mismos, con un mínimo de 1 metro y un mínimo de 3 metros con el resto de las instalaciones.

Se colocaran los tanques entre si una distancia entre si de 2 m y con el resto de las instalaciones a partir del cubeto de retención de 3 m. Así obtenemos una buena distancia de seguridad y trabajo entre instalaciones.

Ilustrado en el siguiente grafico; ver anexo correspondiente a tanques de ácido sulfúrico.

Los tanques deben de estar soportados o cimentados en condiciones adecuadas nunca se deberá de colocar en lugares en los que una parte de la cimentación quede sobre rocas o terreno natural y otra parte sobre relleno, o con profundidades variables de relleno, o donde haya sido precisa una preconsolidación del terreno. Lugares pantanosos o dudosa estabilidad.

La cimentación típica de los recipientes con fondo plano como es el caso, deberá de quedar a 30 cm, como mínimo, por encima del suelo y deberá ser impermeable al producto a contener.

Otro punto importante a destacar es el diseño de los cubetos de retención que deberán de ser de un material que asegure la estanqueidad del producto con un tiempo mínimo de cuarenta y ocho horas para la evacuación del material.

En la instalación desarrollada, el cubeto de retención se va a fabricar de Hormigón con un grosor de 20 cm y las siguientes dimensiones:

- Asignando una altura del cubeto de 0,3 m.
- Volumen que contiene 144 m³.
- Separación entre tanques 1,5 m.
- Separación entre pared tanques y el cubeto 10 m.

Volumen = lado*lado*altura cubeto.

$$144 = 26,3 * L * 0,3$$

$$L = 18,25 \text{ m.}$$

Las características del cubeto de retención: fabricado de Hormigón, con una altura de 30 cm sobre el nivel del suelo, volumen de 144 m³, distancia entre taques 1,5 m, anchura de 20 cm, su lados miden 26,3 m y 18,25 m. Detallado en el grafico, ver anexo correspondiente.

Resumen de las soluciones adoptadas:

- Los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico están sometidos a la presión atmosférica con un valor de 1,03 Kg/cm²; tomamos un valor de diseño de 3,5 Kg/cm².
- T_{Diseño} = Máxima Temperatura de operación + 20°C = 40°C.
- Material adecuado para la fabricación del mismo con el acero SA-316; encontramos la siguiente tabulación donde podemos observar su composición en 1^{1/4}Cr-1/2 Mo-Si, grado F11 (K11597).
- P_{trabajo del tanque H₂SO₄} = 678,5 Kg/cm².
- Espesor, t = 27,5 mm + 20% corrosión = 33 mm.
- P_{Hm} = 1017,75 Kg/cm².
- P_{Hp} = 1,3 678,5 .1 = 882,05 Kg/cm².
- Carga del viento: Q = 113, 85 Kg/m.
- Tapa, Tipo Toriesféricas: L = 0,8 D₀ = 2 m. R = D₀ / 6,5 = 0.38 m.
- Cubeto de retención: fabricado de Hormigón, con una altura de 30 cm sobre el nivel del suelo, volumen de 144 m³, distancia entre taques 1,5 m, anchura de 20 cm, su lados miden 26,3 m y 18,25 m.

14. Determinación bombas de ácido sulfúrico y pérdidas de carga en la tubería de succión.

En la instalación de almacenamiento de ácido sulfúrico se deben de colocar sendas bombas de impulsión del ácido, hasta la tubería de conexión entre la etapa de bombeo inicial y de filtración; para la regulación del pH de la alimentación a los bastidores de Osmosis Inversa.

Para el cálculo de las bombas dosificadoras de ácido partimos de un caudal a suministrar a la alimentación de 6 m³/h. Y un diámetro de tuberías de 0,2 m (20 cm).

Conocido el diámetro de tubería y la sección del flujo a la cual se transporta el ácido a introducir y mezclar con el agua de alimentación, determinamos la velocidad de circulación del mismo:

$$S = \Pi R_{\text{tubería impulsión}}^2 = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 6 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,0531 \text{ m/s.}$$

Determinando el régimen de flujo al cual estamos sometidos; conocidos el valor de la densidad del ácido y su viscosidad para las condiciones de operación.

$$-\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1800 \text{ Kg/m}^3.$$

$$-\mu_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,027 \text{ Kg/ m.s.}$$

Por tanto el Reynolds:

$$\text{Re} = 1800(\text{Kg/m}^3) 0,2 \text{ (m)} 0,0531^2(\text{m/s}) / 0,027 \text{ (Kg/m.s)} = 707,71$$

La ecuación que se utiliza para el cálculo de la pérdida de carga (h_f), es la conocida como ecuación de Bernoulli como se muestra a continuación:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

La cual complementaríamos adecuadamente para conocer la potencia de la bomba a partir de las pérdidas de carga conocidas.

Determinado las pérdidas de carga a través de la ecuación de Fannig:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f \quad (m)$$

En donde se destaca:

-4f = Factor de rozamiento; parámetro empírico adimensional que depende de las propiedades del fluido de la velocidad de éste y del diámetro rugosidad interna de la conducción.

Parámetro que determinamos gráficamente a partir de la rugosidad relativa del sistema, que a su vez depende del diámetro de tubería y el tipo de material el cual forma a la misma, se emplea el mismo material que forma los tanques de almacenamiento; SA-316, composición en 1^{1/4}Cr-1/2 Mo-Si, grado F11 (K11597).

Una vez determinado la rugosidad relativa debemos de obtener el factor e fricción (4f) con la grafica de Moody y el Reynolds de circulación del fluido.

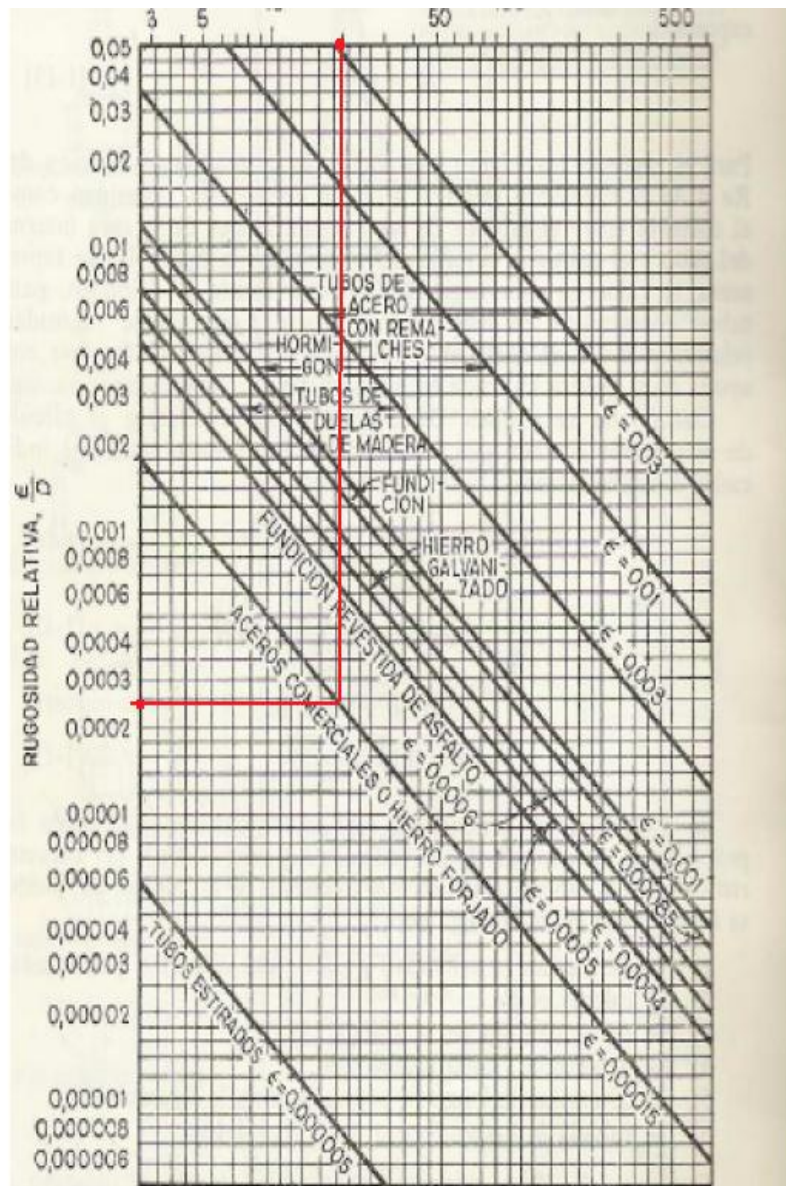
Datos de partida:

-Reynolds= 707,71

-Diámetro de tubería: 0,2 m.

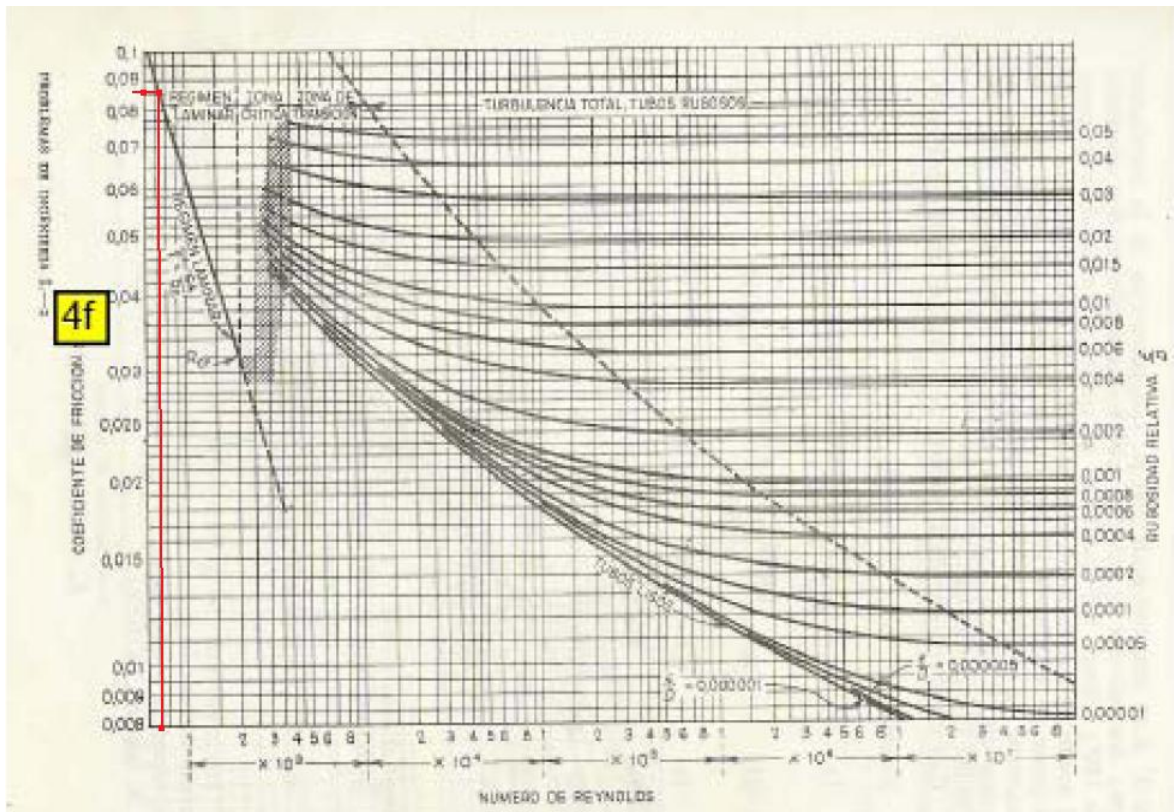
-Tipo de material: Acero comercial SA-316.

Determinación grafica:



Obteniendo un valor de rugosidad relativa $(\epsilon/D) = 0,00024$.

Trasladando este valor a la grafica de Moody:



Obteniéndose un valor del factor de fricción (4f) ≈ 0,088.

Este parámetro representa en realidad un Coeficiente de Transporte de Cantidad de Movimiento, si se expresa la ecuación de Fannig se obtenía:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f$$

Permite su inclusión en la ecuación de Bernouilli y que es el término que representa las pérdidas de energía por unidad de peso por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores. El uso de la ecuación de Fannig puede hacerse de forma generalizada, con independencia del tipo de régimen, ya que en régimen laminar no habría más que darle al factor de rozamiento la expresión resultante de igualar las dos ecuaciones correspondientes a los dos tipos de flujo.

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right) = \frac{32\mu VL}{\rho \cdot D^2} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2} V^2 \rightarrow (4f) = \frac{D \cdot 32 \cdot \mu \cdot V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D^2} = \frac{64 \cdot \mu}{\rho \cdot V \cdot D} = \frac{64}{Re}$$

La anterior ecuación está de acuerdo con los resultados experimentales del factor de fricción para régimen laminar, y es la manifestación de que los efectos viscosos en el fluido eliminan cualquier irregularidad en el flujo producida por la rugosidad superficial de la conducción.

Partiendo del Reynolds en el que nos encontramos y para afinar aún más con el factor de fricción:

$$4f = 64/Re = 0,0904.$$

Determinado el factor de fricción podemos calcular las pérdidas de carga producidas en la instalación:

Partiendo de la ecuación de Bernoulli ilustrada anteriormente y basándonos en la ecuación de Fanning, despejando el factor de pérdida de carga conocido como h_f , obtenemos la siguiente expresión:

$$h_{f\text{total}} = (4f) L_{\text{eq}} V^2 / D \cdot g$$

Siendo:

- $4f$ = factor de fricción = 0,0904
- V = velocidad del fluido (m/s) = 0,0531.
- D = diámetro de la conducción (m) = 0,2.
- g = aceleración de la gravedad (m/s²) = 9,81.
- L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios y tramo recto de tubería (m).

Para el cálculo de las pérdidas de carga las vamos a dividir en dos, pérdidas de carga producida en los accesorios y en la conducción recta. La instalación, ilustrada en el gráfico siguiente, consta de una tubería de succión bridada, conectando la tubería de entrada con el tanque de almacenamiento y una válvula de regulación que vamos a considerar abierta al 100%.

Por tanto:

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ conducción}} + h_{f \text{ válvula.}}$$

$$h_{f \text{ válvula}} = K V^2 / 2 g$$

K = constante tabulada.

Accesorio	K	L _{eq} /D
Válvula de globo, completamente abierta	10	350
Válvula de ángulo, completamente abierta	5	175
Empalme en T normal	1,8	67
Codo de radio corto	0,9	32
Codo de radio medio	0,75	27
Codo de radio largo	0,60	20
Codo de 45°	0,42	15
Válvula de compuerta		
- Completamente abierta	0,19	7
- entreabierta	2,06	72

Tabla 1. Valores del coeficiente de pérdida para accesorios de tuberías

$$K = 10. \text{ o } L_{eq}/D = 350.$$

$$h_{f \text{ válvula}} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,0531^2 / 2 * 9,81 = 0,00143 \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ conducción}} = 0,0904 * 8,87 * 0,0531^2 / 2 * 9,81 * 0,2 = 0,00057591 \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ conducción}} + h_{f \text{ válvula}} = 0,00057591 \text{ m} + 0,00143 \text{ m}$$

$$h_{f \text{ total}} = 0,002012 \text{ m.}$$

Las longitudes y dimensiones de la instalación de almacenamiento, se pueden comprobar en la siguiente ilustración, así como tener una ligera impresión de la misma, ver anexo correspondiente.

Empleadas en el cálculo de la pérdida de carga y la potencia necesaria de bombeo, para introducir la solución en la tubería de transporte del agua salada desde la cántara de captación hasta la etapa de filtración grosera, en los filtros de grava o arena.

Aplicando Bernoulli a la instalación, conocida la pérdida de carga que se produce en la succión de la bomba, podemos determinar la potencia de la misma.

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Simplificando la expresión y adecuándola a nuestro sistema:

$$h_A = 3,75 + (0,0531^2/2 \cdot 9,81) + 0,002012 = 3,761 \text{ m.}$$

Calculando la Potencia suministrada al fluido:

$$\text{Potencia}_A = h_A Q \rho g.$$

$$P_A = 3,76 \cdot 6 \cdot 1800 \cdot 9,81 = 110,70 \text{ W.}$$

Debido a las pérdidas ocasionadas por la fricción mecánica en los componentes de la bomba, la fricción del fluido en la misma y la excesiva turbulencia del fluido que se forma en ella, no toda la potencia suministrada a la bomba es transmitida al fluido. El término eficiencia denota el cociente de la potencia transmitida por la bomba al fluido entre la potencia suministrada a la bomba. Entonces, utilizando el símbolo η , para representarlo; su valor siempre será menor que 1.

$$\eta = \text{Potencia transmitida al fluido (P}_A\text{)} / \text{Potencia puesta en la bomba (P}_B\text{)}.$$

El valor de la eficiencia mecánica de las bombas depende no solamente de su diseño, sino también de las condiciones en las cuales está funcionando, para las bombas centrífugas, el intervalo de eficiencia está comprendido entre 60 y 90 %, aproximadamente. Calculado de las graficas suministrada por la empresa Grundofs de México S.A. modelo CRN-5. Las graficas se pueden observar en su anexo correspondiente.

Gráficamente $\eta = 67 \%$.

$$\text{Potencia}_B = \text{Potencia}_A / \eta = 165,22 \text{ W.}$$

Uno de los principales problemas que presenta la succión e impulsión de líquidos, es el fenómeno conocido como Cavitación, fenómeno que se produce cuando el líquido que es succionado empieza a formar burbujas y ebulle en la entrada de la bomba, que es el lugar de más baja presión en el sistema. Ocurre cuando la presión total en este punto alcanza la presión de vapor del líquido bombeando, a la temperatura de trabajo.

Las burbujas de vapor ocupan un volumen mayor que el líquido, ocurre una reducción del flujo. Conforme las burbujas se mueven del área de baja presión de la bomba hacia el área de alta presión, el vapor regresa nuevamente a la fase líquida. Esta condensación genera una poderosa onda de choque en el líquido que, incluso, puede llegar a retirar partículas en las superficies sólidas circundantes (carcasa de la bomba) creando cavidades. Con el paso del tiempo, este fenómeno puede causar daños irreparables.

Por ello se calcula la altura neta de succión positiva disponible ($NPSH_d$) que debe de ser mayor que la requerida ($NPSH_r$), por el fabricante para evitar este fenómeno.

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerida}$$

$$NPSH_d = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Siendo:

$$-h_{sp} = \text{carga de presión estática (m)} = P_{tanque} / \rho * g.$$

$-h_s$ = diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el deposito hacia la entrada de la bomba (m).

$$-h_f = \text{perdidas de carga por fricción en a tubería de succión (m)}.$$

$$-h_{vp} = \text{presión de vapor del líquido (m)} = P^o / \rho * g.$$

Aplicando la ecuación a nuestro sistema:

$$-h_f = 0,00201 \text{ m.}$$

$$-h_s = 3,75 \text{ m.}$$

$$-h_{sp} = 1 \text{ (atm)} / 1800 \text{ (Kg/m}^3\text{)} * 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} = 1,653 \text{ m.}$$

$$-h_{vp} = P^o / \rho * g = 0,001283 / 1800 \text{ (Kg/m}^3\text{)} * 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} = 0,000224 \text{ m.}$$

$$NPSH_d = 1,653 + 3,75 - 0,00201 - 0,000224 = 5,40 \text{ m.}$$

$$NPSH_d = 5,40 \text{ m.}$$

En el mercado nos encontramos con un sin fin de empresas suministradoras de las bombas, entre ellas, para esta aplicación contamos con la empresa Grundofs de México S.A. modelo CRN-5, con las siguientes características:

- Compatible con líquidos abrasivos como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, agua de mar...
- Rango de temperaturas de -20° a 120°C.
- Presión máxima de trabajo 360 psi.
- Eficiencia máxima: 67%.
- Rango de flujo 3- 45 GPM (1-15 m³/h).
- Fabricada en hierro fundido y acero inoxidable AISI 304.

15. Perdidas de carga en conexión tanques de ácido sulfúrico en su distribución a las tomas de alimentación.

Para la distribución del ácido sulfúrico a las nueve líneas de entrada de agua a la planta, se diseñaron dos tanques de ácido conectados para su operación. A continuación se expone los cálculos necesarios para calcular las pérdidas de carga producidas en la conexión de ambos tanques, para la distribución del ácido; ya calculado en anexos anteriores.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de los datos de diseño de la instalación de almacenamiento del ácido sulfúrico (H_2SO_4), redactados en su anexo del vigente proyecto.

Los datos a considerar son los mencionados:

- Tubería de Impulsión con un diámetro de 0,2 m.
- Caudal de suministro total de $6 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Caudal de suministro a cada sub-ramal de $0,66 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Numero total de ramales o sub-ramales de entrada 9.
- Tuberías de Acero inoxidable SA-316.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de un caudal a suministrar a la alimentación de $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Y un diámetro de tuberías de 0,2 m (20 cm).

Conocido el diámetro de tubería y la sección del flujo a la cual se transporta el ácido a introducir y mezclar con el agua de alimentación, determinamos la velocidad de circulación del mismo:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 6 (\text{m}^3/\text{h}) / 0,0314 (\text{m}^2) = 0,0531 \text{ m/s}.$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 1-C} = 0,0531 \text{ m/s}.$$

Lo mismo para el siguiente Tramo 2-C:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 6 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,0531 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 2-C} = 0,0531 \text{ m/s.}$$

A lo largo del desarrollo del cálculo iremos distinguiendo entre los distintos Ramales involucrados, denominándolos en este caso como Tramos de conexión, e iremos identificando cada uno de los accesorios introducidos en los Ramales.

El primer tramo constará de una tubería de impulsión de acero comercial SA-316 (acero inoxidable), el primer de los accesorios que nos encontramos a lo largo de la conducción no es más que un codo de 90°, conectando con el Tramo 2-C; y tras él un caudalímetro conectado a la bomba de impulsión y tras él una válvula de regulación, tras estos elementos una tes de conexión entre el Tramo-1 de impulsión del primer tanque (TS-1) y el Tramo 2-C, del segundo tanque.

Las distancias se ilustran en los planos correspondientes o en el diagrama, adjunto con este anexo.

Con las velocidades de cada Tramo, se procede a la determinación del régimen de circulación que se da en cada uno de ellos, con el número adimensional conocido como el Reynolds:

Tramo 1-C:

$$Re = (D V \rho) / \mu = 1800 \text{ (Kg/m}^3) \cdot 0,2 \text{ (m)} \cdot 0,0531^2 \text{ (m/s)} / 0,027 \text{ (Kg/m.s)} = 707,71$$

Tramo 2-C:

$$Re = (D V \rho) / \mu = 1800 \text{ (Kg/m}^3) \cdot 0,2 \text{ (m)} \cdot 0,0531^2 \text{ (m/s)} / 0,027 \text{ (Kg/m.s)} = 707,71$$

Régimen Laminar = 707,71 (adimensional) para ambos tramos.

Determinado las pérdidas de carga a través de la ecuación de Fannig:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f \quad (m)$$

En donde se destaca:

$-4f$ = Factor de rozamiento; parámetro empírico adimensional que depende de las propiedades del fluido de la velocidad de éste y del diámetro rugosidad interna de la conducción.

Este parámetro representa en realidad un Coeficiente de Transporte de Cantidad de Movimiento.

Permite su inclusión en la ecuación de Bernouilli y que es el término que representa las pérdidas de energía por unidad de peso por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores. El uso de la ecuación de Fannig puede hacerse de forma generalizada, con independencia del tipo de régimen, ya que en régimen laminar no habría más que darle al factor de rozamiento la expresión resultante de igualar las dos ecuaciones correspondientes a los dos tipos de flujo.

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) = \frac{32\mu VL}{\rho \cdot D^2} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2} V^2 \rightarrow (4f) = \frac{D \cdot 32 \cdot \mu \cdot V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D^2} = \frac{64 \cdot \mu}{\rho \cdot V \cdot D} = \frac{64}{Re}$$

La anterior ecuación está de acuerdo con los resultados experimentales del factor de fricción para régimen laminar, y es la manifestación de que los efectos viscosos en el fluido eliminan cualquier irregularidad en el flujo producida por la rugosidad superficial de la conducción.

Tramo 1-C: $4f = 64/ Re = 0,0904$.

Tramo 2-C: $4f = 64/ Re = 0,0904$.

Partiendo de la ecuación de Bernoulli ilustrada anteriormente y basándonos en la ecuación de Fanning, despejando el factor de pérdida de carga conocido como h_f , obtenemos la siguiente expresión:

$$h_{f\text{conduccion}} = (4f) L_{eq} V^2 / D 2 g$$

Siendo:

- $4f$ = factor de fricción.
- V = velocidad del fluido (m/s).
- D = diámetro de la conducción.
- g = aceleración de la gravedad (m/s^2) = 9,81.
- L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios y tramo recto de tubería (m).

Para el cálculo de las pérdidas de carga las vamos a dividir en dos, pérdidas de carga producida en los accesorios y en las conducciones recta. La instalación, ilustrada en el gráfico siguiente, consta de una tubería de succión bridada, conectando la tubería de entrada con el tanque de almacenamiento y una válvula de regulación antiretorno que vamos a considerar abierta al 100%.

Por tanto:

$$h_{f\text{total}} = h_{f\text{conduccion}} + h_{f\text{válvula}} + h_{f\text{test}} + h_{f\text{caudalimetro}}$$

$$h_{f\text{accesorios}} = K V^2 / 2 g$$

K = constante tabulada.

Accesorio	K	L_{eq}/D
Válvula de globo, completamente abierta	10	350
Válvula de ángulo, completamente abierta	5	175
Empalme en T normal	1,8	67
Codo de radio corto	0,9	32
Codo de radio medio	0,75	27
Codo de radio largo	0,60	20
Codo de 45°	0,42	15
Válvula de compuerta		
- Completamente abierta	0,19	7
- entreabierta	2,06	72

Tabla 1. Valores del coeficiente de pérdida para accesorios de tuberías

Tramo 1-C:

$$-h_f \text{ válvulas t-1-C} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,0531^2 / 2 * 9,81 = \text{No posee valvula.}$$

$$-h_f \text{ caudalimetro t-1-C+t-2-C} = 10\% \text{ total perdidas.}$$

$$-h_f \text{ tramo-1-C} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,0904 * 1,5 * 0,0531^2 / 0,2 * 2 * 9,81 \\ = 0,000097 \text{ m.}$$

Tramo 2-C:

$$-h_f \text{ válvula t-2-C} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00531^2 / 2 * 9,81 = 1,43.10^{-5} \text{ m.}$$

$$-h_f \text{ test t-2-C} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00531^2 / 2 * 9,81 = 0,000258 \text{ m.}$$

$$-h_f \text{ codo } 90^\circ \text{ t-2-C} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00531^2 / 2 * 9,81 = 0,000258 \text{ m.}$$

$$-h_f \text{ tramo-2-C} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 4 * 0,00531^2 / 0,2 * 2 * 9,81 \\ = 0,00026 \text{ m.}$$

$$-h_f \text{ total sin caudalimetro (t-1-C+t-2-C)} = h_f \text{ tramo-1-C} + h_f \text{ válvulas t-2-C} + h_f \text{ test t-2-C} + h_f \text{ tramo-2-C} + \\ h_f \text{ codo } 90^\circ \text{ t-2-C} = 0,000097 + 1,43.10^{-5} + 0,000258 + 0,00026 + 0,000258 = \\ 8,873.10^{-4} \text{ m.}$$

$$-h_f \text{ caudalimetros t-1-C+t-2-C} = 0,1 * 8,873.10^{-4} = 8,873.10^{-5} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta sección que comprende los Tramos 1-C y 2-C de la instalación, de conexión de los tanques TS-1 y TS-2, de ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Perdidas de carga primera seccion	$h_f \text{ total-t1-C}$	0,000097
	$h_f \text{ total-t2-C}$	0,004023
	$h_f \text{ total}$	$9,76.10^{-4}$
	$h_f \text{ test}$	0,00025847

Diagrama ilustrativo, ver anexo correspondiente.

16. Pérdida de cargas en los tramo de conexión entre los tanques de ácido sulfúrico y las distintas tuberías de alimentación a la planta.

El ámbito de aplicación de este anexo, nos lleva a calcular la pérdida de carga producida entre el bombeo del ácido sulfúrico y las distintas ramas de conexión de la instalación con las conducciones que dan el suministro a la planta de osmosis; estas conducciones parten de la cántara de captación y conectan con la etapa de filtración grosera descrita en su correspondiente anexo.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de los datos de diseño de la instalación de almacenamiento del ácido sulfúrico (H_2SO_4), redactados en su anexo del vigente proyecto.

Los datos a considerar son los mencionados:

- Tubería de Impulsión con un diámetro de 0,2 m.
- Caudal de suministro total de $6 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Caudal de suministro a cada sub-ramal de $0,66 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Numero total de ramales o sub-ramales de entrada 9.
- Tuberías de Acero inoxidable SA-316.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de un caudal a suministrar a la alimentación de $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Y un diámetro de tuberías de 0,2 m (20 cm).

Conocido el diámetro de tubería y la sección del flujo a la cual se transporta el ácido a introducir y mezclar con el agua de alimentación, determinamos la velocidad de circulación del mismo:

$$S = \Pi R_{\text{tubería impulsión}}^2 = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 6 (\text{m}^3/\text{h}) / 0,0314 (\text{m}^2) = 0,0531 \text{ m/s}.$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 1} = 0,0531 \text{ m/s}.$$

A lo largo del desarrollo del cálculo iremos distinguiendo entre los distintos Ramales involucrados, denominándolos en este caso como Tramos de conducción, e iremos identificando cada uno de los accesorios introducidos en los Ramales.

El primer tramo constara de una tubería de impulsión de acero comercial SA-316 (acero inoxidable), el primer de los accesorios que nos encontramos a lo largo de la conducción no es más que un caudalímetro conectado a la bomba de impulsión y tras el una válvula de regulación.

Tras la última la segunda válvula de regulación nos encontramos con una tes, que divide el flujo en dos Ramales, el segundo Ramal o Tramo-2; este Tramo-2 es el que conecta con la tubería de impulsión de la primera bomba, en este Tramo-2 nos encontramos con dos accesorios, dispuestos en el mismo orden en el que se nombran, caudalímetro (limita el caudal de paso en 0,66 m³/h), válvula de regulación. Caudalímetro conectado a la válvula posterior.

Todos los accesorios se colocan con la suficiente distancia entre ellos para evitar perturbaciones entre ellos, que puedan influir en la medida del parámetro de control.

El primer Tramo-1 se posee una longitud de 3 m, de distancia con la bomba de impulsión, el segundo Tramo-2 una longitud total de 2 m; los diámetros de los ramales son de 0,2 m.

Una vez calculada la velocidad en el primer Tramo-1, procedemos con el cálculo de la velocidad en el segundo Tramo-2:

$$S = \Pi R_{\text{tubería impulsión}}^2 = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 2} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

Con las velocidades de cada Tramo, se procede a la determinación del régimen de circulación que se da en cada uno de ellos, con el número adimensional conocido como el Reynolds:

Tramo-1:

$$Re = (D V \rho) / \mu = 1800 \text{ (Kg/m}^3) \cdot 0,2 \text{ (m)} \cdot 0,0531^2 \text{ (m/s)} / 0,027 \text{ (Kg/m.s)} = 707,71$$

Régimen Laminar = 707,71 (adimensional).

Tramo-2:

$$Re = (D V \rho) / \mu = 1800 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \cdot 0,2 \text{ (m)} \cdot 0,00584^2 \text{ (m/s)} / 0,027 \text{ (Kg/m.s)} = 77,85$$

Régimen Laminar = 77,85 (adimensional).

La ecuación que se utiliza para el cálculo de la pérdida de carga (h_f), es la conocida como ecuación de Bernouilli como se muestra a continuación:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

La cual complementaríamos adecuadamente para conocer la potencia de la bomba a partir de las pérdidas de carga conocidas.

Determinado las pérdidas de carga a través de la ecuación de Fanning:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f \quad (\text{m})$$

En donde se destaca:

-4f = Factor de rozamiento; parámetro empírico adimensional que depende de las propiedades del fluido de la velocidad de éste y del diámetro rugosidad interna de la conducción.

Este parámetro representa en realidad un Coeficiente de Transporte de Cantidad de Movimiento.

Permite su inclusión en la ecuación de Bernoulli y que es el término que representa las pérdidas de energía por unidad de peso por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores. El uso de la ecuación de Fanning puede hacerse de forma generalizada, con independencia del tipo de régimen, ya que en régimen laminar no habría más que darle al factor de rozamiento la expresión resultante de igualar las dos ecuaciones correspondientes a los dos tipos de flujo.

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right) = \frac{32\mu VL}{\rho \cdot D^2} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2} V^2 \rightarrow (4f) = \frac{D \cdot 32 \cdot \mu \cdot V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D^2} = \frac{64 \cdot \mu}{\rho \cdot V \cdot D} = \frac{64}{Re}$$

La anterior ecuación está de acuerdo con los resultados experimentales del factor de fricción para régimen laminar, y es la manifestación de que los efectos viscosos en el fluido eliminan cualquier irregularidad en el flujo producida por la rugosidad superficial de la conducción.

Tramo-1: $4f = 64/Re = 0,0904$

Tramo-2: $4f = 64/Re = 0,822$

Partiendo de la ecuación de Bernoulli ilustrada anteriormente y basándonos en la ecuación de Fanning, despejando el factor de pérdida de carga conocido como h_f , obtenemos la siguiente expresión:

$$h_{f\text{conduccion}} = (4f) L_{eq} V^2 / D 2 g$$

Siendo:

- $4f$ = factor de fricción.
- V = velocidad del fluido (m/s).
- D = diámetro de la conducción.
- g = aceleración de la gravedad (m/s^2) = 9,81.
- L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios y tramo recto de tubería (m).

Para el cálculo de las pérdidas de carga las vamos a dividir en dos, pérdidas de carga producida en los accesorios y en la conducción recta. La instalación, ilustrada en el gráfico siguiente, consta de una tubería de succión bridada, conectando la tubería de entrada con el tanque de almacenamiento y una válvula de regulación que vamos a considerar abierta al 100%.

Por tanto:

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ conducción}} + h_{f \text{ válvula}} + h_{f \text{ test}} + h_{f \text{ caudalímetro}}$$

$$h_{f \text{ accesorios}} = K V^2 / 2 g$$

K = constante tabulada.

Accesorio	K	L _{eq} /D
Válvula de globo, completamente abierta	10	350
Válvula de ángulo, completamente abierta	5	175
Empalme en T normal	1,8	67
Codo de radio corto	0,9	32
Codo de radio medio	0,75	27
Codo de radio largo	0,60	20
Codo de 45°	0,42	15
Válvula de compuerta		
- Completamente abierta	0,19	7
- entreabierta	2,06	72

Tabla 1. Valores del coeficiente de pérdida para accesorios de tuberías

Tramo-1:

$$-h_{f \text{ válvula } t-1} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,0531^2 / 2 * 9,81 = 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ caudalímetro } t-1+t-2} = 10\% \text{ total pérdidas.}$$

$$-h_{f \text{ tramo-1}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,0904 * 3 * 0,0531^2 / 0,2 * 2 * 9,81 = 0,000195 \text{ m.}$$

Tramo-2:

$$-h_{f \text{ válvula } t-2} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ test } t-2} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ tramo-2}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 = 1,42 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ total sin caudalímetro } (t-1+t-2)} = h_{f \text{ válvulas } t-1} + h_{f \text{ tramo-1}} + h_{f \text{ válvulas } t-2} + h_{f \text{ test } t-2} + h_{f \text{ tramo-2}} = 1,43 \cdot 10^{-3} + 0,000195 + 1,73 \cdot 10^{-5} + 6,255 \cdot 10^{-6} + 1,42 \cdot 10^{-5} = 1,662 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$-h_f \text{ caudalímetros } t-1+t-2 = 0,1 * 1,662.10^{-3} \text{ m} = 1,662.10^{-4} \text{ m.}$$

$$-h_f \text{ total} = 1,828.10^{-3} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta primera sección que comprende los Tramos 1 y 2 de la instalación de ácido sulfúrico (H_2SO_4):

Perdidas de carga primera sección	$h_f \text{ total-t1}$	$1,79.10^{-3}$
	$h_f \text{ total-t2}$	$1,83.10^{-3}$
	$h_f \text{ total}$	$3,62.10^{-3}$
	$h_f \text{ test}$	$6,255.10^{-6}$

Calculando los mismos parámetros para la segunda sección, que consta de los Tramos 3 y 4; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-1 y Tramo-2 dando paso a un caudal de $5,34 \text{ m}^3/\text{h}$, por el Tramo-3; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta la próxima tes de unión con el Tramo-4 y Tramo-5.

En el Tramo-4, se procede igual que en el Tramo-2; se van a colocar una válvula de regulación y tras las mismas un caudalímetro conectado a ella para dar paso a un caudal de $0,66 \text{ m}^3/\text{h}$ por el Tramo-4. Las conducciones poseen un diámetro de $0,2 \text{ m}$ y las siguientes longitudes, el Tramo-3 una longitud de $2,5 \text{ m}$ de separación con respecto al Tramo-2; y el Tramo-4 una longitud de 2 m hasta la conducción de la segunda bomba de alimentación.

Tramo-3:

$$S = \Pi R^2 \text{ tubería impulsión} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 5,34 (\text{m}^3/\text{h}) / 0,0314 (\text{m}^2) = 0,0472 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 3} = 0,0472 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,0472^2 / 0,027 = 629,86 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 629,86 = 0,1016.$$

$$h_f \text{ válvulas } t-3 = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-3.}$$

$$h_f \text{ tramo-3} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,1016 * 3 * 0,0472^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_f \text{ tramo-3} = 1,731.10^{-4} \text{ m.}$$

Tramo-4:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 4} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64/Re = 64/77,85 = 0,822.$$

$$h_{f \text{ válvula t-4}} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ test t-4}} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ tramo-4}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2,5 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 \\ = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total sin caudalimetro (t-3+t-4)}} = h_{f \text{ tramo-3}} + h_{f \text{ válvulas t-4}} + h_{f \text{ test t-4}} + h_{f \text{ tramo-4}} = \\ 1,731 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 2,143 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ caudalimetro t-4}} = 0,1 * 2,143 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 2,144 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ t-4}} = 2,357 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ t-3}} + h_{f \text{ t-4}} = 1,731 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 2,357 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 4,08 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta segunda sección que comprende los Tramos 3 y 4 de la instalación de ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Perdidas de carga segunda sección	$h_{f \text{ total-t3}}$	$1,731 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ total-t4}}$	$2,357 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ total}}$	$4,08 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ test}}$	$6,25 \cdot 10^{-5}$

Calculando los mismos parámetros para la tercera sección, que consta de los Tramos 5 y 6; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-3 y Tramo-4 dando paso a un caudal de 4,68 m³/h, por el Tramo-5; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta la próxima tes de unión con el Tramo-6 y Tramo-7.

En el Tramo-6, se procede igual que en el Tramo-4; se van a colocar una válvula de regulación y entre las mismas un caudalimetro conectado a ella para dar paso a un caudal de 0,66 m³/h por el Tramo-6. Las conducciones poseen un diámetro de 0,2 m y las siguientes longitudes, el Tramo-5 una longitud de 2,5 m de separación con respecto al Tramo-3; y el Tramo-6 una longitud de 2 m hasta la conducción de la tercera bomba de alimentación.

Tramo-5:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 4,68 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,0414 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 5} = 0,0414 \text{ m/s.}$$

$$\text{Re} = 1800 * 0,2 * 0,0414^2 / 0,027 = 552,016 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / \text{Re} = 64 / 552,16 = 0,1159.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-5}} = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-5.}$$

$$h_{f \text{ tramo-5}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,1159 * 2,5 * 0,0414^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_{f \text{ tramo-5}} = 1,265 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Tramo-6:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 6} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Re} = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / \text{Re} = 64 / 77,85 = 0,822.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-6}} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ test t-6}} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ tramo-6}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 = 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total sin caudalimetro (t-5+t-6)}} = h_{f \text{ tramo-5}} + h_{f \text{ válvulas t-6}} + h_{f \text{ test t-6}} + h_{f \text{ tramo-6}} = 1,265 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ caudalimetro t-6}} = 0,1 * 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,64 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ t-6}} = 1,80 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ t-5}} + h_{f \text{ t-6}} = 1,265 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 1,80 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 3,07 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta tercera sección que comprende los Tramos 5 y 6 de la instalación de ácido sulfúrico (H_2SO_4):

Perdidas de carga tercera sección	h_f total-t5	$1,265 \cdot 10^{-4}$
	h_f total-t6	$1,80 \cdot 10^{-4}$
	h_f total	$3,07 \cdot 10^{-4}$
	h_f test	$6,255 \cdot 10^{-6}$

Calculando los mismos parámetros para la cuarta sección, que consta de los Tramos 7 y 8; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-5 y Tramo-6 dando paso a un caudal de $4,02 \text{ m}^3/\text{h}$, por el Tramo-7; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta la próxima tes de unión con el Tramo-9 y Tramo-10.

En el Tramo-8, se procede igual que en el Tramo-6; se va a colocar una válvula de regulación y tras la misma un caudalímetro conectado a ella para dar paso a un caudal de $0,66 \text{ m}^3/\text{h}$ por el Tramo-8. Las conducciones poseen un diámetro de $0,2 \text{ m}$ y las siguientes longitudes, el Tramo-7 una longitud de $2,5 \text{ m}$ de separación con respecto al Tramo-5; y el Tramo-8 una longitud de 2 m hasta la conducción de la cuarta bomba de alimentación.

Tramo-7:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 4,02 (\text{m}^3/\text{h}) / 0,0314 (\text{m}^2) = 0,0355 \text{ m/s}.$$

$$\text{Velocidad en el Tramo7} = 0,0355 \text{ m/s}.$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,0355^2 / 0,027 = 474,16 \text{ m}.$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 474,16 = 0,1349.$$

$$h_f \text{ válvulas t-7} = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-7}.$$

$$h_f \text{ tramo-7} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,1349 * 2,5 * 0,0355^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_f \text{ tramo-7} = 1,083 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

Tramo-8:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 (\text{m}^3/\text{h}) / 0,0314 (\text{m}^2) = 0,00584 \text{ m/s}.$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 8} = 0,00584 \text{ m/s}.$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64/Re = 64/ 77,85 = 0,822.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-8}} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73.10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ test t-8}} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255.10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ tramo-8}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 = 1,43.10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total sin caudalimetro (t-7+t-8)}} = h_{f \text{ tramo-7}} + h_{f \text{ válvulas t-8}} + h_{f \text{ test t-8}} + h_{f \text{ tramo-8}} = 1,083.10^{-4} \text{ m} + 1,73.10^{-5} \text{ m} + 6,255.10^{-6} \text{ m} + 1,43.10^{-5} \text{ m} = 1,461.10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ caudalimetro t-8}} = 0,1 * 1,461.10^{-4} \text{ m} = 1,461.10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ t-8}} = 1,61.10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ t-7}} + h_{f \text{ t-8}} = 1,083.10^{-4} \text{ m} + 1,61.10^{-4} \text{ m} = 2,693.10^{-4} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta cuarta sección que comprende los Tramos 7 y 8 de la instalación de ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Perdidas de carga cuarta sección	$h_{f \text{ total-t7}}$	$1,083.10^{-4}$
	$h_{f \text{ total-t8}}$	$1,61.10^{-4}$
	$h_{f \text{ total}}$	$2,693.10^{-4}$
	$h_{f \text{ test}}$	$6,255.10^{-6}$

Calculando los mismos parámetros para la quinta sección, que consta de los Tramos 9 y 10; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-7 y Tramo-8 dando paso a un caudal de 3,36 m³/h, por el Tramo-9; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta la próxima tes de unión con el Tramo-11 y Tramo-12.

En el Tramo-10, se procede igual que en el Tramo-8; se van a colocar una válvula de regulación y tras la misma un caudalimetro conectado a ella para dar paso a un caudal de 0,66 m³/h por el Tramo-10. Las conducciones poseen un diámetro de 0,2 m y las siguientes longitudes, el Tramo-9 una longitud de 2,5 m de separación con respecto al Tramo-7; y el Tramo-10 una longitud de 2 m hasta la conducción de la quinta bomba de alimentación.

Tramo-9:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 3,36 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,0297 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo9} = 0,0297 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,0297^2 / 0,027 = 396,31 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 396,31 = 0,1614.$$

$$h_f \text{ válvulas t-9} = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-9.}$$

$$h_{f \text{ tramo-9}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,1614 * 2,5 * 0,0297^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_{f \text{ tramo-9}} = 9,07 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

Tramo-10:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 10} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 77,85 = 0,822.$$

$$h_f \text{ válvulas t-10} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ test t-10}} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ tramo-10}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 \\ = 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total sin caudalimetro (t-9+t-10)}} = h_{f \text{ tramo-9}} + h_{f \text{ válvulas t-10}} + h_{f \text{ test t-10}} + h_{f \text{ tramo-10}} = \\ 9,07 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 1,285 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ caudalimetro t-10}} = 0,1 * 1,285 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,285 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ t-10}} = 1,413 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ t-9}} + h_{f \text{ t-10}} = 9,07 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,413 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 2,32 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta quinta sección que comprende los Tramos 9 y 10 de la instalación de ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Perdidas de carga quinta sección	$h_{f \text{ total-t9}}$	$9,07 \cdot 10^{-5}$
	$h_{f \text{ total-t10}}$	$1,413 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ total}}$	$2,32 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ test}}$	$6,255 \cdot 10^{-6}$

Calculando los mismos parámetros para la sexta sección, que consta de los Tramos 11 y 12; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-9 y Tramo-10 dando paso a un caudal de 2,7 m³/h, por el Tramo-11; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta la próxima tes de unión con el Tramo-13 y Tramo-14.

En el Tramo-12, se procede igual que en el Tramo-10; se van a colocar una válvula de regulación y tras la misma un caudalímetro conectado a ella para dar paso a un caudal de 0,66 m³/h por el Tramo-12. Las conducciones poseen un diámetro de 0,2 m y las siguientes longitudes, el Tramo-11 una longitud de 2,5 m de separación con respecto al Tramo-9; y el Tramo-12 una longitud de 2 m hasta la conducción de la sexta bomba de alimentación.

Tramo-11:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 2,7 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,0238 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 11} = 0,0238 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,0238^2 / 0,027 = 318,47 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 318,47 = 0,2009.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-11}} = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-11.}$$

$$h_{f \text{ tramo-11}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,2009 * 2,5 * 0,0238^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_{f \text{ tramo-11}} = 7,25 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

Tramo-12:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 12} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 77,85 = 0,822.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-12}} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ test t-12}} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ tramo-12}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 \\ = 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_f \text{ total sin caudalimetro (t-11+t-12)} = h_f \text{ tramo-11} + h_f \text{ válvulas t-12} + h_f \text{ test t-12} + h_f \text{ tramo-12} =$$

$$7,25 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 1,103 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

$$h_f \text{ caudalimetro t-12} = 0,1 * 1,103 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,103 \cdot 10^{-5} \text{ m}.$$

$$h_{f \text{ t-12}} = 1,213 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ t-11}} + h_{f \text{ t-12}} = 7,25 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,213 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta sexta sección que comprende los Tramos 11 y 12 de la instalación de ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Perdidas de carga sexta sección	$h_f \text{ total-t11}$	$7,25 \cdot 10^{-5}$
	$h_f \text{ total-t12}$	$1,213 \cdot 10^{-4}$
	$h_f \text{ total}$	$1,94 \cdot 10^{-4}$
	$h_f \text{ test}$	$6,255 \cdot 10^{-6}$

Calculando los mismos parámetros para la séptima sección, que consta de los Tramos 13 y 14; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-11 y Tramo-12 dando paso a un caudal de 2,04 m³/h, por el Tramo-13; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta la próxima tes de unión con el Tramo-15 y Tramo-16.

En el Tramo-14, se procede igual que en el Tramo-12; se van a colocar una válvula de regulación y tras la misma un caudalimetro conectado a ella para dar paso a un caudal de 0,66 m³/h por el Tramo-14. Las conducciones poseen un diámetro de 0,2 m y las siguientes longitudes, el Tramo-13 una longitud de 2,5 m de separación con respecto al Tramo-11; y el Tramo-14 una longitud de 2 m hasta la conducción de la séptima bomba de alimentación.

Tramo-13:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 2,04 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,01804 \text{ m/s}.$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 13} = 0,01804 \text{ m/s}.$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,0238^2 / 0,027 = 240,62 \text{ m}.$$

$$4f = 64 / \text{Re} = 64 / 240,62 = 0,2659.$$

$$h_f \text{ válvulas t-13} = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-13.}$$

$$h_f \text{ tramo-13} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,2659 * 2,5 * 0,0297^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_f \text{ tramo-13} = 1,494 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Tramo-14:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 14} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Re} = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64/\text{Re} = 64/ 77,85 = 0,822.$$

$$h_f \text{ válvulas t-14} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_f \text{ test t-14} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_f \text{ tramo-14} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 \\ = 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_f \text{ total sin caudalimetro (t-13+t-14)} = h_f \text{ tramo-13} + h_f \text{ válvulas t-14} + h_f \text{ test t-14} + h_f \text{ tramo-14} = \\ 1,494 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_f \text{ caudalimetro t-14} = 0,1 * 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,87 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_f \text{ t-14} = 2,05 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_f \text{ total} = h_f \text{ t-13} + h_f \text{ t-14} = 1,494 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 2,05 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 3,54 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta sexta sección que comprende los Tramos 13 y 14 de la instalación de ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Perdidas de carga séptima sección	$h_f \text{ total-t13}$	$1,494 \cdot 10^{-4}$
	$h_f \text{ total-t14}$	$2,05 \cdot 10^{-4}$
	$h_f \text{ total}$	$3,54 \cdot 10^{-4}$
	$h_f \text{ test}$	$6,255 \cdot 10^{-6}$

Calculando los mismos parámetros para la octava sección, que consta de los Tramos 15 y 16; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-13 y Tramo-14 dando paso a un caudal de 1,38 m³/h, por el Tramo-15; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta la próxima tes de unión con el Tramo-17 y Tramo-18.

En el Tramo-16, se procede igual que en el Tramo-14; se van a colocar una válvula de regulación y tras las mismas un caudalimetro conectado a ella para dar paso a un caudal de 0,66 m³/h por el Tramo-16. Las conducciones poseen un diámetro de 0,2 m y las siguientes longitudes, el Tramo-15 una longitud de 2,5 m de separación con respecto al Tramo-13; y el Tramo-16 una longitud de 2 m hasta la conducción de la octava bomba de alimentación.

Tramo-15:

$$S = \Pi R_{\text{tubería impulsión}}^2 = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 1,38 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,01220 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 15} = 0,01220 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,0238^2 / 0,027 = 162,77 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 162,77 = 0,3931.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-15}} = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-15.}$$

$$h_{f \text{ tramo-15}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,2659 * 2,5 * 0,0122^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_{f \text{ tramo-15}} = 2,52 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

Tramo-16:

$$S = \Pi R_{\text{tubería impulsión}}^2 = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 14} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 77,85 = 0,822.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-16}} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ test t-16}} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ tramo-16}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81 = 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total sin caudalimetro (t-15+t-16)}} = h_{f \text{ tramo-15}} + h_{f \text{ válvulas t-16}} + h_{f \text{ test t-16}} + h_{f \text{ tramo-16}} = 2,52 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 6,30 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ caudalimetro t-16}} = 0,1 * 6,30 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 6,30 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f\ t-16} = 6,93.10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f\ total} = h_{f\ t-15} + h_{f\ t-16} = 2,52.10^{-5} \text{ m} + 6,93.10^{-5} \text{ m} = 9,45.10^{-5} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta octava sección que comprende los Tramos 15 y 16 de la instalación de ácido sulfúrico (H_2SO_4):

Perdidas de carga octava sección	$h_{f\ total-t15}$	$2,52.10^{-5}$
	$h_{f\ total-t16}$	$6,93.10^{-5}$
	$h_{f\ total}$	$9,45.10^{-5}$
	$h_{f\ test}$	$6,255.10^{-6}$

Calculando los mismos parámetros para la novena sección, que consta de los Tramos 17 y 18; que a continuación se procede a describir:

Esta sección parte de la tes de conexión entre el Tramo-15 y Tramo-16 dando paso a un caudal de $0,78 \text{ m}^3/\text{h}$, por el Tramo-17; en este tramo no se va a colocar ningún otro accesorio hasta el codo de unión con el Tramo-18, que conecta finalmente con la última conducción de impulsión, conectada a la novena bomba de alimentación de la planta.

En el Tramo-18, se procede igual que en el Tramo-16; se van a colocar una válvula de regulación y tras las mismas un caudalímetro conectado a ella para dar paso a un caudal de $0,78 \text{ m}^3/\text{h}$ por el Tramo-16. Las conducciones poseen un diámetro de $0,2 \text{ m}$ y las siguientes longitudes, el Tramo-17 una longitud de $2,5 \text{ m}$ de separación con respecto al Tramo-15; y el Tramo-18 una longitud de 2 m hasta la conducción de la novena bomba de alimentación.

Tramo-17:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,78 (\text{m}^3/\text{h}) / 0,0314 (\text{m}^2) = 0,06369 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 17} = 0,06369 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,06369^2 / 0,027 = 84,92 \text{ m.}$$

$$4f = 64 / Re = 64 / 162,77 = 0,7536.$$

$$h_{f\ \text{válvulas t-17}} = K V^2 / 2 g = \text{No posee válvulas el Tramo-17.}$$

$$h_{f \text{ tramo-17}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,7536 * 2,5 * 0,0122^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$h_{f \text{ tramo-17}} = 7,146 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

Tramo-18:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 0,78 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,0314 \text{ (m}^2) = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo 18} = 0,00584 \text{ m/s.}$$

$$Re = 1800 * 0,2 * 0,00584^2 / 0,027 = 77,85 \text{ m.}$$

$$4f = 64/Re = 64/77,85 = 0,822.$$

$$h_{f \text{ válvulas t-18}} = K V^2 / 2 g = 10 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ test t-18}} = K V^2 / 2 g = 1,8 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 6,255 \cdot 10^{-6} \text{ m/2}$$

$$= 3,127 \cdot 10^{-6}.$$

$$h_{f \text{ codo t-18}} = K V^2 / 2 g = 0,9 * 0,00584^2 / 2 * 9,81 = 1,563 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ tramo-18}} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,822 * 2 * 0,00584^2 / 0,2 * 2 * 9,81$$

$$= 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total sin caudalimetro (t-17+t-18)}} = h_{f \text{ tramo-17}} + h_{f \text{ válvulas t-18}} + h_{f \text{ test t-18}} + h_{f \text{ tramo-18}} + h_{f \text{ codo t-18}} =$$

$$7,146 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 3,127 \cdot 10^{-6} \text{ m} + 1,428 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,563 \cdot 10^{-6}$$

$$h_{f \text{ total sin caudalimetro (t-17+t-18)}} = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ caudalimetro t-18}} = 0,1 * 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,07 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ t-18}} = 1,185 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ t-17}} + h_{f \text{ t-18}} = 7,146 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 1,185 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

Resumiendo las pérdidas de carga en esta octava sección que comprende los Tramos 17 y 18 de la instalación de ácido sulfúrico (H₂SO₄):

Perdidas de carga novena sección	$h_{f \text{ total-t17}}$	$7,146 \cdot 10^{-5}$
	$h_{f \text{ total-t18}}$	$1,185 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ total}}$	$1,89 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ test}}$	$3,1275 \cdot 10^{-6}$

Sumando las distintas pérdidas de carga para cada sección podemos ver la pérdida de carga para toda la instalación:

$$\text{Total} = \text{Sección}_{1^{\circ}} + \text{Sección}_{2^{\circ}} + \text{Sección}_{3^{\circ}} + \text{Sección}_{4^{\circ}} + \text{Sección}_{5^{\circ}} + \text{Sección}_{6^{\circ}} + \text{Sección}_{7^{\circ}} + \text{Sección}_{8^{\circ}} + \text{Sección}_{9^{\circ}} = 3,62 \cdot 10^{-3} + 4,08 \cdot 10^{-4} + 3,07 \cdot 10^{-4} + 2,693 \cdot 10^{-4} + 2,32 \cdot 10^{-4} + 1,94 \cdot 10^{-4} + 3,54 \cdot 10^{-4} + 9,45 \cdot 10^{-5} + 1,89 \cdot 10^{-4} = 5,66 \cdot 10^{-3} \text{ metros.}$$

$$\text{Total} = 5,66 \cdot 10^{-3} \text{ metros.}$$

17. Cálculos pérdidas de carga entre las conducciones de alimentación y las conexiones a los distintos filtros de arena.

El ámbito de aplicación de este anexo, nos lleva a calcular la pérdida de carga producida entre el bombeo del agua de alimentación y las distintas ramas de conexión de la instalación con las conducciones que dan el suministro a la planta de filtración grosera (en los filtros de arena); estas conducciones parten de la cántara de captación y conectan con la etapa de filtración grosera descrita en su correspondiente anexo.

El cálculo que se realiza consta desde las Tes de entrada del ácido sulfúrico, hasta la conexión de las ramas de alimentación de agua, para su filtración grosera.

Las distintas conducciones de agua de alimentación tienen una longitud total de 20 metros, divididas en dos tramos, un tramo de 15 metros con un diámetro de 0,5 metros y los 5 metros restantes con un diámetro de 0,25 metros para su conexión con el filtro de arena. La conexión entre ambos tramos de 15 metros de longitud y 5 metros de longitud se realiza mediante un estrechamiento de la primera conducción que posee un diámetro de 0,5 metros con el segundo tramo, con un diámetro de 0,25 metros.

Los datos a considerar son los mencionados:

- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,5 m.
- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,25 m.
- Estrechamientos $d/D = 0,5$.
- Caudal de suministro total de $1000,66 \text{ m}^3/\text{h}$.

- Numero total de líneas de entrada 9.
- Tuberías de PVC.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de un caudal a suministrar a la planta de filtración grosera, para cada filtro de 1000,66 m³/h.

Conocido el diámetro de las tuberías y la sección del flujo a la cual se transporta el agua a introducir y conocidos los diámetros de tuberías de cada sección, determinamos la velocidad de circulación del cada tramo de tuberías, para la de diámetro 0,5 m y la de 0,25 m.

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión } 0,5} = \Pi * 0,1^2 = 0,196 \text{ m}^2.$$

$$V_{0,5} = Q_{\text{entrada}} / \text{Sección} = 1000,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,196 \text{ (m}^2) = 1,416 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo de 0,5 metros de diámetro} = 1,416 \text{ m/s.}$$

Ahora realizándose lo mismo para el siguiente tramo:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión } 0,25} = \Pi * 0,1^2 = 0,049 \text{ m}^2.$$

$$V_{0,25} = Q_{\text{entrada}} / \text{Sección} = 1000,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,049 \text{ (m}^2) = 5,665 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo de 0,25 metros de diámetro} = 0,0531 \text{ m/s.}$$

Estas velocidades son las mismas para las distintas líneas de producción o conducción del agua de alimentación hasta la filtración grosera, las velocidades de ambos tramos permanecen constantes, sino existen perturbaciones o paros de las mismas, sin influirles la longitud de cada tramo o línea de producción.

Ya que como se menciona en apartados anteriores de este anexo la longitud de cada línea para el tramo de diámetro de 0,5 metros sufre modificaciones ya mencionadas.

A lo largo del desarrollo del cálculo iremos distinguiendo entre las distintas líneas involucradas, e iremos identificando cada uno de los accesorios introducidos en las líneas.

Las líneas de producción constarán de una tubería de impulsión de PVC, el primer de los accesorios que nos encontramos a lo largo de las conducciones no es más que una reducción o estrechamiento de las conducciones, reduciéndose el paso a la mitad del diámetro de las conducciones, pasando de un diámetro de 0,5 metros a 0,25 metros; y la propia conexión de las tuberías de entrada a los filtro de arena.

Con las velocidades de cada tubería, se procede a la determinación del régimen de circulación que se da en cada una de ellas, con el número adimensional conocido como el Reynolds:

Tramo-0,5:

$$Re = (D V^2 \rho) / \mu = 0,5(m) 1,416^2(m/s) 1199,64(Kg/m^3) / 0,00089 (N.s/m) = 1,35.10^6.$$

Régimen Turbulento = $1,35.10^6$ (adimensional).

Tramo-0,25:

$$Re = (D V^2 \rho) / \mu = 0,25(m) 5,665^2(m/s) 1199,64(Kg/m^3) / 0,00089 (N.s/m) = 1,08.10^7.$$

Régimen Turbulento = $1,08.10^7$ (adimensional).

La ecuación que se utiliza para el cálculo de la pérdida de carga (h_f), es la conocida como ecuación de Bernouilli como se muestra a continuación:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

La cual complementaríamos adecuadamente para conocer la potencia de la bomba a partir de las pérdidas de carga conocidas.

Determinado las pérdidas de carga a través de la ecuación de Fannig:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f \quad (m)$$

En donde se destaca:

-4f = Factor de rozamiento; parámetro empírico adimensional que depende de las propiedades del fluido de la velocidad de éste y del diámetro rugosidad interna de la conducción.

Este parámetro representa en realidad un Coeficiente de Transporte de Cantidad de Movimiento.

Permite su inclusión en la ecuación de Bernouilli y que es el término que representa las pérdidas de energía por unidad de peso por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores. El uso de la ecuación de Fannig puede hacerse de forma generalizada, con independencia del tipo de régimen, ya que en régimen laminar no habría más que darle al factor de rozamiento la expresión resultante de igualar las dos ecuaciones correspondientes a los dos tipos de flujo.

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) = \frac{32\mu VL}{\rho \cdot D^2} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2} V^2 \rightarrow (4f) = \frac{D \cdot 32 \cdot \mu \cdot V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D^2} = \frac{64 \cdot \mu}{\rho \cdot V \cdot D} = \frac{64}{Re}$$

La anterior ecuación está de acuerdo con los resultados experimentales del factor de fricción para régimen laminar, y es la manifestación de que los efectos viscosos en el fluido eliminan cualquier irregularidad en el flujo producida por la rugosidad superficial de la conducción.

Partiendo de que el régimen que se obtienen no es laminar sino turbulento debemos de obtener el factor de fricción de otra forma, partiendo de la rugosidad relativa del material y del Reynolds podemos determinar gráficamente el $4f$ o factor de fricción.

Para conducción sabemos que:

- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,5 m.
- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,25 m.
- Tuberías de PVC.
- Régimen Turbulento tubería 0,5 metros diámetro = $1,3 \cdot 10^6$ (adimensional).
- Régimen Turbulento 0,25 metros diámetro = $1,08 \cdot 10^7$ (adimensional).

Los datos de rugosidad relativa del material se han obtenido de la bibliografía suministrada por el distribuidor oficial.

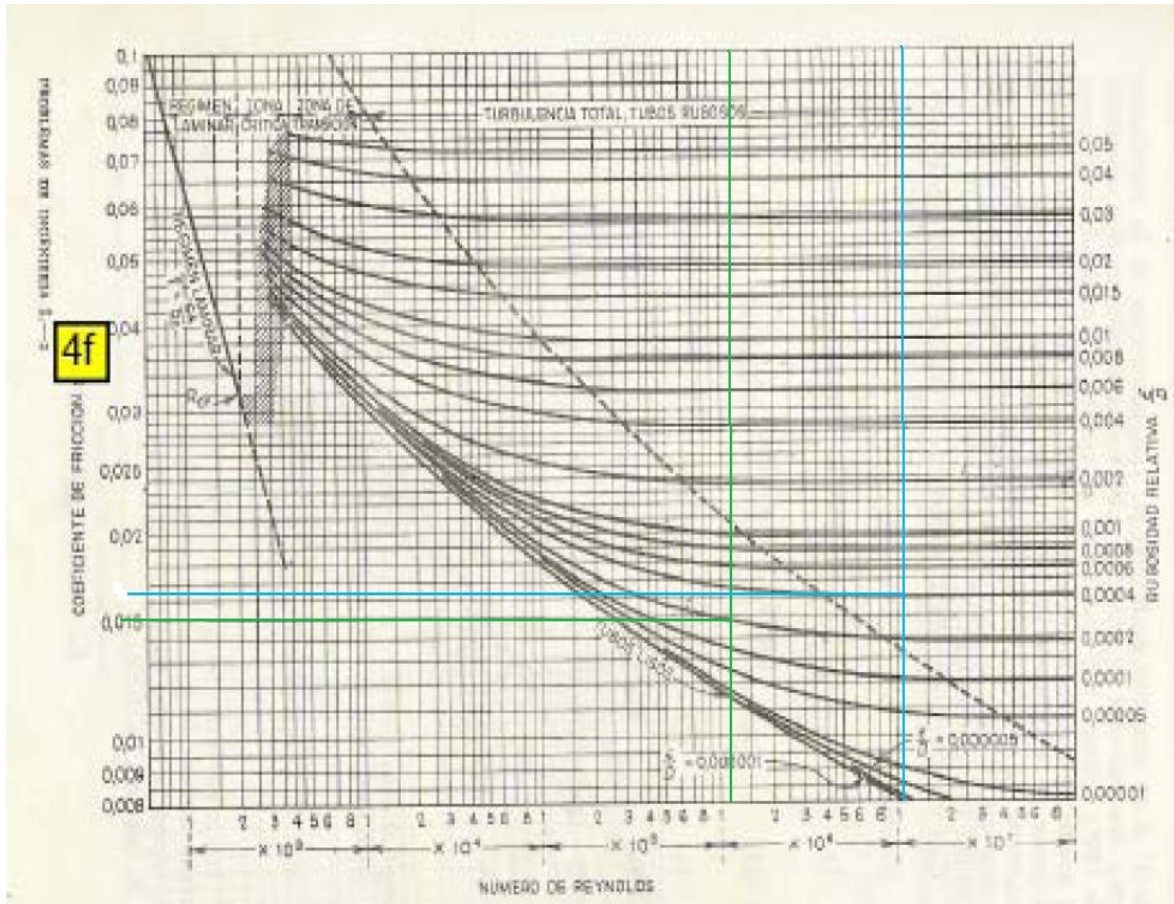
MATERIAL	K (mm)
Cobre y polietileno (PE)	0 á 0,0015
Policloruro de vinilo (PVC)	0 á 0,010
Hierro galvanizado	0,15
Fundición nueva	0,5 á 1,0
Fundición en servicio	1,5 á 3,0

$$\text{Tubo } 0,5 = 0,01 / 50 = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Tubo } 0,25 = 0,01 / 25 = 4 \cdot 10^{-4}$$

Rugosidad relativa tubería de 0,5 metros diámetro = $2 \cdot 10^{-4}$ (adimensional).

Rugosidad relativa tubería de 0,25 metros diámetro = $4 \cdot 10^{-4}$ (adimensional).



Factor de fricción o 4f para tubería de 0,5 metros = 0,013 (adimensional).

Factor de fricción o 4f para tubería de 0,25 metros = 0,014 (adimensional).

Partiendo de la ecuación de Bernouilli ilustrada anteriormente y basándonos en la ecuación de Fanning, despejando el factor de pérdida de carga conocido como h_f , obtenemos la siguiente expresión:

$$h_{f\text{conduccion}} = (4f) L_{eq} V^2 / D 2 g$$

Siendo:

- 4f = factor de fricción.
- V = velocidad del fluido (m/s).
- D = diámetro de la conducción.
- g = aceleración de la gravedad (m/s²) = 9,81.
- L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios y tramo recto de tubería (m).

Para el cálculo de las pérdidas de carga las vamos a dividir en dos, pérdidas de carga producida en los accesorios y en la conducción recta.

Por tanto:

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ conducción } 0,5} + h_{f \text{ conducción } 0,25} + h_{f \text{ estrechamiento}} + h_{f \text{ ensuciamiento}} + h_{f \text{ brida}}$$

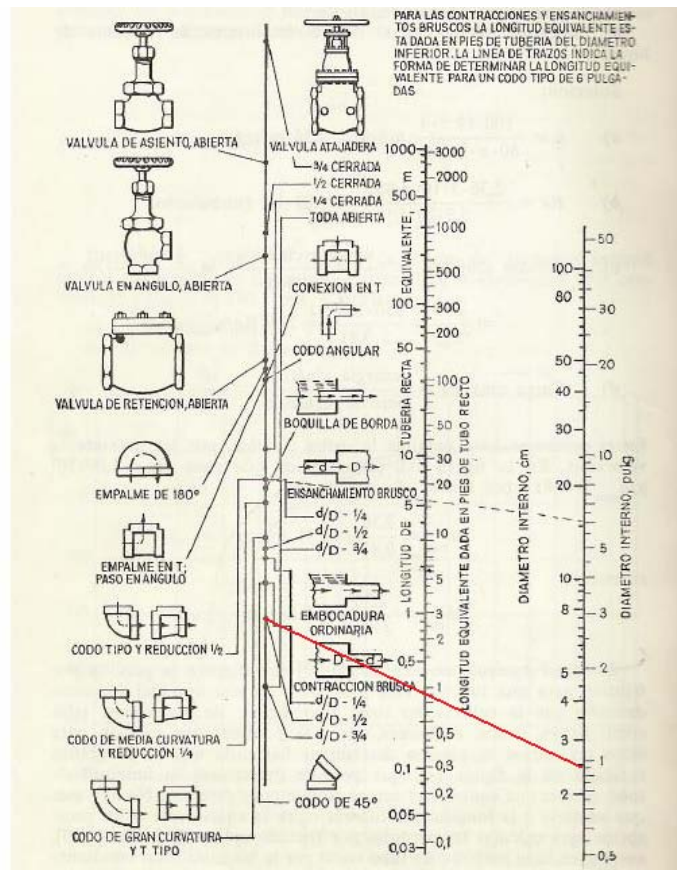
Línea-1:

- $h_{f \text{ conducción } 0,5} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,015 * 15 * 1,416^2 / 0,5 * 2 * 9,81 = 0,046 \text{ m.}$

- $h_{f \text{ ensuciamiento}} = 5 \% \text{ total pérdidas} = 0,046 \text{ m.}$

- $h_{f \text{ conducción } 0,25} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,016 * 5 * 5,665^2 / 0,25 * 2 * 9,81 = 0,524 \text{ m.}$

- $h_{f \text{ estrechamiento } d/D} = \text{gráficamente.}$



- $h_{f \text{ estrechamiento}} = 0,3 \text{ m.}$

$$-h_{f \text{ brida}} = 5\% \text{ del total} = 0,043 \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ total}} = 0,046 \text{ m} + 0,046 \text{ m} + 0,524 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,043 \text{ m} = 0,959 \text{ m.}$$

Perdidas de carga primera Línea-1	$h_{f \text{ conducción } 0,5}$	0,046
	$h_{f \text{ ensuciamiento}}$	0,046
	$h_{f \text{ conducción } 0,25}$	0,524
	$h_{f \text{ estrechamiento}}$	0,3
	$h_{f \text{ brida}}$	0,043
	$h_{f \text{ total}}$	0,959

Línea-2:

$$-h_{f \text{ conducción } 0,5} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,015 * 15 * 1,416^2 / 0,5 * 2 * 9,81 = 0,046 \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ ensuciamiento}} = 5\% \text{ total perdidas} = 0,046 \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ conducción } 0,25} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,016 * 5 * 5,665^2 / 0,25 * 2 * 9,81 = 0,524 \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ estrechamiento } d/D} = \text{gráficamente.}$$

$$-h_{f \text{ estrechamiento}} = 0,3 \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ brida}} = 5\% \text{ del total} = 0,043 \text{ m.}$$

$$-h_{f \text{ total}} = 0,046 \text{ m} + 0,046 \text{ m} + 0,524 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,043 \text{ m} = 0,959 \text{ m.}$$

Perdidas de carga primera Línea-2	$h_{f \text{ conducción } 0,5}$	0,046
	$h_{f \text{ ensuciamiento}}$	0,046
	$h_{f \text{ conducción } 0,25}$	0,524
	$h_{f \text{ estrechamiento}}$	0,3
	$h_{f \text{ brida}}$	0,043
	$h_{f \text{ total}}$	0,959

Para el resto de líneas el cálculo es el mismo, resumiendo las perdidas por líneas:

Perdidas de carga en todas las líneas.	$h_{f \text{ conducción } 0,5}$	0,046
	$h_{f \text{ ensuciamiento}}$	0,046
	$h_{f \text{ conducción } 0,25}$	0,524
	$h_{f \text{ estrechamiento}}$	0,3
	$h_{f \text{ brida}}$	0,043
	$h_{f \text{ total}}$	0,959

18. Pérdida de carga en estación de micro-filtración y bombas de impulsión.

El ámbito de aplicación de este anexo, nos lleva a calcular la pérdida de carga producida entre el bombeo del agua procedente de la filtración grosera y la micro-filtración que se realiza tras ésta, en los correspondientes filtros suministrados por la empresa Tekleen, Automatic Filtres, Inc., modelo ABW16-LP.

Los datos a considerar son los mencionados:

- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,5 m.
- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,25 m.
- Estrechamientos $d/D = 0,5$.
- Caudal de suministro total de $1000,66 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Numero total de líneas de entrada 9.
- Tuberías de PVC.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de un caudal a suministrar a la planta de micro-filtración, para cada filtro de $1000,66 \text{ m}^3/\text{h}$.

Conocido el diámetro de las tuberías y la sección del flujo a la cual se transporta el agua a introducir y conocidos los diámetros de tuberías de cada sección, determinamos la velocidad de circulación de cada tramo de tuberías, para la de diámetro 0,5 m y la de 0,25 m.

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión } 0,5} = \Pi * 0,1^2 = 0,196 \text{ m}^2.$$

$$V_{0,5} = Q_{\text{entrada}} / \text{Sección} = 1000,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,196 \text{ (m}^2) = 1,416 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo de 0,5 metros de diámetro} = 1,416 \text{ m/s.}$$

Ahora realizándose lo mismo para el siguiente tramo:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión } 0,25} = \Pi * 0,1^2 = 0,049 \text{ m}^2.$$

$$V_{0,25} = Q_{\text{entrada}} / \text{Sección} = 1000,66 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,049 \text{ (m}^2) = 5,665 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en el Tramo de 0,25 metros de diámetro} = 0,0531 \text{ m/s.}$$

Estas velocidades son las mismas para las distintas líneas de producción o conducción del agua de alimentación hasta la micro-filtración, las velocidades de ambos tramos permanecen constantes, sino existen perturbaciones o paros de las mismas, sin influirles la longitud de cada tramo o línea de producción.

Las líneas de producción constaran de una tubería de impulsión de PVC comercial, el primer de los accesorios que nos encontramos a lo largo de las conducciones no es más que una reducción o estrechamiento de las conducciones, reduciéndose el paso a la mitad del diámetro de las conducciones, pasando de un diámetro de 0,5 metros a 0,25 metros; y la propia conexión de las tuberías de entrada a los filtro de arena.

Con las velocidades de cada tubería, se procede a la determinación del régimen de circulación que se da en cada una de ellas, con el número adimensional conocido como el Reynolds:

Tramo-0,5:

$$Re = (D V^2 \rho) / \mu = 0,5(m) 1,416^2(m/s) 1199,64(Kg/m^3) / 0,00089 (N.s/m) = 1,35.10^6.$$

$$\text{Régimen Turbulento} = 1,3.10^6 \text{ (adimensional).}$$

Tramo-0,25:

$$Re = (D V^2 \rho) / \mu = 0,25(m) 5,665^2(m/s) 1199,64(Kg/m^3) / 0,00089 (N.s/m) = 1,08.10^7.$$

$$\text{Régimen Turbulento} = 1,08.10^7 \text{ (adimensional).}$$

La ecuación que se utiliza para el cálculo de la pérdida de carga (h_f), es la conocida como ecuación de Bernouilli como se muestra a continuación:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

La cual complementaríamos adecuadamente para conocer la potencia de la bomba a partir de las pérdidas de carga conocidas.

Determinado las pérdidas de carga a través de la ecuación de Fannig:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f \quad (m)$$

En donde se destaca:

-4f = Factor de rozamiento; parámetro empírico adimensional que depende de las propiedades del fluido de la velocidad de éste y del diámetro rugosidad interna de la conducción.

Este parámetro representa en realidad un Coeficiente de Transporte de Cantidad de Movimiento.

Permite su inclusión en la ecuación de Bernouilli y que es el término que representa las pérdidas de energía por unidad de peso por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores. El uso de la ecuación de Fannig puede hacerse de forma generalizada, con independencia del tipo de régimen, ya que en régimen laminar no habría más que darle al factor de rozamiento la expresión resultante de igualar las dos ecuaciones correspondientes a los dos tipos de flujo.

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) = \frac{32\mu VL}{\rho \cdot D^2} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2} V^2 \rightarrow (4f) = \frac{D \cdot 32 \cdot \mu \cdot V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D^2} = \frac{64\mu}{\rho \cdot V \cdot D} = \frac{64}{Re}$$

La anterior ecuación está de acuerdo con los resultados experimentales del factor de fricción para régimen laminar, y es la manifestación de que los efectos viscosos en el fluido eliminan cualquier irregularidad en el flujo producida por la rugosidad superficial de la conducción.

Partiendo de que el régimen que se obtienen no es laminar sino turbulento debemos de obtener el factor de fricción de otra forma, partiendo de la rugosidad relativa del material y del Reynolds podemos determinar gráficamente el $4f$ o factor de fricción.

Para conducción sabemos que:

- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,5 m.
- Tuberías de Impulsión con un diámetro de 0,25 m.
- Tuberías de PVC.
- Régimen Turbulento tubería 0,5 metros diámetro = $1,3 \cdot 10^6$ (adimensional).
- Régimen Turbulento 0,25 metros diámetro = $1,08 \cdot 10^7$ (adimensional).

Los datos de rugosidad relativa del material se han obtenido de la bibliografía suministrada por el distribuidor oficial.

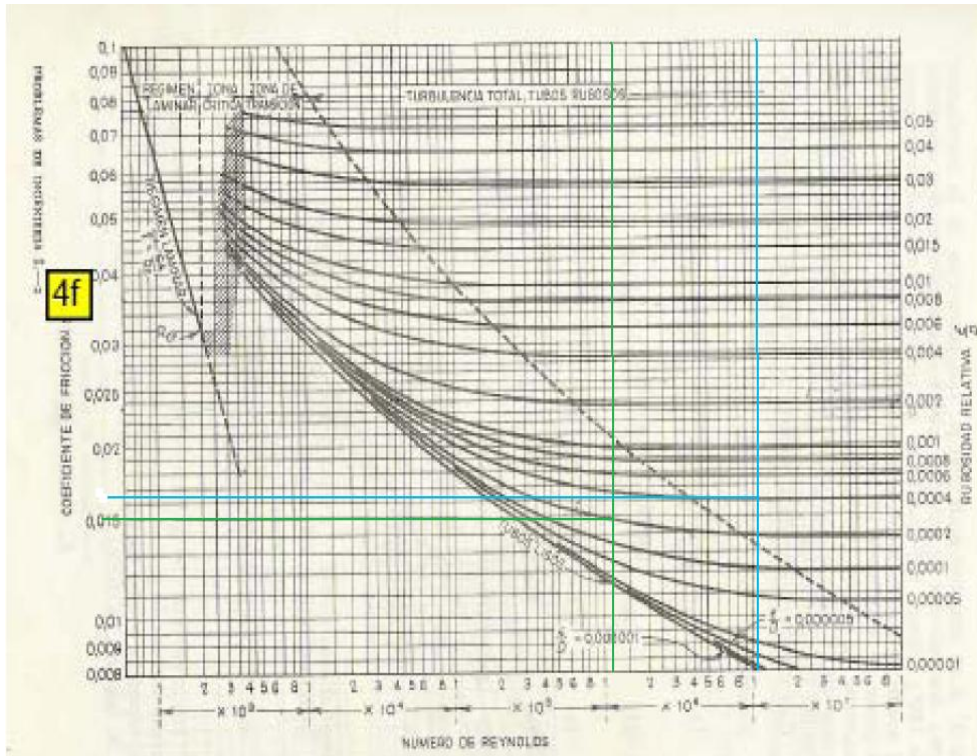
MATERIAL	K (mm)
Cobre y polietileno (PE)	0 á 0,0015
Policloruro de vinilo (PVC)	0 á 0,010
Hierro galvanizado	0,15
Fundición nueva	0,5 á 1,0
Fundición en servicio	1,5 á 3,0

$$\text{Tubo } 0,5 = 0,01 / 50 = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Tubo } 0,25 = 0,01 / 25 = 4 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Rugosidad relativa tubería de 0,5 metros diámetro} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (adimensional).}$$

$$\text{Rugosidad relativa tubería de 0,25 metros diámetro} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ (adimensional).}$$



Factor de fricción o 4f para tubería de 0,5 metros = 0,013 (adimensional).
 Factor de fricción o 4f para tubería de 0,25 metros = 0,014 (adimensional).

Partiendo de la ecuación de Bernoulli ilustrada anteriormente y basándonos en la ecuación de Fanning, despejando el factor de pérdida de carga conocido como h_f , obtenemos la siguiente expresión:

$$h_{f\text{conduccion}} = (4f) L_{eq} V^2 / D 2 g$$

Siendo:

- 4f = factor de fricción.
- V = velocidad del fluido (m/s).
- D = diámetro de la conducción.
- g = aceleración de la gravedad (m/s^2) = 9,81.
- L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios y tramo recto de tubería (m).

Para el cálculo de las pérdidas de carga las vamos a dividir en dos, pérdidas de carga producida en los accesorios y en la conducción recta.

Por tanto:

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ conducción } 0,5} + h_{f \text{ conducción } 0,25} + h_{f \text{ estrechamiento}} + h_{f \text{ ensuciamiento}} + h_{f \text{ brida}}$$

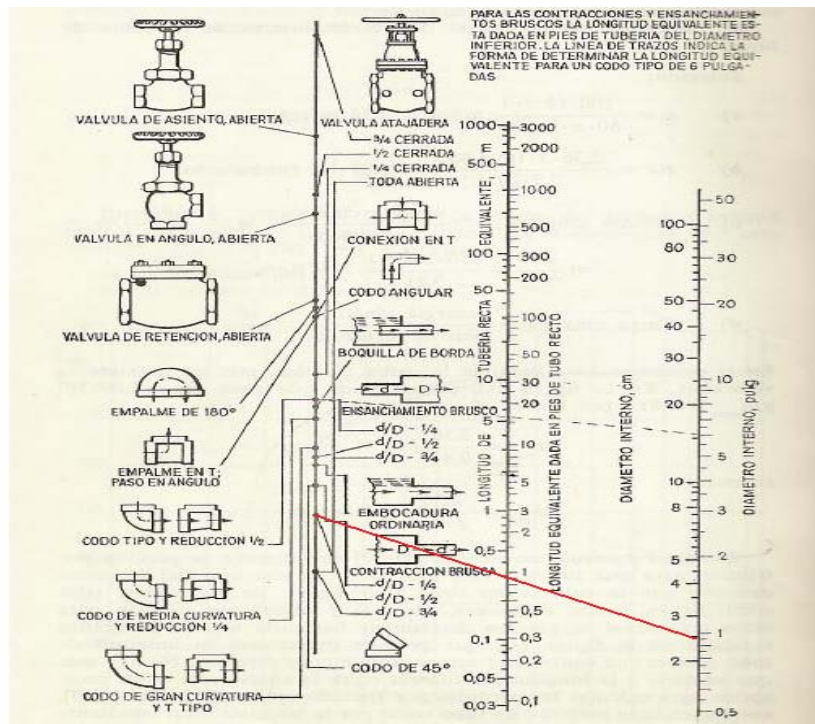
Línea-1:

- $h_{f \text{ conducción } 0,5} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,015 * 4 * 1,416^2 / 0,5 * 2 * 9,81 = 0,0122 \text{ m.}$

- $h_{f \text{ ensuciamiento}} = 5 \% \text{ total pérdidas} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$

- $h_{f \text{ conducción } 0,25} = 4f L V^2 / D 2 g = 0,016 * 4 * 5,665^2 / 0,25 * 2 * 9,81 = 0,42 \text{ m.}$

- $h_{f \text{ estrechamiento } d/D} = \text{gráficamente.}$



- $h_{f \text{ estrechamiento}} = 0,3 \text{ m.}$

- $h_{f \text{ brida}} = 5\% \text{ del total} = 0,021 \text{ m.}$

$$- h_{f \text{ total}} = 0,0122 \text{ m} + 6 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 0,42 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,021 \text{ m} = 0,753 \text{ m}.$$

Perdidas de carga primera Línea-1	$h_{f \text{ conducción } 0,5}$	0,0122
	$h_{f \text{ ensuciamiento}}$	$6 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ conducción } 0,25}$	0,42
	$h_{f \text{ estrechamiento}}$	0,3
	$h_{f \text{ brida}}$	0,021
	$h_{f \text{ total}}$	0,753

Línea-2:

$$- h_{f \text{ conducción } 0,5} = 4f L V^2 / D^2 g = 0,015 * 4 * 1,416^2 / 0,5^2 * 9,81 = 0,0122 \text{ m}.$$

$$- h_{f \text{ ensuciamiento}} = 5 \% \text{ total perdidas} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

$$- h_{f \text{ conducción } 0,25} = 4f L V^2 / D^2 g = 0,016 * 4 * 5,665^2 / 0,25^2 * 9,81 = 0,42 \text{ m}.$$

$$- h_{f \text{ estrechamiento } d/D} = \text{gráficamente}.$$

$$- h_{f \text{ estrechamiento}} = 0,3 \text{ m}.$$

$$- h_{f \text{ brida}} = 5\% \text{ del total} = 0,021 \text{ m}.$$

$$- h_{f \text{ total}} = 0,0122 \text{ m} + 6 \cdot 10^{-4} \text{ m} + 0,42 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,021 \text{ m} = 0,753 \text{ m}.$$

Perdidas de carga primera Línea-2	$h_{f \text{ conducción } 0,5}$	0,0122
	$h_{f \text{ ensuciamiento}}$	$6 \cdot 10^{-4}$
	$h_{f \text{ conducción } 0,25}$	0,42
	$h_{f \text{ estrechamiento}}$	0,3
	$h_{f \text{ brida}}$	0,021
	$h_{f \text{ total}}$	0,753

Lo mismo ocurre con el resto de líneas por tanto no es necesario seguir desarrollando los mismos cálculos. A modo de resumen se muestran las pérdidas de carga en general para toda la instalación.

Perdidas de carga para todas las Líneas	$h_{f\text{conducción}0,5}$	0,1098
	$h_{f\text{ ensuciamiento}}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$
	$h_{f\text{conducción}0,25}$	3,78
	$h_{f\text{ estrechamiento}}$	2,7
	$h_{f\text{ brida}}$	0,189
	$h_{f\text{ total}}$	6,77

Aplicando Bernouilli a la instalación, conocida la perdida de carga que se produce, podemos determinar la potencia de las bombas necesarias para las 9 líneas de producción.

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_A = (V^2/2g) + h_f = (1,415^2/2 \cdot 9,81) + 0,753 = 0,855\text{m.}$$

Calculando la Potencia suministrada al fluido:

$$\text{Potencia}_A = h_A Q \rho g$$

$$P_A = 0,855 \cdot 1000 \cdot 1199,64 \cdot 9,81 = 2,79\text{KW.}$$

Debido a las pérdidas ocasionadas por la fricción mecánica en los componentes de la bomba, la fricción del fluido en la misma y la excesiva turbulencia del fluido que se forma en ella, no toda la potencia suministrada a la bomba es transmitida al fluido. El término eficiencia denota el cociente de la potencia transmitida por la bomba al fluido entre la potencia suministrada a la bomba. Entonces, utilizando el símbolo η , para representarlo; su valor siempre será menor que 1.

$$\eta = \text{Potencia transmitida al fluido } (P_A) / \text{Potencia puesta en la bomba } (P_B)$$

El valor de la eficiencia mecánica de las bombas depende no solamente de su diseño, sino también de las condiciones en las cuales está funcionando, para las bombas centrífugas, el intervalo de eficiencia está comprendido entre 60 y 90 %, aproximadamente.

$\eta = 68\%$ gráficamente.

$$P_B = P_A / \eta = 3,10 \text{ KW.}$$

En el mercado se encuentra con una amplia gama de bombas de impulsión de líquidos, para la aplicación se selecciona a la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm “*Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)*”.

- Caudal máximo 1500 m³/h.
- Altura máxima de impulsión 140.
- Temperatura máxima 200 °C.
- Velocidad máxima 3600 rpm.
- Presión máxima de trabajo 10-16 bar.
- Potencia bomba = 10 KW.

19. Cálculo de los Esterilizadores UV (Ultra-Violetas) necesarios para la desinfección inicial del agua de alimentación.

Antes de tratar el agua de alimentación, aun sin desalar, debemos de eliminar considerablemente el número de bacterias y virus que esta pueda contener; ya que es un foco de infección para el destino final del agua, y supone un foco de ensuciamiento para las membranas de osmosis inversa.

Por lo tanto debemos de tratar el agua para eliminar este foco, para ello existen dos métodos la Cloración del agua o la utilización de Esterilizadores UV; las razones de la utilización de una u otra se desarrollan en la memoria anterior a estos anexos.

Según la bibliografía la dosis media que han de recibir los microorganismos se sitúa alrededor de $30.000 \mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ para una eliminación del 99,9% de los mismos. Solo algunas esporas resisten esta dosis. Esta dosis es el producto de la potencia de la radiación, el tiempo de exposición dividido por el área expuesta.

Que no son más que los factores determinantes en el diseño de la unidad de esterilización y en el rendimiento de la misma.

Las lámparas de radiación se ven afectadas por las incrustaciones que pueden sufrir, en sus cubiertas de cuarzo. Considerando el peor caso, debido a la incrustación mencionada, supone que absorbe el 70% de la radiación incidente.

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

A continuación, se van a describir de forma esquemática las etapas secuenciales que deben llevarse a cabo para el diseño de una instalación de desinfección por radiación Ultravioleta.

La primera etapa consiste en determinar la dosis de radiación requerida para obtener el grado de desinfección deseado. La dosis recibida se expresa normalmente en $\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ y es el producto de la intensidad de radiación (W/cm^2) por el tiempo de exposición (s).

Lo ideal sería realizar un estudio piloto empleando el agua que se quiere tratar y determinar experimentalmente la relación entre dosis aplicada y eficacia de desinfección lograda. Cuando este estudio no se puede llevar a cabo, se deberá acudir a estudios de la bibliografía que normalmente modelizan el valor de N frente a la dosis mediante curvas de tipo exponencial.

Existen también recomendaciones de tipo general, como el documento titulado *Ultraviolet Disinfection. Guidelines for Drinking Water and Water Reuse (National Water Research Institute, 2000)* que recomienda una dosis de $100 \text{ mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ cuando se pretende desinfectar agua depurada mediante un tratamiento secundario ó $50 \text{ mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ cuando ha recibido además un tratamiento de afino para eliminar partículas en suspensión.

En nuestro caso, se va a utilizar los valores recomendados en la bibliografía.

La segunda etapa de diseño, se preocupa de la elección en el mercado de instalaciones UV, que está bastante monopolizado. En Europa (y de modo especial en España), la mayoría de los equipos en funcionamiento son de la casa alemana WEDECO, mientras que en América impone su autoridad la empresa canadiense TROJAN. La primera de ellas emplea lámparas de alta potencia e intensidad, mientras que TROJAN suele emplear lámparas de baja presión y por tanto baja intensidad y potencia.

La tercera etapa de diseño es el cálculo de la intensidad media, donde el procedimiento habitual suele recurrir a modelos matemáticos que, a partir de datos referentes a la calidad del agua y al diseño del sistema de lámparas, permiten estimar la dosis media que reciben los organismos que atraviesan la instalación.

A través de algoritmos matemáticos que se encuentran recogidos en distintos programas de diseño de instalaciones, como vamos a realizar en nuestra instalación, basados en el programa de cálculo, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Química, tecnología de los Alimentos y Medio Ambiente de la Universidad de Cádiz.

$$I_{media} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot A} \iint \frac{T^{r_i - r_0}}{r_i} dx dy$$

Una vez determinada la intensidad media que la configuración de lámparas de nuestro reactor proporciona es sencillo el cálculo de tiempo de radiación que se requiere. Basta dividir la dosis por la intensidad media, obteniéndose el cálculo en segundos del tiempo medio de radiación.

Una vez que tenemos calculado la intensidad media podemos pasar al cálculo del número de lámparas necesarias para la esterilización del caudal a tratar, por cada línea de producción se van a tratar 1000 m³/h.

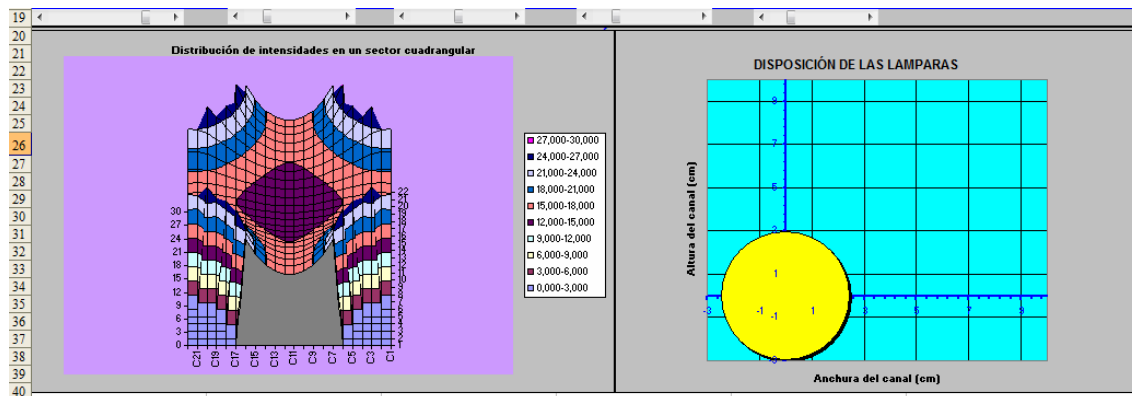
Con el número de lámparas y la distancia entre ellas se puede configurar el canal con cierta libertad. Lo habitual es que los bancos de lámparas sean cuadrados (igual número de lámparas por fila que por columna).

Si el número total de lámparas es excesivo se pueden poner varios bancos en serie (o en paralelo, pero no es habitual). Es importante que las distancias de los haces de lámparas a las paredes del canal sea como mucho la mitad de la distancia entre lámparas.

Para que el flujo sea estable, conviene dejar antes y después de cada banco una distancia de canal de al menos 0,75 metros.

Realizando todo el cálculo a través del programa de cálculos se obtiene los siguientes datos:

Microsoft Excel - DOSIS_UV_Desaladora.xls					
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?					
H26					
A	B	C	D	E	F
Pérdida de carga	Caudal Total	Int. media	Dosis	Tiempo	Nº Lámparas
mm agua	m ³ /h	mW/cm ²	mW·s/cm ²	s	nº
50,64	1007,9	16,20	35,45	2,19	36
CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA					
nº Lámparas por fila	nº Lámparas por columna	Bancos nº	Canales nº	Longitud cm	radio cm
6	6	1	1	147	3
Distancia al borde		Separación entre lámparas (cm)		Coef. pérdida carga	nº Reynolds
horizontal	vertical	horizontal	vertical	K	Re
6	6	12	12	2,2	4,25E+05
VARIABLES					
Transmitancia Tanto por uno/cm	Velocidad m/s	Potencia nominal Watos/lámpara	Coefficientes pérdida Ensuciamiento	Intensidad % Envejecimiento	Potencia real Watos/lámpara
0,85	0,672	100	20	20	64,0



Resumiendo: las lámparas que se deben de colocar en el canal de desinfección de agua de mar por luz ultravioleta deben de poseer las siguientes características:

- Intensidad Media de 16,20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
- Dosis necesaria para la eliminación de bacterias y virus, 35,45 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
- Longitud de las lámparas, 147 cm.
- Radio de las lámparas, 3 cm.
- Potencia real de las lamparas, 64 W.

Los bancos o canales por donde va a pasar el agua a desinfectar, deben de tener las siguientes características:

- Número de lámparas por filas, 6.
- Número de lámparas por columna, 6.
- Número de lámparas totales, 36.
- Separación horizontal entre lámparas, 12 cm.
- Separación vertical entre lámparas, 12 cm.
- Distancia a los bordes de los canales, 6 cm.
- Caudal de tratamiento 1007,9 m³/h.
- Perdida de carga, 50,64 mm.

20. Dimensionado de las pérdidas de carga producidas en la instalación de esterilización UV, dimensionado de las bombas de impulsión y canal de ultravioleta.

La instalación de esterilización es la fase previa a la entrada del agua marina a las bombas de presión, para su paso a través de las membranas de osmosis inversa. La solución que se adoptó para tratar el efluente de agua con un caudal de 1000 m³/h, por línea de producción, es la de hacer pasar este caudal por una serie de treinta y seis lámparas, para eliminar las posibles bacterias y virus que pueda llevar en su contenido.

La instalación que aquí se describe pertenece a una línea de producción de 1000 m³/h, que se proyectara del mismo modo para el resto de líneas.

Las características de la instalación son:

- Tuberías de PVC de DN 50 mm.
- Caudal a tratar 1000 m³/h.
- Líneas de producción nueve en total.
- Accesorios de medición y regulación; caudalímetros por cada línea de esterilización, válvula de regulación, codo 90° y tes.
- Canal de hormigón.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de un caudal a suministrar a las lámparas de UV de 1000 m³/h. Y un diámetro de tuberías de 0,5 m (50 cm).

Conocido el diámetro de tubería y la sección del flujo a la cual se transporta el agua procedente de la filtración grosera, determinamos la velocidad de circulación del mismo:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,5^2 = 0,196 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 1000 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,196 \text{ (m}^2) = 1,415 \text{ m/s.}$$

Velocidad en el Tramo de entrada de agua .

En ese tramo nos encontramos con un caudalimetro de regulación y actuación sobre la bomba de impulsión y dos válvulas que encierran el caudalimetro entre ellas.

Calculándose la pérdida de carga en este tramo:

Rugosidad del PVC = 1mm.

Rugosidad relativa = 0,002 (adimensional).

Reynolds = $D V^2 \rho / \mu = (0,5 \cdot 1,415^2 \cdot 1199,64) / 8,9 \cdot 10^{-4} = 1,35 \cdot 10^6$.

$4f$ = obtenido graficamente = 0,024.

Determinado las pérdidas de carga a través de la ecuación de Fanning, en la tubería de entrada y salida de agua al canal.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f \quad (\text{m})$$

$$h_{f \text{ filtración-esterilización}} = 0,024 \cdot (2/0,5) (1,415^2 / 2 \cdot 9,81) = 9,79 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ caudalimetro}} = 5 \% h_{f \text{ total}} = 4,89 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ válvulas}} = 5 \% h_{f \text{ total}} = 4,89 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ ensuciamiento}} = 5 \% h_{f \text{ total}} = 4,89 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total}} = h_{f \text{ filtración-esterilización}} + h_{f \text{ caudalimetro}} + h_{f \text{ válvulas}} + h_{f \text{ ensuciamiento}}$$

$$h_{f \text{ total}} = 2,44 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

La pérdida de carga producida en las distintas tuberías de entrada y salida de agua de mar esterilizada con luz ultravioleta es de; $h_{f \text{ total}} = 4,89 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$

Sumando la pérdida de carga producida por las lamparas en el canal de paso; la perdida total es de:

$$h_{f \text{ lamparas}} = 1,82 \text{ m} + h_{f \text{ total}} = 4,89 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ instalación sin canal}} = 1,87 \text{ m.}$$

El canal por el que circula el agua a desinfectar, es de un canal rectangular con la parte inferior abierta, para la instalación de los distintos módulos de lámparas.

Calculandose las pérdidas de carga en el canal, para ello debemos de basarnos en el diámetro equivalente de esta conducción para asemejarse con las conducciones circulares.

$$D_{eq} = \frac{4 \cdot Y \cdot b}{2 \cdot Y + b}$$

Siendo:

- Y, la profundidad de líquido.
- b, anchura del canal.

Por tanto se obtiene un diámetro equivalente, para las dimensiones del canal, que se detallaran más adelante de; 1,22 m.

Aplicando los mismo calculos para la pérdida de carga a través del canal se obtiene:

$$h_{fcanal} = 0,035(0,8/0,22) (0,62^2/2,9,81) = 2,49 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Por tanto la pérdida de carga, en el canal de desinfección por lámparas de ultravioleta (UV):

$$h_{f \text{ total canal}} = h_{fcanal} + h_{f \text{ instalación sin canal}} = 2,49 \cdot 10^{-3} \text{ m} + 1,87 \text{ m.}$$

$$h_{f \text{ total canal}} = 1,872 \text{ m.}$$

Aplicando Bernouilli a la instalación, conocida la pérdida de carga que se produce, podemos determinar la potencia de las bombas necesarias para las 9 líneas de producción.

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_A = (1,41^2 / 2,9,81) + 1,872 \text{ m} = 1,973 \text{ m}.$$

Calculando la Potencia suministrada al fluido:

$$\text{Potencia}_A = h_A Q \rho g.$$

$$P_A = 1,973 * 1000 * 1199,64 * 9,81 = 6,45 \text{ KW}.$$

Debido a las pérdidas ocasionadas por la fricción mecánica en los componentes de la bomba, la fricción del fluido en la misma y la excesiva turbulencia del fluido que se forma en ella, no toda la potencia suministrada a la bomba es transmitida al fluido. El término eficiencia denota el cociente de la potencia transmitida por la bomba al fluido entre la potencia suministrada a la bomba. Entonces, utilizando el símbolo η , para representarlo; su valor siempre será menor que 1.

$$\text{Rendimiento} = \text{Potencia transmitida al fluido} / \text{Potencia suministrada por la Bomba}$$

El valor de la eficiencia mecánica de las bombas depende no solamente de su diseño, sino también de las condiciones en las cuales está funcionando, para las bombas centrífugas, el intervalo de eficiencia está comprendido entre 60 y 90 %, aproximadamente.

$$\text{Potencia de la Bomba} = 9,92 \text{ KW}.$$

En el mercado se encuentra con una amplia gama de bombas de impulsión de líquidos, para la aplicación se selecciona a la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm “*Bomba Centrífuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)*”.

- Caudal máximo 1500 m³/h.
- Potencia 100 KW.
- Altura máxima de impulsión 140.
- Temperatura máxima 200 °C.
- Velocidad máxima 3600 rpm.
- Presión máxima de trabajo 10-16 bar.



Materiales

Cuerpo	Hierro fundido	Hierro fundido nodular	Bronce
Tapa cierre	Hierro fundido	Hierro fundido nodular	Bronce
Impulsor	Hierro fundido/Bronce		Bronce
Eje	Acero		Acero inoxidable
Camisa eje	Acero/Bronce/Acero inoxidable		
Soporte rodamiento	Hierro fundido		

Con las distintas características de la instalación se proyecta un canal de las siguientes dimensiones, teniendo en cuenta que las lámparas deben de tener una separación entre ellas de 12 cm, y una separación de 6 cm con las distintas paredes del canal.

Las lámparas tienen una altura de 147 cm y distan del fondo unos 6 cm, cada una de ellas; las distintas lámparas se agrupan en 3 módulos de 12 lámparas cada uno de ellos, con un total de 36 lámparas por canal; la separación entre los distintos módulos es de 12 cm y entre las lámparas que lo componen.

El canal está proyectado su construcción en hormigón armado, con un grosor de pared de 20 cm, con una altura de 2 metros y una longitud de 0,72 m.

Las distintas disposiciones se pueden ver en el gráfico correspondiente e ilustrativo contenido en los anexos.

21. Cálculo de la presión necesaria en las líneas de alta presión.

En el presente anexo de cálculo, se realiza el cálculo de la presión necesaria que ha de suministrar 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. Para conocer la presión con que llega a la bomba de alta presión se añade las pérdidas correspondientes al tramo desde la entrada al recuperador y se le resta las correspondientes al tramo de succión de la bomba.

En primer lugar se calculan las pérdidas en el tramo del recuperador:

$$H_f = h_{f\text{ codo}90} + h_{f\text{ tubop}1} + h_{f\text{ aumento}} + h_{f\text{ codo}} + h_{f\text{ tubosp}2} + h_{f\text{ alvulas}} + h_{f\text{ té}} + h_{f\text{ tramo-tubo}}$$

La mayoría están ya calculadas en sus correspondientes memorias de cálculo, de las tuberías del pretratamiento.

$$H_f = 0,077 + 0,356 + 0,021 + 0,151 + 0,125 + 0,473 + 1,827 + 0,75 = 3,79 \text{ J/Kg.}$$

Y las pérdidas que se debe de restar son:

$$H_{f\text{ restar}} = h_{f\text{ tédesvio}} + h_{f\text{ tubos}}$$

Partiendo de los cálculos de las velocidades en cada tramo y del Reynolds:

$$V_2 = 0,03124 / (0,24/2)^2 \pi = 0,70 \text{ m/s.}$$

$$Re_2 = (1,025 \cdot 0,70 \cdot 0,241) / 1,15 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ y } \epsilon / D = 0,00003$$

Obteniéndose un valor del $4f$ en la grafica de Moody de 0,017. Calculando las pérdidas de carga se obtiene un valor de:

$$H_f = 20 \cdot 0,017 \cdot (0,70^2/2) + 0,017 \cdot 10 \cdot (0,70^2/2) = 0,12 \text{ J/Kg.}$$

Por tanto, el valor de la presión en la succión es de: 2,3 bar.

Una vez que tenemos el conocimiento de la presión en la succión de la bomba de alta, aplicando la ecuación de Bernouilli, entre la succión de la bomba de alta y la entrada a las membranas. A las membranas ha de llegar con una presión de 65 bar aproximadamente, incrementado en un 10% para cuando operan sucias.

$$\frac{227102,4 + 0,70^2 + \eta W_p}{1025 * 2} = \frac{646690 + 9,8 * 4,5 + 2,7^2}{1025 * 2} + \sum h_f$$

$$\eta W_p = 6135,29 + \sum h_f$$

$$\sum h_f = h_{ftubos} + h_{fretención} + h_{ftubos} + h_{faumento} + h_{ftubos} + h_{fdesvio}$$

$$h_{ftubos} : V_2 = 0,031 / (0,15/2)^2 \pi = 1,72 \quad Re = 2,5 \cdot 10^5 \quad y \quad \varepsilon/D = 0,000045$$

Con un valor de $4f = 0,016$; $h_{ftubos} = 0,30 \text{ J/Kg}$.

$$h_{fretención} = 1,25 * 504,5^2 / 831^2 = 2,54 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{ftubos} = 0,016 * 7,86 * (1,72^2/2) = 0,19 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{faumento} \Rightarrow k = 1,95 \quad y \quad V_2 = 0,031 / (0,254^2/2) \pi = 0,625 \text{ m/s}$$

$$h_{faumento} = 0,38 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{ftubo} \Rightarrow Re = 1,5 \cdot 10^5$$

$$h_{fte} \Rightarrow V_2 = 0,0909 \text{ m}^3/\text{s} / (0,254/2)^2 \pi = 1,78 \text{ m/s} \Rightarrow Re = 4 \cdot 10^5;$$

$$\varepsilon/D = 0,00003 \Rightarrow h_{fte} = 0,43 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{ftubos2} = 0,27 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{fcodos} = 0,26 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{ftereducida} = 3,90 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{fempalmetubos} = 2,0 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{ftereducida2} = 4,48 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{fvalvulabola} = 0,06 \text{ J/Kg}.$$

$$h_{ftubos-ret} = 1,16 \text{ J/Kg}.$$

Obteniéndose un valor de la sumatoria de las perdidas de carga en la instalación de $h_{ftotal} = 16,00 \text{ J/Kg}$.

Sustituyendo este valor en la expresión anterior se obtiene:

$$\eta W_p = 6135,29 + \sum h_f = 6.151,30 \text{ J/Kg.}$$

Convirtiendo a las unidades del sistema internacional el valor de la presión que debe proporcionar la bomba de alta, suponiendo un 10% de ensuciamiento de las membranas es de:

$$P_{\text{bombas de alta presión}} = 628,9 \text{ m} = 64 \text{ bar.}$$

22. Instalación submarina de tubería de Polietileno correspondiente al emisario submarino de salida de salmuera al mar.

Diseño hidráulico y técnico

Características técnicas para el diseño de tuberías de polietileno

Para realizar los cálculos necesitaremos cifras de las propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas esenciales se describen en términos de:

E_0 = módulo de elasticidad en tiempo de carga cero y baja carga (MPa)

E_C = módulo de fluencia, tiempo > 0 , esfuerzo $\sigma > 0$ y constante (MPa)

E_R = módulo de relajación, tiempo > 0 , deformación $\varepsilon > 0$ y constante (MPa)

σ_0 = resistencia a los reventones en tiempo cero (MPa)

σ_C = resistencia a la fluencia en tiempo > 0 (MPa) (también denominado resistencia a los reventones)

ν = Índice de Poisson = $\varepsilon_r / \varepsilon_1$

ε_1 = tracción en dirección axial

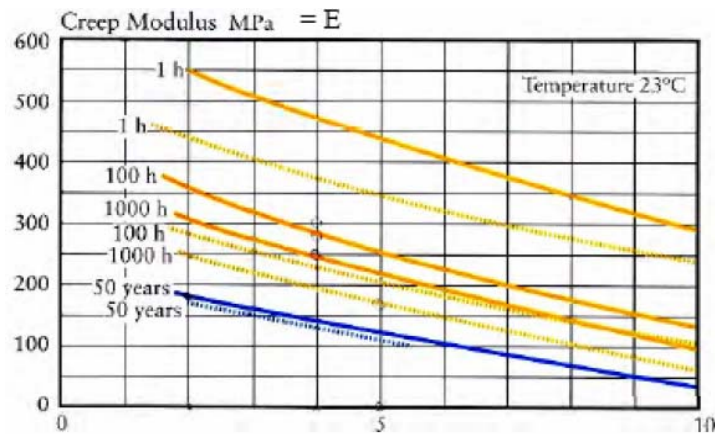
ε_r = deformación circunferencial

α = expansión térmica ($^{\circ}C^{-1}$)

Por motivos prácticos, se presupone que el módulo de relajación (E_R) y el módulo de fluencia (E_C) son iguales. $E_R = E_C = E$ (módulo E) como función de la carga y el tiempo de carga. Las propiedades mecánicas de una tubería de polietileno dependen además de la temperatura.

Normalmente las propiedades se dan a $20^{\circ}C$ o $23^{\circ}C$.

Las figuras muestran ejemplos de cómo varían el módulo E y la resistencia a la fluencia (resistencia a los reventones) como función del tiempo y el esfuerzo. Para la resistencia a la fluencia también se indica la influencia de la temperatura.



Las curvas se han tomado del libro Borealis “Tuberías de plástico para suministro de agua y eliminación de aguas residuales”, escrito por Lars-Eric Janson. Para las tuberías de polietileno se elige habitualmente una vida útil de 50 años como tiempo de funcionamiento total.

El esfuerzo de régimen (σ_d) se introduce con la fórmula:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{C,50\text{year}}}{C}$$

- $\sigma_{C,50\text{años}}$ = resistencia a los reventones (resistencia a la fluencia) para el polietileno para una carga constante durante 50 años.

-C = coeficiente de proyecto (coeficiente de seguridad).

Las valores normales son $C = 1,25$ o $C = 1,6$.

En la actualidad las calidades del material de polietileno son principalmente PE80 y PE100. Estos materiales presentan una resistencia a los reventones de 8MPa y 10MPa respectivamente para una tensión constante durante 50 años a 20°C.

Las tensiones de régimen se indican en la tabla:

Material	Esfuerzo	Esfuerzo
	de régimen	de régimen
	C=1,6	C=1,25
PE 80	5,0 MPa	6,4 MPa
PE 100	6,3 MPa	8,0 MPa

Esfuerzo de régimen.

Para aplicaciones submarinas, utilizamos normalmente un coeficiente de proyecto de 1,6. Otro factor importante es la rugosidad según Nikuradse, en lo relativo a los cálculos de la capacidad hidráulica de la tubería.

Una tubería nueva tendrá una rugosidad baja, pero pueden generarse incrustaciones debido al paso del tiempo y aumentar así el factor de rugosidad.

La calidad del agua que fluye por las tuberías es relevante en la evolución de la rugosidad.

Normalmente distinguimos entre agua potable y aguas residuales. Para una tubería nueva, el valor de rugosidad puede ser tan bajo como 0,05 mm, pero esta cifra solo tiene un interés teórico.

Tipo de Aguas	Tipo de Tubería de Polietileno		
	Admisión	Transporte	Salida
Potable	2 mm	0,25 mm	----
Residual	----	0,5 mm	1 mm

Diseño hidráulico

El vertido de la salmuera, producida por el rechazo de las membranas de ósmosis inversa de la planta desaladora, se hará mediante un emisario, cuya longitud total es de 2,5 kilómetros. Se compone de un tramo terrestre y otro submarino, ambos proyectados con tuberías de polietileno. El tramo submarino tiene su origen en la línea de costa en bajamar y llega hasta el punto de vertido con igual diámetro (1600 mm) que la tubería del tramo anterior. La longitud de este tramo es 1,9 kilómetros, de los cuales los últimos 100 metros corresponden al tramo difusor.

Se va a habilitar una cántara de dilución, en la línea de costa para facilitar la previa dilución de la salmuera de salida, el emisario parte desde esta estación con la longitud ya mencionada.

Está prevista la instalación de una estación de bombeo en cabecera del emisario que proporcione la energía necesaria para que el líquido desagüe con presión a la salida de los difusores mar adentro. De esta forma se facilita la mezcla del agua proveniente de la cántara con el rechazo de salmuera para la dilución de la concentración de la misma.

Calculándose previamente la pérdida de carga producida en la conducción de la salmuera hasta los propios difusores situados unos 20 metros por debajo del nivel del mar y la propia bomba de impulsión de la misma.

Partiendo de los siguientes datos de partida:

- Caudal de vertido de salmuera = 2,22 m³/s.
- Longitud total emisario = 2500 m.
- Diámetro interno emisario = 1600 mm.
- Cota de profundidad = -25 m.

La pérdida de carga (Δh) en una tubería se describe generalmente mediante la fórmula:

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + \sum k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + \frac{\Delta \rho}{\rho_0} \cdot y$$

- f = coeficiente de fricción.
- L = longitud de la tubería (m).
- D = diámetro interno (m).
- v = velocidad en la tubería (m/s).
- g = aceleración de la gravedad (= 9.81 m/s²)
- Σk = suma de coeficientes para pérdidas de carga singulares
- $\Delta\rho$ = diferencia de densidad entre el agua dentro de la tubería y el agua en el medio receptor (kg/m³).
- ρ_0 = densidad del agua dentro de la tubería (kg/m³).
- y = profundidad del agua en el punto de salida del medio receptor.

El coeficiente de fricción (f) depende del número de Reynolds (Re):

$$R_e = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

- v = velocidad.
- D = diámetro interno (m).
- ν = viscosidad del agua (m²/s).

La viscosidad del agua depende de la temperatura:

$$T = 20^\circ\text{C} \quad \nu = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}.$$

$$T = 10^\circ\text{C} \quad \nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}.$$

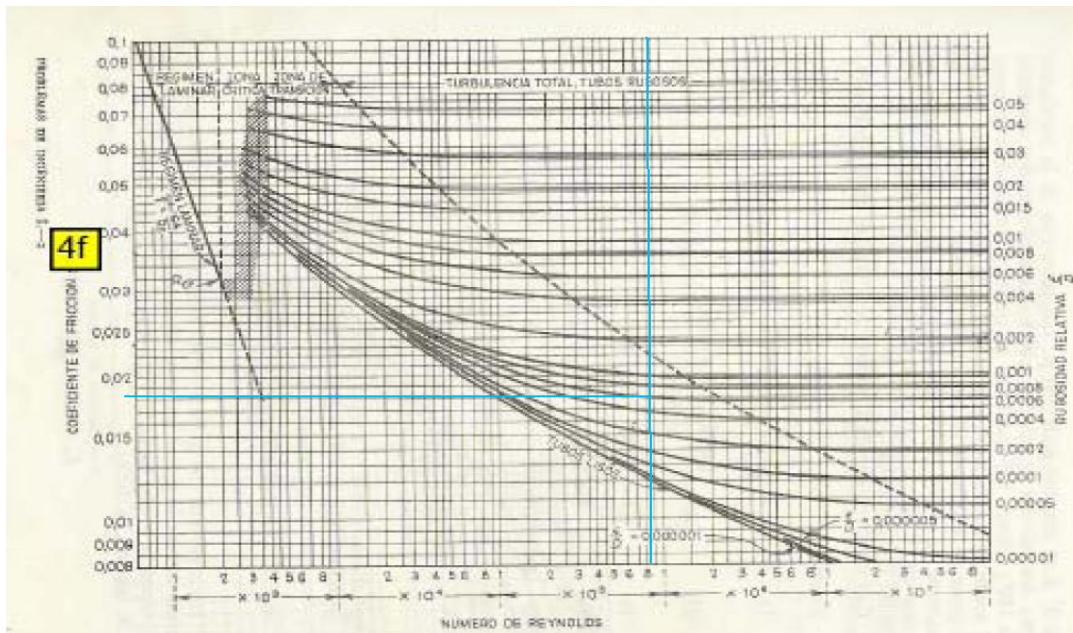
Tomándose un valor viscosidad para una temperatura de 20 °C, el Reynolds toma un valor de = 841674,25 adimensional, calculándose previamente la velocidad del fluido.

La velocidad (v) puede calcularse con la fórmula:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi D^2}$$

Para un caudal de 2,22 m³/s y un diámetro interno de 1600 mm, el valor de la velocidad obtenido es igual a 1,105 m/s.

La rugosidad del emisario de polietileno es de 1 mm y su diámetro de 1600 mm su rugosidad relativa es igual a 0,00062 adimensional.



Por tanto el valor del factor de fricción o 4f es igual a 0,018 (adimensional), dando un valor de f igual a 0,0045 (adimensional).

Conociendo f, podemos calcular la pérdida de carga por fricción (Δh) para la tubería a partir de la primera parte de la fórmula:

$$\Delta h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\Delta h = (0,0045 \cdot 2500 \text{ m} \cdot 1,105^2 \text{ m/s}) / (1,6 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2) = 67,34 \text{ mca.}$$

Con un valor de Presión de = 1188747,03 Pa \approx 11,88 bar \approx 1,18 MPa.

El tercer término de la fórmula, anteriormente descrita, describe la pérdida de carga por densidad (llamada resistencia del agua salada) cuando el agua fluye a un medio receptor donde la densidad del agua (por ejemplo, agua salada) es mayor o menor como es el caso.

$$\Delta h_p = \frac{\Delta \rho}{\rho_o} \cdot y$$

Normalmente, este término sólo se tiene en cuenta cuando se trata de tuberías para emisarios si existe diferencia de densidad entre las aguas residuales y el agua del medio receptor. La diferencia de densidad puede ser debida al contenido de sal en el agua o a diferencias de temperatura.

Considerando un incremento de salinidad en el agua producto o llamada salmuera del 99 %, en el proceso de osmosis las membranas elegidas son capaces de eliminar esta cantidad de sal del agua producto y concentrarlas en el agua rechazo o salmuera, produciéndose un incremento de la densidad del agua rechazo o salmuera.

El agua salada tiene una densidad aproximada de 1199,64 Kg/m³, por tanto la salmuera densidad rondando el valor de 1799,46 Kg/m³.

Dándose:

$$\Delta_{h(\rho-\rho_o)} = (1799,46 \text{ Kg/m}^3 - 1199,64 \text{ Kg/m}^3 / 1799,46 \text{ Kg/m}^3) * 25 \text{ m}$$

$$\Delta_{h(\rho-\rho_o)} = 8,33 \text{ mca.}$$

$$\text{Pérdida de carga total} = 67,34 \text{ mca} + 8,33 \text{ mca} = 75,67 \text{ mca} \approx 1,33 \text{ MPa} \approx 13,35 \text{ bar.}$$

Partiendo de las pérdidas de carga producidas se calcula la potencia de la bomba y la potencia que esta suministra al fluido.

Para determinar la bomba característica, se aplica Bernouilli entre el punto de succión y la tubería o emisario de salida de la salmuera, es decir, en la misma boca de salida de la bomba.

La ecuación descrita se puede escribir como:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Los datos de partida para el cálculo son los siguientes:

- Caudal a impulsar = 8000 m³/h ≈ 2,22 m³/s.
- Longitud del emisario = 2500 m.
- Cota de vertido = -25 m.
- Perdida de carga producida = 75,67 m.
- Presión de carga = 1 atm.
- Presión de descarga (atm + columna de liquido) = 3,9 atm.

Sustituyendo y despejándose h_A su valor es igual a 100,73. Calculando la Potencia teórica y mínima que debe poseer la bomba, para la impulsión del liquido.

$$P = h_a Q \rho g = 100,73 \text{ (m)} \cdot 2,22 \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot 1799,46 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \cdot 9,81 \text{ (m/s)} = 1,09 \text{ KW.}$$

De donde se obtiene una potencia suministrada al fluido de transporte de 1,09 KW, en base al rendimiento de la bomba, se obtiene la potencia mínima necesaria para transportar el fluido.

$$\text{Potencia de la Bomba} = 1,09 \text{ KW} / \text{rendimiento} = 1,68 \text{ KW.}$$

En el mercado no encontramos con las bombas del Fabricante Goulds Pumps “Vertical Turbina Pumps”, Modelo VIT-FF, con las siguientes características:

- Capacidad 65,000 GPM \approx 14763 m³/h.
- Temperaturas máxima de trabajo 250 °C.
- Acta para aguas saladas.
- Protegidas contra la corrosión.
- Motor 710 r.p.m.
- Altura total de impulsión en cabeza de 30 m.
- Grafica característica en anexo bombas emisario salida.



Velocidad de auto-limpieza

Otro factor importante en las tuberías submarinas es evitar la formación de depósitos en el interior de la tubería y evitar la acumulación de aire/gas. Para comprobar la capacidad de auto-limpieza de la tubería, tendremos en cuenta el esfuerzo cortante del caudal (T):

$$T = \rho g (D / 4) I$$

- ρ = densidad del agua (Kg/m³)
- g = aceleración de la gravedad (= 9,81 m/s²)
- D = diámetro interior (m)
- I = pendiente de la línea de pérdida por fricción $\Delta h/L$

Para que la tubería sea autolimpiable, el esfuerzo cortante ha de ser $\geq 4 \text{ N/m}^2$.

- I = 75,67 / 2500 = 0,031.
- D = 1,6 m.
- $\rho = 1799,46 \text{ Kg/m}^3$
- T = 218,89 N/m² $\geq 4 \text{ N/m}^2$.

Como podemos apreciar, el esfuerzo cortante es $> 4 \text{ N/m}^2$ por lo tanto, no debemos esperar que se forme algún depósito en la tubería. No es necesario instalar equipos para el lavado por descarga de agua o rascadores para la limpieza.

Transporte de aire

Las acumulaciones de aire y de gas son los “peores enemigos” de las tuberías subacuáticas. Para solucionar estos problemas existen 2 posibles soluciones:

- a) Evitar que entre aire en la tubería.
- b) Que haya la suficiente velocidad en la tubería para transportar el aire/gas a través de la misma.

Las acumulaciones de aire/gas en una tubería implicarán:

- disminución de la capacidad hidráulica.
- “Flotación” o desplazamiento vertical.

Para las tuberías de emisarios, la cámara de salida debe construirse de tal modo que el aire no pueda entrar en la tubería. Esto significa que hay que tener en cuenta:

- el nivel normal del agua más bajo, en el medio receptor/fuente (LLW)
- vértice.
- fluctuaciones en el nivel del agua debidas a cambios bruscos de caudal.

En la mayoría de los casos, esto implica que la parte superior del emisario en el punto en el que deja la cámara debe estar en unos límites de 0,5-1,5 m por debajo del nivel normal del agua más bajo.

Para tuberías de emisarios como para tuberías de admisión, hay que evitar los puntos altos en el trazado.

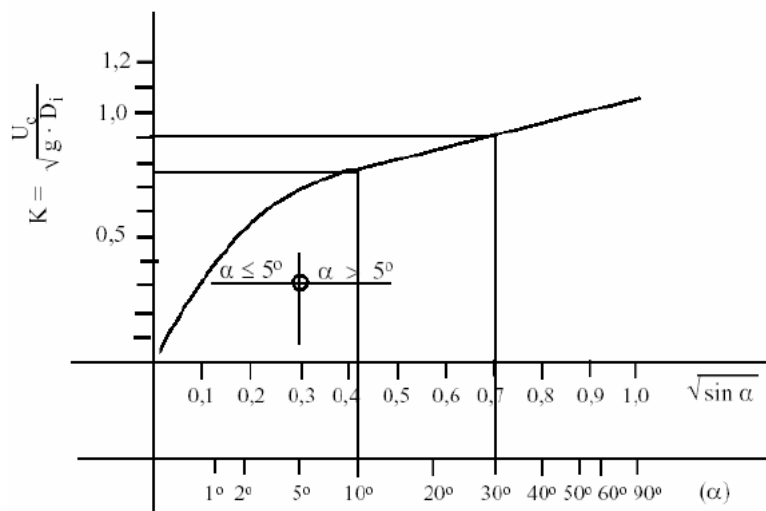
El caudal debe alcanzar la velocidad crítica U_c , para eliminar las burbujas de aire presentes en la tubería. La velocidad crítica del agua, U_c , viene dada por:

$$U_c = f(D_i \text{sen } \alpha)$$

D_i = diámetro interno de la tubería (m).

α = gradiente de la tubería.

Mediante una expresión simplificada, relacionamos U_c en función de: $U_c = K (g D_i)^{1/2}$. El factor k se representa en el grafico como función de $\text{sen } \alpha$, es aplicable para $\alpha = 0^\circ - 90^\circ$.



Calculando el factor U_c , para los siguientes casos, el primero donde el ángulo es de 10° y un máximo de 30° .

Para 10° :

De la grafica se obtiene $K = 0,75$; por tanto se obtiene un valor de U_c igual a:

$$U_c = 0,75 (9,81 * 1,6)^{1/2} = 2,97 \text{ m/s.}$$

Para 30°

De la grafica se obtiene $K = 0,9$; por tanto se obtiene un valor de U_c igual a:

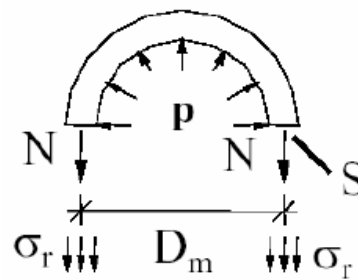
$$U_c = 0,9 (9,81 * 1,6)^{1/2} = 3,56 \text{ m/s.}$$

Si la velocidad en el interior de la tubería es superior a 1,66 m/s, las burbujas de aire serán transportadas junto con el agua. Cumpliéndose en ambos casos, por tanto no se acumula el aire dentro del emisario de salida.

Diseño estático

En este capítulo presentaremos las fórmulas necesarias para decidir el espesor de pared de la tubería, teniendo en cuenta las fuerzas externas e internas que actúan sobre la tubería.

La presión interna creará tensiones en la pared del tubo tanto en dirección circunferencial como en dirección longitudinal. La tensión en dirección longitudinal depende de la forma en que puede moverse la tubería (fija o con libertad de movimiento).



Sistema estático de la presión interna en un tubo cortado

No se producen esfuerzos cortantes debidos a la presión interna. Sólo se producirá un esfuerzo de tracción (N) en la dirección circular. Si integramos los componentes de la presión, obtenemos el siguiente resultado basado en el equilibrio de fuerzas:

$$2 \cdot N = p D_m$$

Siendo:

N = Esfuerzo de tracción (N).

P = Presión (N/m² = Pa).

D_m = diámetro medio (m).

Si introducimos la tensión circular (σ_r) y el espesor de pared (s), podemos desarrollar las siguientes fórmulas:

$$N = \sigma_r \cdot S$$

Siendo:

$$\sigma_r = \frac{p \cdot D_m}{2 \cdot S}$$

$$S = \frac{p \cdot D_m}{2 \cdot \sigma_r}$$

Puesto que $D_m = D - s$

$$s = \frac{p \cdot D}{(2 \cdot \sigma_r + p)}$$

Siendo:

σ_r = tensión de diseño.

D = diámetro exterior.

Lista de las propiedades mecánicas para materiales de polietileno que deben utilizarse en los cálculos ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Propiedad	Unidad	PE80	PE100
Densidad	kg/m ³	950	960
Tensión de régimen 50 años $\sigma_{d,50}$	MPa	5,0/6,4 *	8,0/6,3 *
Esfuerzo de régimen en tiempo cero $\sigma_{d,0}$	MPa	8,0/10,4 *	9,4/12,0 *
Módulo de elasticidad en tiempo cero E0	MPa	800	1050
Módulo de elasticidad tras 50 años E50	MPa	150	200
Índice de Poisson ν	-	0,4-0,5	0,4-0,5
Coefficiente medio de expansión térmica α	$^\circ\text{C}^{-1}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$

Los coeficientes de seguridad son 1,6 y 1,25 respectivamente.

Propiedades mecánicas para tuberías de polietileno.

Para nuestra aplicación PE100 con un factor de seguridad de 1,25; sometida a una presión de proyecto de 13,35 bar (1,33 MPa):

$$S = (1,33 \cdot 1,6) / (2 \cdot 8 + 1,33) = 0,12 \text{ m.}$$

$$S = 0,12 \text{ m} \approx 12 \text{ cm} \approx 120 \text{ mm.}$$

Comprobando el esfuerzo al que es sometida la tubería:

$$\sigma_r = \frac{P}{2} (SDR - 1)$$

$$\text{Donde; } SDR = D/s = 1,6/0,12 = 13,33.$$

$$\sigma_r = 1,3/2 (13,33 - 1) = 8,01 \approx \text{al dato tabulado.}$$

Cargas externas/pandeo

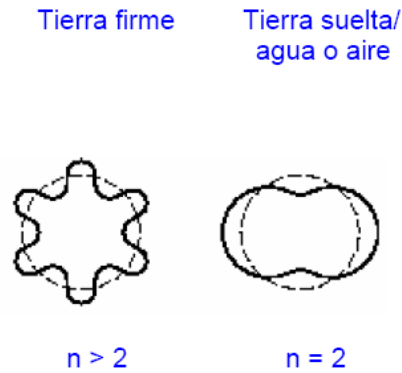
El riesgo de deformación por pandeo de una tubería de PE expuesta a cargas externas donde estas cargas, en el caso de tuberías subacuáticas, puede ser:

- Subpresión.
- Cubierta de tierra en la zanja.

La subpresión puede crearse de distintas maneras:

- Pérdidas singulares y por fricción en las tuberías de admisión.
- Golpes de ariete.
- Subpresión durante el proceso de hundimiento de la tubería.
- Presión del agua exterior sobre las tuberías llenas de aire utilizadas como elementos de flotabilidad.

El pandeo se produce cuando las fuerzas de compresión en dirección circunferencial de la tubería sobrepasan la estabilidad del material. La figura muestra “imágenes de pandeo” de una tubería en una zanja en tierra firme y en tierra suelta al aire o en agua.



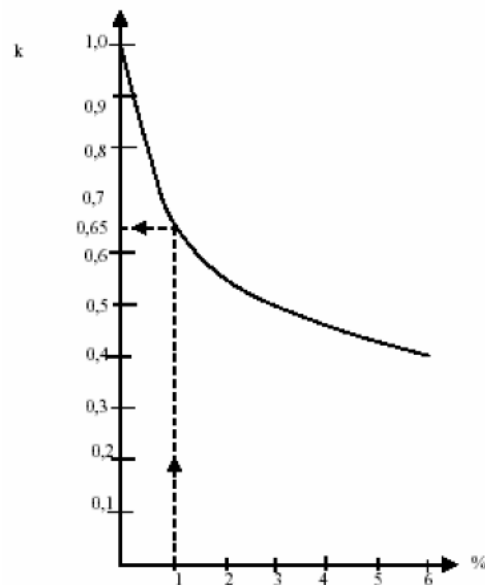
Una tubería, durante el proceso de hundimiento o de tendido sobre el fondo marino, puede considerarse sin apoyar en los tramos normales entre los contrapesos de hormigón.

La presión de pandeo para una tubería sin apoyo puede calcularse con la fórmula:

$$P_{buc} = \frac{2 \cdot E}{1 - \nu^2} \cdot \left(\frac{s}{D_m}\right)^3 \cdot k$$

Siendo:

- P_{buc} = presión de pandeo (MPa).
- E = módulo de elasticidad (para cargas de larga duración, se aplicará el módulo de fluencia. Para golpes de ariete elásticos aplicaremos el módulo de elasticidad para cargas de corta duración).
- ν = Índice de Poisson (0,4-0,5).
- s = espesor de la pared (m).
- D_m = diámetro medio (m).
- k = factor de corrección debido al ovalamiento- ver figura.



Grado de ovalamiento

Factor de corrección debido al ovalamiento.

Podemos transformar la fórmula anterior sustituyendo al SDR por la fracción D/s:

$$P_{buc} = \frac{2 \cdot E}{1 - \nu^2} \cdot \frac{k}{(SDR - 1)^3}$$

Calcular la capacidad de presión por pandeo durante el hundimiento del emisario, P_{buc} , para una tubería PE100, de 1600 mm de diámetro, sin apoyo, expuesta a golpes de ariete. El módulo de elasticidad para cargas de corta duración es 1050 MPa. Suponer un ovalamiento del 1% y $\nu = 0,4$.

$$P_{buc} = ((2 \cdot 1050)/(1 - 0,4^2)) \cdot (0,65/(13,3 - 1)^3) = 0,866 \text{ MPa.}$$

Esto significa que la tubería puede resistir el vacío durante un breve periodo de tiempo. No obstante, es habitual introducir un coeficiente de seguridad, $F=2$; para estos cálculos: no se recomienda exponer la tubería a una subpresión superior a:

$$P_{buc}/F = 0,866 / 2 = 0,433 \text{ MPa.}$$

Los tubos subacuáticos expuestos a subpresión pueden ayudarse de contrapesos de hormigón si la distancia entre los contrapesos es lo suficientemente pequeña. De ese modo aumentará la capacidad frente al pandeo de la tubería.

La presión de pandeo podría expresarse de la siguiente manera:

$$P_{buc1} = \frac{2,2 \cdot s \cdot \sqrt{E}}{1} \cdot \sqrt{P_{buc}} \cdot \frac{k}{F}$$

Siendo:

- l = distancia entre soportes.
- P_{buc} = presión de pandeo para tubería sin apoyos.
- s = espesor de pared.
- k = coeficiente de reducción debido al ovalamiento.
- F = coeficiente de seguridad (2,0).

$$P_{buc1} = ((2,2 \cdot 0,12 \cdot 1050^{1/2}) / (5)) \cdot (0,433^{1/2}) \cdot (0,65/2) = 0,36 \text{ MPa.}$$

Con un factor de seguridad de F igual a 2, se obtiene un pandeo con un valor de 0,18 MPa.

Las tuberías submarinas de Polietileno flotan debido a su flotabilidad si no se cargan con contrapesos de hormigón, ya que el peso específico del polietileno es inferior al del agua que le rodea. El propósito de los contrapesos también es proporcionar estabilidad frente a:

- Acumulaciones de aire y gas (aunque es preferible solucionar este problema mediante otros métodos.
- Fuerzas debidas a las corrientes.
- Fuerzas debidas al oleaje.

Calculando la cantidad de carga dependiendo de las especificaciones técnicas del proyecto. Este grado de carga suele estar relacionado con el desplazamiento de la tubería:

$$A_D = \frac{W_{CM}}{\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \gamma_w} \cdot 100\%$$

Siendo:

- W_{cw} = peso de los contrapesos de hormigón en el agua, distribuido entre la tubería.
- D = diámetro exterior.
- γ = peso específico del agua circundante.

Otra forma de describir el grado de carga es compararlo con la flotabilidad del volumen interno de la tubería. Esto se llama la tasa de llenado de aire se emplea para describir el grado de carga:

$$a_a = \frac{W_{CM} + w_{tub.gua}}{\pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \gamma_w} \cdot 100\%$$

Siendo:

- $W_{tub.a}$ = peso de la tubería en agua (negativo).
- d = diámetro extendido = $(D - L/2)$.

El grado de llenado de aire nos dice qué grado de volumen interno de la tubería ha de estar lleno de aire para que la tubería flote. Esta definición incluye también el peso de la tubería.

Es preciso señalar que una tasa de llenado de aire de, por ejemplo, un 30% no significa que debamos esperar que el 30% del volumen interno esté lleno de aire durante el funcionamiento, sino simplemente se trata de una forma práctica de describir el grado de carga.

Si una tubería es cargada de acuerdo a una tasa de llenado de aire del 30% significa que para obtener el equilibrio del sistema, el 30% del volumen interno de la tubería debe estar lleno de aire. Puede ser útil conocer la relación entre el peso de un cuerpo en aire y en agua.

Esto puede expresarse de la siguiente manera:

$$\frac{w_w}{w_a} = \frac{\rho - \rho_w}{\rho}$$

Siendo:

- w_w = peso en agua.
- w_a = peso en aire.
- ρ = densidad del cuerpo.
- ρ_w = densidad del agua.

En nuestro caso la tubería PE100 SDR26 de 1600mm de diámetro es lastrada con contrapesos de hormigón colocados a una distancia entre centros de 5 m. El peso en aire de cada contrapeso de hormigón es 5,6 kN. El peso de la tubería en aire es 0,35 kN/m. Suponer $\rho_{PE} = 960 \text{ kg/m}^3$, $\rho_w = 1199,64 \text{ Kg/m}^3$ y $\rho_c = 2400 \text{ kg/m}^3$. Calculándose la tasa de llenado de aire, a_a .

En primer lugar se halla el peso de los contrapesos de hormigón y de la tubería en el agua:

Para una pieza.

$$w_{cw} = 6,5 \left(\frac{2400-1000}{2400} \right) \text{ KN} = 3,8 \text{ KN}.$$

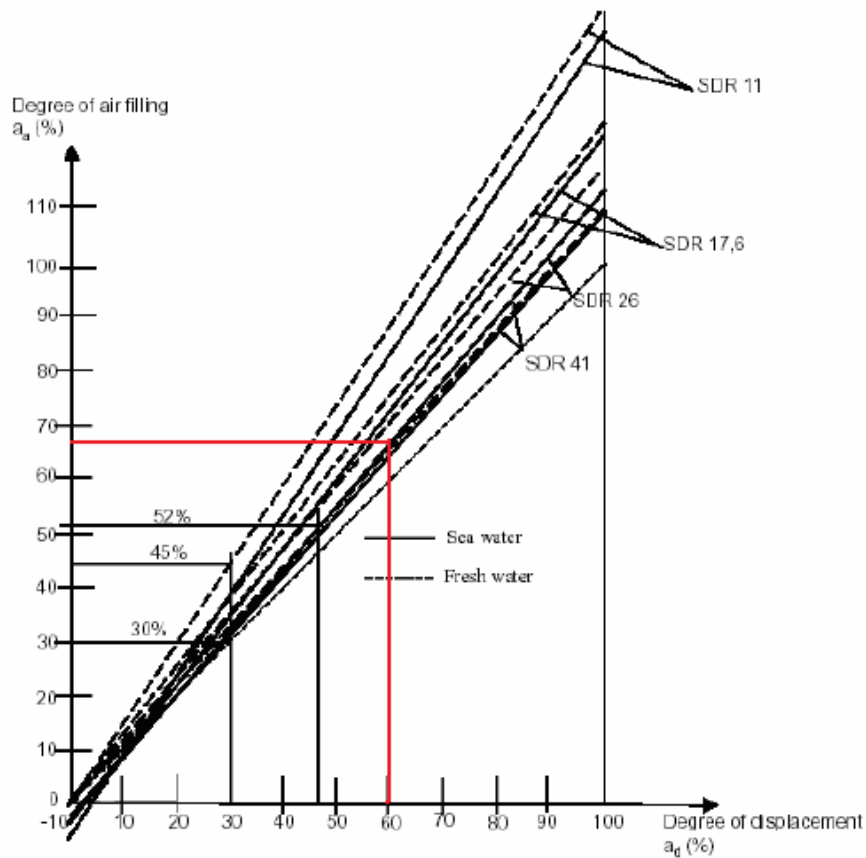
Por metro de tubería.

$$w_{cw} = 3,8 / 5 \text{ (KN/m)} = 0,76 \text{ KN/m}.$$

$$w_{\text{tub.a}} = 0,35 \cdot ((960-1199,64)/960) \text{ KN/m.} = -0,087 \text{ KN/m.}$$

$$a_a = (((0,76-0,087)100)/(\pi \cdot 0,35^2 \cdot 1025 /4)) \% = 68,3 \ \%.$$

El grado de desplazamiento correspondiente puede hallarse con ayuda del grafico y SDR 26 para agua marina.



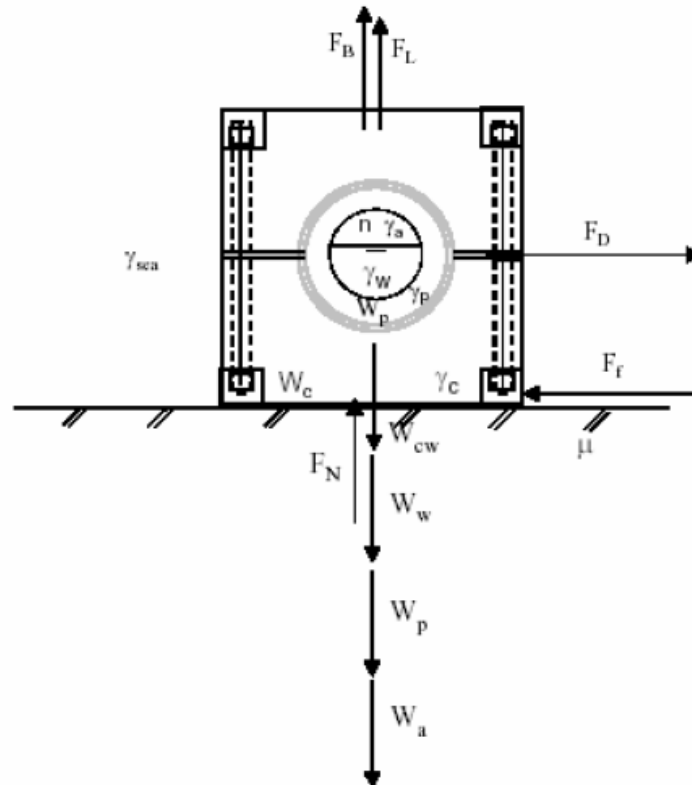
Relación entre el grado de desplazamiento y el grado de llenado de aire para determinar la carga con contrapesos de hormigón.

Esto nos da que: $a_d \approx 68,3 \%$

Para todas las situaciones prácticas $a_a > a_d$.

El grado de carga a someter el emisario PE100 SDR26, es de un 68,3% del peso del mismo.

A continuación se establece una serie de fórmulas para comprobar la estabilidad de la tubería subacuática sometida a una acumulación de aire/gas y a fuerzas externas debidas a las corrientes y al oleaje. La situación se ilustra en la figura:



Estabilidad de una tubería de PE sobre el fondo marino.

Supongamos que las fuerzas de las corrientes y del oleaje pueden descomponerse en una fuerza de resistencia al avance, F_D , en la dirección horizontal, y una fuerza de sustentación F_L , en dirección vertical, que actúan simultáneamente sobre la tubería. Para evitar el deslizamiento, estas dos fuerzas han de ser contrarrestadas por el peso del sistema y la fuerza de rozamiento entre los contrapesos de hormigón y el fondo marino.

El equilibrio de fuerzas verticales da:

$$F_N = W_{cw} + W_w + W_p + W_a - F_D - F_L$$

Siendo:

- F_N = fuerza normal contra el fondo marino.
- W_{cw} = peso sumergido por m tubería de los contrapesos de hormigón.
- W_w = peso en agua por m interior tubería.
- W_p = peso de tubería por m en aire.
- W_a = peso de aire/gas por m interior tubería.
- F_D = flotabilidad de la tubería por m.
- F_L = fuerza de sustentación.

El equilibrio de fuerzas en la horizontal da: $F_f \geq F_D$.

Puesto que $F_f = \mu \cdot F_N$, obtenemos el criterio de estabilidad: $\mu \geq (F_D/F_N)$.

$$w_{cw} = w_{ca} - \frac{\gamma_c - \gamma_{sea}}{\gamma_c}$$

Siendo:

- W_{ca} = peso de los contrapesos de hormigón en aire por m de tubería.
- γ_c = peso específico del hormigón.
- γ_{sea} = peso específico del agua del mar.

$$w_w = (1 - n) \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \gamma_w$$

Siendo:

- n = cantidad de tramo lleno de aire ej. 30%, $\eta=0,3$.
- d = diámetro interno.
- γ_w = peso específico del agua del interior de la tubería.

$$w_a = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \gamma_a$$

Siendo:

$-\gamma_a$ = peso específico del aire del interior de la tubería.

$-W_a$ puede despreciarse en la mayoría de los casos.

$$F_B = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \gamma_{sea}$$

La tubería PE100 SDR26 de 1600 mm de diámetro está tendida sobre el fondo marino y sometido al ataque de corrientes y oleaje. La fuerza de resistencia al avance de diseño $F_D = 0,4 \text{ kN}$ y la fuerza de sustentación de diseño $F_L = 0,2 \text{ kN}$. El grado de acumulación de aire se calcula que es $n=0,15$. En la tubería hay un contrapeso de hormigón cada 5 m. El contrapeso de hormigón tiene un peso en aire de 5,6 kN. El peso de la tubería es de 1,104 kN/m.

Se supondrá un peso específico del hormigón de 23,5 kN/m³, un peso específico del agua marina de 10,05 kN/m³ y un peso específico del agua residual o salmuera de 10 kN/m³. El peso específico del aire/gas es 0,4 kN/m³.

Calculándose el peso de los contrapesos de hormigón por m de tubería en agua marina mediante la formula:

$$W_{cw} = (5,6/5) (23,5 - 10,05/23,5) \text{ KN/m} = 0,61 \text{ KN/m}$$

El peso del agua en el interior de la tubería, por metro:

$$W_w = (1 - 0,15) (\pi \cdot 10^2 \cdot 0,35^2 / 4) \text{ KN/m} = 0,481 \text{ KN/m}$$

La flotabilidad:

$$F_B = (\pi \cdot 0,35^2 / 4) \cdot 10,05 \text{ KN/m} = 0,96 \text{ KN/m}$$

$$F_N = (0,61 + 0,481 + 0,345 + 0,46 - 0,96 - 0,2) = 0,67$$

El coeficiente de fricción mínimo:

$$\mu_{\min} = 0,4/0,67 = 0,6$$

Para que el tubo no se deslice, el coeficiente de fricción entre los contrapesos de hormigón y el fondo marino debe ser superior a 0,65.

Si consultamos la tabla de los tipos de contrapesos:

Tipo	Coeficiente de fricción
Rectangulares	0,5
Circulares	0,2
Estrellados	0,8

Coefficientes de fricción aproximados de los contrapesos de hormigón.

Vemos que únicamente los contrapesos en forma de estrella podrán dar este coeficiente de fricción. La conclusión es pues que la tubería es estable sólo si los contrapesos de hormigón son del tipo estrellado. De lo contrario, la tubería se deslizará lateralmente.

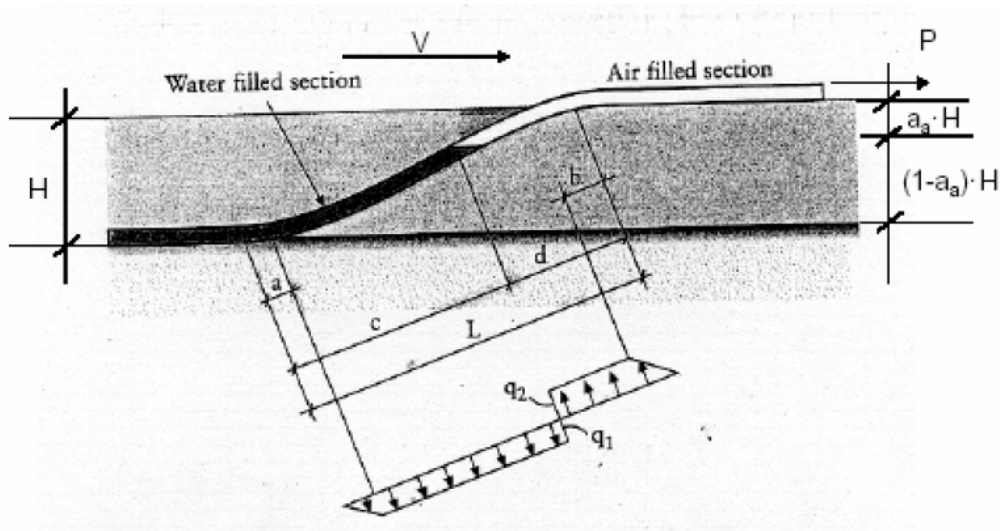
La tasa de llenado de aire, contrapeso estrellado, correspondiente:

$$a_a = (0,61 - 0,027) (\pi \cdot 10 \cdot 0,35^2 / 4) 100\% = 60,1 \%$$

Diseño de los parámetros para el proceso de hundimiento

La fase crítica en la instalación de tuberías de Polietileno es el hundimiento.

La figura ilustra la situación durante el hundimiento de una tubería de polietileno.



Para llevar a cabo una instalación segura debemos tener en cuenta el equilibrio entre las fuerzas que actúan hacia abajo (q_1) y las fuerzas que actúan hacia arriba (q_2). Las fuerzas descendentes las crean fundamentalmente los contrapesos de hormigón de la tubería y las fuerzas ascendentes son debidas a la flotabilidad de la sección llena de aire.

Para iniciar y proseguir con el proceso de hundimiento, las fuerzas hacia abajo han de ser ligeramente superiores a las fuerzas ascendentes. Controlar esta diferencia es esencial y constituye el principal reto durante el hundimiento. Hemos de intentar evitar las fuerzas de aceleración sobre el sistema. Esto puede controlarse registrando la velocidad de hundimiento (v) y regulando la presión interna (p). Si la velocidad aumenta, podemos aumentar la presión del aire y viceversa.

Para regular la presión del aire, utilizamos válvulas y un compresor.

La situación más crítica para la tubería en lo que respecta a posibles daños es el pandeo en la superficie marina o en el fondo debido a que se excede el radio máximo de pandeo.

Para asegurar un radio suficiente es necesario aplicar una fuerza de tracción (P) en el extremo de la tubería. Se dispone de los siguientes parámetros de control y regulación durante el hundimiento:

- presión del aire (p).
- fuerza de tracción (P).
- velocidad de hundimiento (v).

La presión interna depende de la carga de los contrapesos de hormigón. El parámetro importante es la tasa de llenado de aire a_a . Para obtener un tramo lleno de aire que equilibre el peso de los collarines de hormigón, debemos aplicar una presión interna (p) en la tubería.

$$P = a_a \cdot H$$

Siendo:

- P = presión interna (mwc).
- a_a = grado de llenado de aire.
- H = profundidad del agua (m).

La presión interna depende de la profundidad del agua. Esto significa que hemos de incrementar la presión a medida que aumenta la profundidad. El compresor ha de tener capacidad para producir suficiente aire frente a una presión que corresponde a la profundidad máxima, incluyendo la caída de presión en las tuberías de transmisión.

Calculándose la presión interna de equilibrio para una tubería PE100 SDR26 de 1600 mm de diámetro que tiene un grado de carga mediante contrapesos de hormigón correspondiente a una tasa de llenado de aire $a_a = 68,3\%$.

Profundidad (m)	a_a	P_{interna} (mwc)	P_{interna} (bar)
2,5	0,68	1,7	0,16
5	0,68	3,4	0,33
7,5	0,68	5,1	0,49
10	0,68	6,8	0,66
12,5	0,68	8,5	0,82
15	0,68	10,2	0,99
17,5	0,68	11,9	1,15
20	0,68	13,6	1,31
22,5	0,68	15,3	1,48
25	0,68	17	1,64

Presión a realizar por el compresor a medida que aumenta la profundidad tubería.

Fuerza de tracción

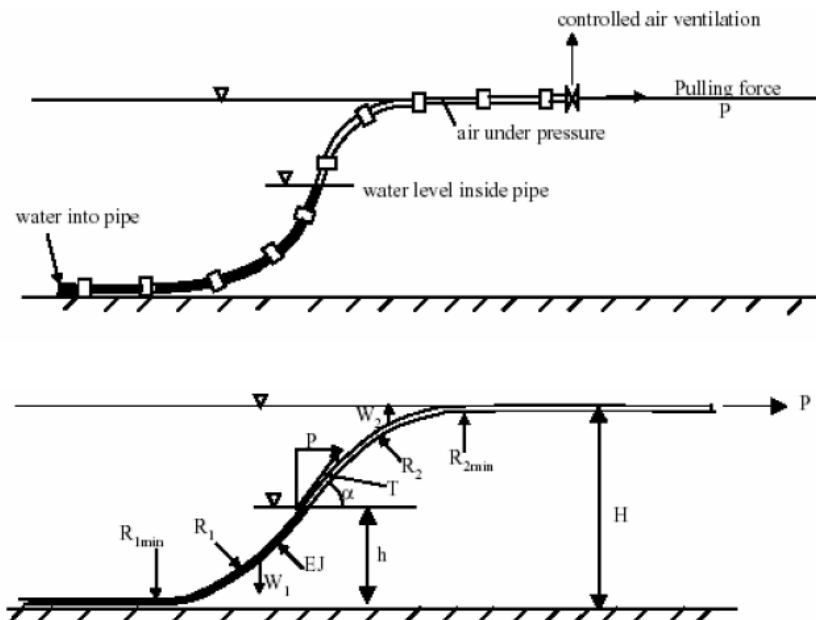
La fuerza de arrastre en el extremo de la tubería se aplica para controlar la posición de la tubería y para aumentar el radio de flexión durante el hundimiento. Si el porcentaje de carga es inferior al 50%, lo que normalmente sucede, el radio crítico se produce en la superficie marina. Sino, será en el fondo.

Llevar a cabo un cálculo correcto del proceso de hundimiento es complicado y debe realizarse con la ayuda de programas informáticos. No obstante, hay un método sencillo de realizar un cálculo aproximado de la fuerza de tracción. Este método se basa en la teoría del eslabón de la cadena y es válido para aguas profundas.

Las aguas profundas se definen como:

$$H > 12. D; 25 \text{ m} > 19,2 \text{ m.}$$

Cumpléndose esa condición.



Proceso, forma y parámetros técnicos de una tubería de PE durante su hundimiento.

Distinguiéndose los siguientes parámetros en el gráfico:

- H = profundidad (m).
- h = altura interna del agua (m).
- w₂ = flotabilidad neta en el tramo lleno de aire (N/m).
- w₁ = peso neto del tramo lleno de agua (N/m).
- P = fuerza de tracción (N).
- T = fuerza de tracción en el punto de cambio (N).
- α = ángulo formado por el eje de la tubería ya la horizontal en el punto de cambio (°).
- R₁ = radio de flexión en el tramo lleno de agua (m).
- R₂ = radio de flexión en el tramo lleno de aire (m).
- EJ = rigidez de la tubería.

Cuando se sumerge el extremo para conectar la tubería hemos de verificar que el radio de flexión es mayor que el radio de pandeo:

$$R = L^2/2.H$$

Podemos desarrollar las siguientes relaciones matemáticas en relación a los distintos parámetros señalados en el gráfico anterior:

$$R_{1\min} = P/w_1 \quad \rightarrow \quad R_{2\min} = P/w_2$$

$$\cos \alpha = P / (P + w_w h)$$

$$T = P + w_1 \cdot h.$$

$$w_2 = (1 - a_a / a_a) w_1$$

Obteniéndose las fuerzas de tracción necesaria, utilizando el radio crítico R_{min}.

$$-P_1 = w_1 \cdot R_{\min}.$$

$$-P_2 = w_2 \cdot R_{\min}$$

El emisario PE100 SDR26 de 1600mm de diámetro ha de instalarse a 25 m de profundidad.

La tubería tiene un grado de carga correspondiente a un 68% de llenado de aire.

El hundimiento ha de ser realizado utilizando un coeficiente de seguridad frente a pandeo de 2,0. La densidad del agua del mar puede tomarse como 1199,63 kg/m³.

Debiéndose obtener los siguientes factores:

- a) radio de flexión mínimo
- b) fuerza de tracción necesaria al extremo de la tubería
- c) Máxima tensión de torsión en la pared de la tubería
- d) El ángulo α en el punto de retorno de la curva S.

a) El radio de flexión mínimo lo tomamos de la tabla:

Clase SDR	Relación de flexión permisible R/D – F=1,5
33	44
26	34
22	36
17	21
11	13
9	11

$$\text{SDR} = 26 \text{ -----} > \text{R/D} = 34 * 1,6 \text{ m} = 54,4 \text{ m.}$$

b) Para determinar la fuerza de tracción hemos de conocer w_1 y w_2 :

$$w_1 = 0,68 \cdot \pi \cdot 1,6^2 / 4 \cdot 1025 \cdot 9,81 \text{ N/m} = 4376,04 \text{ N}$$

$$w_1 = 4,3 \text{ kN.}$$

w_2 podemos calcularla a partir de la fórmula:

$$w_2 = (1 - a_a/a_a) w_1$$

$$w_2 = 4376,04 ((1-0,68)/0,68) \text{ N} = 2059,31 \text{ N}$$

$$w_2 = 2,05 \text{ KN.}$$

La máxima fuerza de tracción la da:

$$-P_1 = 4,3 \text{ kN} * 54,4 \text{ m} = 233,92 \text{ kNm.}$$

$$-P_2 = 2,05 \text{ kN} * 54,4 \text{ m} = 111,52 \text{ kNm.}$$

Nos quedamos con P_1 .

c) La fuerza de tracción máxima en la tubería aparece en el punto de retorno. La fórmula nos da:

$$T = P + w_1 (1-a_a) \cdot H$$

$$T = 233920 + 4376,04 (1-0,68) \cdot 25 = 268,92 \text{ kN.}$$

La tensión correspondiente sobre la pared de la tubería puede determinarse mediante:

$$\sigma = T / (\pi/4(D^2 - d^2))$$

$$\sigma = 268920 / (\pi/4 (1,6^2 - 1,48^2)) \text{ N/m}^2 = 0,926 \text{ MPa.}$$

Habrá tensión en dirección longitudinal debido a la presión interna e índice de Poisson:

$$\sigma_{1 \max} = (0,5 \cdot 1,6 / 2) (26-1) \text{ MPa} = 10 \text{ MPa.}$$

La tensión de tracción máxima es la suma de $\sigma + \sigma_{\max}$:

$$\sigma_{\max} = (0,96+10) \text{ Mpa} = 10,96 \text{ MPa.}$$

La tensión de estallido (reventón) bajo cargas de corta duración es $9,4 \cdot 1,6 \text{ MPa} = 15,04 \text{ MPa}$, para una tubería PE100.(Como se observa en la tabla de propiedades adjuntada en apartados anteriores).

$$\sigma_{\max} = 10,96 \text{ MPa} < 15,04 \text{ MPa}$$

Difícil que se produzca un reventón durante la maniobra de asentamiento o hundimiento y durante su vida útil estimada de 50 años.

d) El ángulo α en el punto de retorno viene dado por:

$$\cos \alpha = 233920 / (233920 + 481 (1-0,25) 25) = 0,96$$

$$\alpha = 16,26^\circ$$

Velocidad de hundimiento

Para evitar que las fuerzas de aceleración actúen sobre la tubería, la velocidad de hundimiento se mantendrá lo más constante posible durante la instalación. Puesto que en la práctica siempre se produce alguna variación de la velocidad, es también importante mantener la velocidad a un nivel bajo.

Si tomamos la ley de Newton:

$$K = m \Delta v / \Delta t$$

Siendo:

-K = aceleración.

-M = masa en movimiento.

$-\Delta v$ = variación de la velocidad.

$-\Delta t$ = variación del tiempo.

Un cambio importante en la relación $\Delta v / \Delta t$ creará una fuerza K elevada que actuará en el agua y en la tubería. Si mantenemos v baja, nos aseguramos de que Δv también se mantiene baja para un periodo de tiempo dado, Δt . Como regla general, se recomienda que la velocidad de hundimiento no excediese de $0,3 \text{ m/s} \approx 1 \text{ km/h}$.

La velocidad de hundimiento la rige el caudal Q que entra en la tubería.

Este caudal depende a su vez de la presión de impulsión disponible:

$$\Delta h = a_a \cdot H - p_i$$

Siendo:

- Δh = caída de presión disponible (mca).
- H = profundidad (m).
- P_i = presión interna (mca).
- a_a = tasa de llenado de aire de diseño.

La caída de presión puede expresarse:

$$\Delta h = f (L/D) (V^2/2 \cdot g) + k_s \cdot (v^2/ 2 \cdot g).$$

Siendo:

- f = coeficiente de fricción ($\approx 0,02$).
- L = longitud del tramo lleno de agua (m).
- D = diámetro interno (m).
- V = velocidad (m/s).
- g = aceleración de la gravedad ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$).
- k_s = coeficiente de pérdida singular.

Combinando ambas expresiones obtenemos la velocidad de hundimiento:

$$v = [(2 \cdot g \cdot D \cdot (a_a \cdot H - p_i) / (f \cdot L + k_s D)]^{1/2}$$

Existe una velocidad de hundimiento máxima a la que la tubería de PE que se está sumergiendo corre el riesgo de oscilar. Esta velocidad puede calcularse aproximadamente con la fórmula:

$$v = \frac{k \cdot \pi \cdot D^2}{2 \cdot S \cdot H^2 \cdot n} \cdot \left(\frac{E}{2 \cdot SDR \cdot \rho} \right)^{1/2}$$

Siendo:

-k = coeficiente de soporte (k = 1,0 para tub. soportadas libremente, k=2,25 para tub. fijas).

-S = número Strouhals ($\approx 0,2$).

-D = diámetro externo (m).

-H = profundidad máxima de instalación (m).

-n = coeficiente de seguridad (suponer n = 2,0).

-E = módulo de elasticidad (corta duración) (kN/m^2).

- ρ = masa de la tubería, contenido (agua) y agua que oscila por unidad de volumen de la tubería.

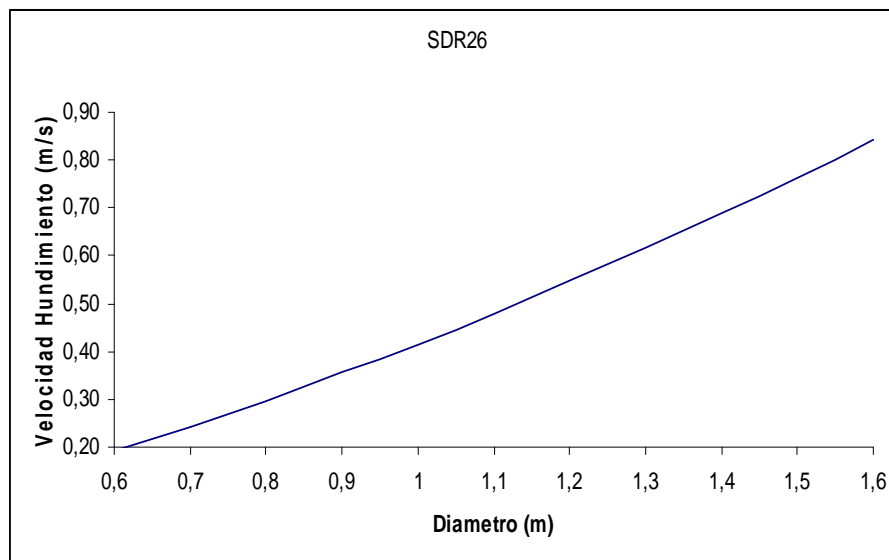
Si asumimos que $E = 8.105 \text{ kN/m}^2$, $k = 2,25$ y una profundidad máxima de 25 m, podemos transformar la fórmula:

$$K = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{En la ecuación: } V = 1,2 D^2 (SDR)^{-1/2}.$$

Calculándose la velocidad máxima de hundimiento para una tubería de PE100 como función de las clases SDR 26, para una profundidad máxima de 25 m y $D = 1600$ mm.

Para ello se adjunta el siguiente estudio donde se muestra como influye el diámetro en la velocidad de hundimiento:

D (m)	V (m/s)	SDR
0,6	0,19	5
0,7	0,24	5,83
0,8	0,30	6,67
0,9	0,35	7,5
1	0,42	8,33
1,1	0,48	9,17
1,2	0,55	10
1,3	0,62	10,83
1,4	0,69	11,67
1,5	0,76	12,5
1,6	0,84	13,33



El gráfico anterior indica que para diámetros ≥ 1200 mm puede aplicarse una velocidad de 0,55 m/s sin riesgo de oscilaciones. Para un diámetro de 1600 mm, la

velocidad de hundimiento máxima con respecto a las oscilaciones es de 0,84 m/s para SDR26.

A efectos prácticos, la velocidad de hundimiento estará entre 0,1 y 0,9 m/s para conseguir una inmersión controlada.

Comparándola con la velocidad máxima de hundimiento:

$$v = \frac{k \cdot \pi \cdot D^2}{2 \cdot S \cdot H^2 \cdot n} \cdot \left(\frac{E}{2 \cdot SDR \cdot \rho} \right)^{1/2}$$

$$V = (2,25 \cdot 3,14 \cdot 1,6^2 / 2 \cdot 0,2 \cdot 25^2 \cdot 2) \cdot (8 \cdot 105 / 2 \cdot 13,33 \cdot 960)^{1/2} = 6,54 \text{ m/s.}$$

La $V_{\text{max.hund.}} = 6,54 \text{ m/s}$ y la velocidad de hundimiento adecuada y calculada anteriormente es de $V = 0,84 \text{ m/s}$. Por tanto el hundimiento se realiza sin ningún tipo de problema si se respetan estos límites de velocidad.

Parámetros de soldadura

Los parámetros de soldadura relacionados a continuación son los típicos de los valores orientativos. El espesor de las paredes (e) y el diámetro (d_e) se indican en milímetros.

1. Temperatura de soldadura – T

La temperatura de soldadura, T, estará en el intervalo de $T = 210 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ y será medida continuamente y verificada en cada soldadura utilizando un termómetro flexible *termostick*.

2. Presión de calentamiento (alta) – P₁

La presión de calentamiento será $P = 0,18 \text{ N/mm}^2 \pm 0,01 \text{ N/mm}^2$.

3. Tiempo de calentamiento – t₁

Es el tiempo de formación del cordón de soldadura en segundos. Ha de ser registrado. Véase el punto 4.

4. Anchura del cordón de soldadura – A

La anchura del cordón, A, al final del tiempo de calentamiento, es una función del espesor de las paredes, e: $A = 0,5 \text{ mm} + 0,1 \times e = 12,5 \text{ mm}$.

5. Presión de aproximación (baja) – P₂

La presión de aproximación es normalmente cero y no será superior a 0,01 N/mm².

6. Tiempo para alcanzar la presión de aproximación – t₂

El tiempo para alcanzar la presión de aproximación es una función del espesor de las paredes, e: $t_2 = 15e \pm e \text{ (seg)} = 15 \cdot 120 \pm 120 = 1800 \text{ seg} \pm 120$.

7. Tiempo de cambio- Δt

El tiempo de cambio es una función del diámetro de la tubería, de: $\Delta t \leq 3 \text{ seg} + 0,01d_e \text{ (seg)}$. $\Delta t \leq 3 \text{ seg} + 16$.

8. Tiempo de aumento de la presión– t_{3,1}

El tiempo de aumento de la presión es una función del diámetro de la tubería, de: $t_{3,1} \leq 3 \text{ seg} + 0,03 d_e \text{ (seg)}$; $t_{3,1} \leq 3 \text{ seg} + 48 \text{ seg} \leq 51 \text{ seg}$.

9. Presión de soldadura – P₃

La presión de soldadura será $P_3 = 0,18 \text{ N/mm}^2 \pm 0,01 \text{ N/mm}^2$

10. Presión de enfriamiento – P₄

La presión de enfriamiento será $P_4 = 0,18 \text{ N/mm}^2$

11. Tiempo de enfriamiento con presión – t_{3,2}

El tiempo mínimo de enfriamiento será $t_{3,2} = 10 + 0,5e \text{ (minutos)} = 10 + 60 \text{ (minutos)} = 70 \text{ minutos}$.

Durante el tiempo de enfriamiento, la tubería y la estructura de soldadura permanecerán en reposo absoluto y no serán sometidas a ningún movimiento, en ninguna dirección. Se recomienda realizar un procedimiento de soldadura y confirmar los parámetros mediante ensayos de tracción destructivos.

La capacidad de soldadura se describe en el siguiente cuadro y están basados en jornadas de ocho horas de trabajo.

Dimensión mm	Número de soldaduras diarias, > SDR26	Dimensión mm	Número de soldaduras diarias, > SDR26
1600	2	355	10
1400	2	280	14
1200	3	250	16
1000	3	225	18
900	4	200	20
800	4	180	22
710	5	160	22
630	6	140	22
560	7	125	25
500	7	110	25
450	8	90	25
400	10	75	26

Capacidad de soldadura para PE100 SDR26, de diámetro 1600 mm = 2 soldaduras por jornadas de trabajo.

23. Cálculos de los Porcentajes de Saturación en el Rechazo y su Precipitación.

Debemos de calcular los índices de saturación de las distintas sales que se encuentran en el rechazo, la alimentación de agua marina tras pasar por las membranas de osmosis inversa se divide en dos líneas, una línea en donde se produce la disminución en contenido de sales (producto).

La otra línea en donde se produce el aumento de concentración de las sales, este aumento nos puede llevar a la precipitación de las mismas sales, por ello debemos de comprobar que esto no se produce así.

Estas sales son Carbonato Cálcico, Sulfato de Calcio, Fluoruro de Calcio. 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 del agua.

Se calculara la fuerza iónica del concentrado, partiendo de la composición que se obtiene en los cálculos.

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i Z_i^2$$

Siendo:

- m_i : molalidad de cada ión (mol/Kg).
- z_i : carga del ión.

Partiendo de la composición del concentrado:

$$[K^+] = 611,31 \text{ (mg/l)} \cdot \frac{1 \text{ (mol/39,102 gr)}}{1 \text{ (m}^3/1799,46 \text{ Kg)}} = 8,68 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$[K^+] = 756,96 \text{ mg/l} = 8,68 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$[Na^+] = 22055,06 \text{ mg/l} = 0,533 \text{ m.}$$

$$[Mg^{+2}] = 2511,73 \text{ mg/l} = 0,0574 \text{ m.}$$

$$[Ca^{+2}] = 813,1 \text{ mg/l} = 0,0112 \text{ m.}$$

$$[\text{Cl}^-] = 39034,14 \text{ mg/l} = 0,612 \text{ m.}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 8221,23 \text{ mg/l} = 0,0474 \text{ m.}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 287,21 \text{ mg/l} = 2,62 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$[\text{F}^-] = 1,81 \text{ mg/l} = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

A la temperatura de operación estimada de 20 °C y con una fuerza iónica de 1,12; los productos de solubilidad de las distintas sales valen:

$$- \quad K_{\text{sp}} (\text{CaSO}_4) = 1,9 \cdot 10^{-3} = [\text{Ca}^{+2}] [\text{SO}_4^{2-}].$$

$$- \quad K_{\text{sp}} (\text{CaF}_2) = 3,4 \cdot 10^{-10} = [\text{Ca}^{+2}] [\text{F}^-]^2.$$

Estudiando se cada producto por separado se obtiene:

Sulfato de Calcio:

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 8221,23 \text{ mg/l} = 0,0474 \text{ m.}$$

$$[\text{Ca}^{+2}] = 813,1 \text{ mg/l} = 0,0112 \text{ m.}$$

Para obtener el porcentaje de saturación se divide el producto iónico y el producto de solubilidad multiplicado por cien.

$$\text{Producto iónico} = [\text{SO}_4^{2-}] [\text{Ca}^{+2}] = 5,30 \cdot 10^{-4} \leq \text{Producto de Solubilidad.}$$

$$\text{Producto de Solubilidad} = 0,8 K_{\text{sp}} (\text{CaSO}_4) = 1,52 \cdot 10^{-3}.$$

$$\% \text{ Saturación} = 5,30 \cdot 10^{-4} / 1,52 \cdot 10^{-3} = 34,86 \%$$

Fluoruro de Calcio:

$$[\text{Ca}^{+2}] = 813,1 \text{ mg/l} = 0,0112 \text{ m.}$$

$$[\text{F}^-] = 1,81 \text{ mg/l} = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

Para obtener el porcentaje de saturación se divide el producto iónico y el producto de solubilidad multiplicado por cien.

$$\text{Producto iónico} = [\text{F}^-] [\text{Ca}^{+2}] = 5,93 \cdot 10^{-11} \leq \text{Producto de Solubilidad.}$$

$$\text{Producto de Solubilidad} = 0,8 K_{sp} (\text{CaF}_2) = 2,72 \cdot 10^{-10}.$$

$$\% \text{ Saturación} = 5,93 \cdot 10^{-11} / 2,72 \cdot 10^{-10} = 21,80 \%$$

Carbonato de Calcio:

Para el Carbonato Calcico se emplea el índice de estabilidad de Staff & Davis o de Langelier (S&DSI), el índice de saturación de Staff es una modificación del de Langelier pero ambos reflejan el mismo valor.

El valor del índice de S&DSI viene descrito por la ecuación:

$$\text{S\&DSI} = \text{pH}_{\text{concentrado}} - \text{pH}_{\text{saturación}}.$$

$$\text{pH}_{\text{saturación}} = \text{pCa} + \text{pAlc} + \text{K}$$

K = depende de la temperatura y la fuerza iónica del concentrado = 4,52.

$$[\text{Ca}^{+2}] = 813,1 \text{ mg/l} \Rightarrow \text{pCa} = 1,7.$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 287,21 \text{ mg/l} \Rightarrow \text{pAlc} = 2,34.$$

$$\text{pH}_{\text{saturación}} = 1,7 + 2,34 + 4,52 = 8,56$$

Como el pH del concentrado = 8,50.

$$S\&DSI = 8,50 - 8,56 = -0,06 < 0.$$

El Carbonato Calcico no precipita ni ninguna de las sales citadas anteriores. Por ello, no es necesario añadir ningún tipo de antiescalante. Aún así se debería de construir un tanque para contener hexametáfosfato sódico que introduzca una dosis de colchón para evitar la precipitación que se pudiera producir por cambios en las aguas de alimentación o cualquier otra variante. La dosis rondaría las 1 o 2 ppm.

No se produce precipitación de las sales.

Practicándose lo mismo para la alimentación:

$$S\&DSI = pH_{\text{alimentación}} - pH_{\text{saturación}}.$$

$$pH_{\text{saturación}} = pCa + pAlc + K$$

K= constante que depende de la temperatura y la fuerza iónica.

$$[Ca^{+2}] = 85,43 \text{ mg/l} \Rightarrow pCa = 2,67.$$

$$[HCO_3^-] = 74,28 \text{ mg/l} \Rightarrow pAlc = 2,91.$$

La fuerza iónica la podemos obtener a partir de la del concentrado:

$$I_{\text{concentrado}} = I_{\text{alimentación}} (1/1-Y) = 1,12 (1/1-0,35) = 1,72 .$$

K a 20° C y para una fuerza iónica de 1,72 vale = 3,42.

$$pH_{\text{saturación}} = 2,67 + 2,91 + 3,42 = 9.$$

$$S\&DSI = 8,5 - 9 = -0,5$$

El agua bruta tiene un carácter corrosivo.

23. Dosificación del Hidróxido de Calcio o Cal (Ca(OH)₂) al agua producto:

El agua producto que se obtiene directamente de las distintas líneas de osmosis inversa, deben de ser tratadas antes de ser vertidas a la red común de saneamiento y consumo para la población o los regantes de la comarca o región.

El contenido en calcio que se obtiene es de 3,99 ppm, según el RD 140/2003 de 7 de Febrero el agua para consumo humano debe de tener un mínimo de 60 ppm de calcio, exigido por Ley, para llegar a este mínimo se debe de añadir Cal.

$$70 \text{ (mg/l)} \cdot 10800 \text{ (m}^3\text{/día)} = 5292 \text{ Kg/sem.}$$

En la bibliografía la densidad del Hidróxido de Calcio o Cal es de 2200 Kg/m³, el volumen de almacenamiento útil es:

$$V_{\text{util de cal}} = 5292 \text{ (Kg)} / (2200 \text{ Kg/m}^3) = 2,405 \text{ m}^3.$$

La relación altura diámetro es de 1,5; las dimensiones útiles del tanque son:

$$V = \pi R^2 h = 3 \pi R^3 \Rightarrow R = 0,634 \text{ m} = 634 \text{ mm.}$$

$$H = 1,5 \cdot 0,634 = 0,951 \text{ m} = 951 \text{ mm.}$$

La solubilidad de la cal en agua es muy baja, esto es un problema a la hora de introducir la cal en el agua producto ya que se pueden formar conglomerados en las tuberías de impulsión e incrustarse en las tuberías y obstruir las mismas. Por ello es necesario para introducir la dosis correcta en el agua producto el de preparar una disolución de esta cal en agua e ir introduciendo esta disolución en el agua producto.

Por ello se prepara una disolución en un 10% de cal y se supone que la densidad de la misma es prácticamente la del agua.

La cantidad a añadir de la solución es de:

$$\begin{aligned} &70 \text{ (mg Cal / litro)} \cdot 100 \text{ (mg suspensión / 10 mg Cal)} \\ &= 700 \text{ mg / litro suspensión al 10\%.} \end{aligned}$$

El caudal de cal es de:

$$700 \text{ mg suspensión/ 1 litro} \cdot 10800 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1 \text{ línea} = 7560 \text{ m}^3/\text{día línea}.$$

La suspensión de cal se debe de introducir a un caudal de $7560 \text{ m}^3/\text{día}$ por cada línea de producción o lo que es igual unos $315 \text{ m}^3/\text{h}$ por línea. En global se introducen unos $2835 \text{ m}^3/\text{h}$ por las nueve líneas de producción.

Debido a la elevada problemática de la cal en las conducciones por su peculiaridad de baja solubilidad de la misma en el agua, pudiéndose producir tapones en las conducciones o atascos de las mismas, es de especial interés el cuidado de la instalación de suministro de cal al agua producto.

24. Dosificación del Cloruro de Calcio (CaCl₂) al agua producto:

El agua producto que se obtiene directamente de las distintas líneas de osmosis inversa, deben de ser tratadas antes de ser vertidas a la red común de saneamiento y consumo para la población o los regantes de la comarca o región.

La dosis de diseño calculada en su anexo correspondiente es de 51 ppm, por lo que la cantidad que debe de contener el silo para su almacenamiento:

$$51 \text{ mg/l } 10800 \text{ m}^3/\text{día} = 3855,6 \text{ Kg/semana.}$$

En la bibliografía y la ficha técnica del Cloruro de Calcio la densidad del mismo es de 2160 Kg/m³. Calculándose el volumen del silo:

$$V_{\text{silo de cal}} = 3855,6 \text{ Kg} / 2160 \text{ Kg/m}^3 = 1,785 \text{ m}^3.$$

La relación altura diámetro es de 1,5; las dimensiones útiles del tanque son:

$$V = \pi R^2 h = 3 \pi R^3 R = 574 \text{ mm.}$$

$$H = 1,5 \cdot 0,574 = 0,861 \text{ m} = 861 \text{ mm.}$$

Solución propuesta, esta dimensionada para una sola línea de producción, donde el caudal de la misma es de 10800 m³/día; donde se tienen que añadir unos 22,95 Kg/h de Cloruro de Calcio. Esta dosis debe de ser por cada línea de producción obteniéndose un total de 206,55 Kg/h, a introducir en el agua producto.

25. Dosis necesaria de Hipoclorito Sódico en el efluente de salida del agua producto para cumplir normativa vigente.

Se debe de añadir una dosis adecuada de Hipoclorito Sódico para la desinfección final del agua producto, su utilización no es tan peligrosa como la del Cloro líquido. Se añade al agua producto una vez corregido su pH, alcalinidad y contenido en calcio. Su misión es la de garantizar que el agua llega a los puntos de consumo con un contenido mínimo de cloro, que garantice la no existencia de microorganismos patógenos causantes de enfermedades para los consumidores.

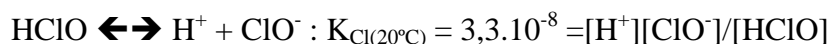
Según el Ministerio de Sanidad en su reglamentación del 7 Febrero de 2003, los niveles de cloro residual y combinado para aguas de consumo público, dependen del pH del agua:

pH	Cloro residual libre (ppm)(max)	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	-----

En medio ácido el equilibrio anión hipoclorito-ácido hipocloroso se desplaza hacia la formación de ese último. Este ácido hipocloroso tiene una mayor capacidad de desinfección mucho mayor que la del anión hipoclorito.

En la instalación, la dosis máxima de cloro libre que puede haber en el agua en el punto de consumo será de 0,4 ppm, el pH del agua producto ronda los 8,5. Como el agua que se obtiene es agua desalada, apenas consumir cloro libre. Se tomara una dosis de Hipoclorito Sódico que garantice un contenido en cloro libre residual mínimo 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 Cl₂. Los equilibrios que se implican en la adición del Hipocloritos Sódico:



Según los cálculos estequiométricos de las reacciones anteriores, la cantidad de cloro añadido debe ser igual a:

$$C_{\text{Cl inicial}} = [\text{HClO}] + [\text{ClO}^-] + [\text{Cl}_2]$$

El hipoclorito sódico 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.

$$C_{\text{Cl inicial}} = [\text{ClO}^-] + \frac{[\text{H}^+][\text{ClO}^-]}{K_{\text{Cl}}} + \frac{[\text{H}^+][\text{Cl}^-][\text{HClO}]}{K} = [\text{ClO}^-] \left[1 + \frac{[\text{H}^+]}{K_{\text{Cl}}} + \frac{[\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]}{K K_{\text{Cl}}} \right]$$

$$C_{\text{Cl inicial}} = [\text{ClO}^-] \left[\frac{K K_{\text{Cl}} + K[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]}{K K_{\text{Cl}}} \right]$$

$$[\text{ClO}^-] = \left[\frac{C_{\text{Cl inicial}} K K_{\text{Cl}}}{K K_{\text{Cl}} + K[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]} \right]$$

$$[\text{HClO}] = \left[\frac{C_{\text{Cl inicial}} K[\text{H}^+]}{K K_{\text{Cl}} + K[\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2[\text{Cl}^-]} \right]$$

$$[\text{Cl}_2] = \left[\frac{C_{\text{Cl inicial}} [\text{H}^+]^2}{K K_{\text{Cl}} + K [\text{H}^+] + [\text{H}^+]^2 [\text{Cl}^-]} \right]$$

La suma de todas las especies anteriores involucradas en el equilibrio químico, expresada en ppm de Cl_2 debe de ser igual a 0,4 ppm, exigido por el Ministerio de Sanidad y Consumo.

$$[\text{Cl}_2] \frac{70,9 \text{ g}}{1 \text{ mol Cl}_2} \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} + [\text{HClO}] \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{2 \text{ mol HClO}} \frac{70,9 \text{ g}}{1 \text{ mol Cl}_2} \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} +$$

$$+ [\text{ClO}^-] \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{2 \text{ mol ClO}^-} \frac{70,9 \text{ g}}{1 \text{ mol Cl}_2} \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0,4 \text{ ppm Cl}_2$$

Despejando valores y calculando:

$$70,9 \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} [3,162 \cdot 10^{-9}]^2}{1,485 \cdot 10^{-11} + 1,423 \cdot 10^{-12} + [3,162 \cdot 10^{-9}]^2 5,397 \cdot 10^{-3}} \right] +$$

$$+ 35,45 \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} 1,423 \cdot 10^{-12}}{1,485 \cdot 10^{-11} + 1,423 \cdot 10^{-12} + [3,162 \cdot 10^{-9}]^2 5,397 \cdot 10^{-3}} \right] +$$

$$+ 35,45 \left[\frac{C_{\text{Cloro inicial}} 1,485 \cdot 10^{-11}}{1,485 \cdot 10^{-11} + 1,423 \cdot 10^{-12} + [3,162 \cdot 10^{-9}]^2 5,397 \cdot 10^{-3}} \right] = 0,4 \text{ ppm Cl}_2$$

$$13776,54 C_{\text{Cloro inicial}} + 3,104 C_{\text{Cloro inicial}} + 32,351 C_{\text{Cloro inicial}} = 0,4 \text{ ppm.}$$

$$C_{\text{Cloro inicial}} = 2,896 \cdot 10^{-5} \text{ M.}$$

Dosis de Hipoclorito Sódico al 100% = $2,896 \cdot 10^{-5}$ (1 mol HClO/ 1 litro) (52,46 g/ 1 mol HClO) (1000 mg /1g) = 1,51 ppm.

26. Dosificación de Hipoclorito Sódico.

La dosis de diseño del hipoclorito sódico es de 1,51 ppm, por lo que la cantidad que se debe de almacenar en el silo de hipoclorito sódico es de:

$$1,51 \text{ mg/l } 10800 \text{ m}^3/\text{día} = 114,15 \text{ Kg/semana.}$$

En la bibliografía y la ficha técnica del Hipoclorito Sódico la densidad del mismo es de 1210 Kg/m³. Calculándose el volumen del silo:

$$V_{\text{tanque Hipoclorito}} = 114,15 \text{ Kg} / 1210 \text{ Kg/m}^3 = 0,094 \text{ m}^3.$$

La relación altura diámetro es de 1,5; las dimensiones útiles del tanque son:

$$V = \pi R^2 h \Rightarrow R = 0,215 = 215 \text{ mm.}$$

$$H = 1,5 \cdot 0,574 = 322 \text{ mm.}$$

Solución propuesta, esta dimensionada para una sola línea de producción, donde el caudal de la misma es de 10800 m³/día; donde se tienen que añadir unos 114,15 Kg/semana de hipoclorito sódico. Esta dosis debe de ser por cada línea de producción obteniéndose un total de 1027,35 Kg/semana, a introducir en el agua producto.

27. Sistema de Limpieza de los bastidores de Osmosis Inversa:

En el presente anexo de cálculo, alcanza al diseño de las partes que componen el sistema de limpieza que debe de poseer nuestra instalación para el lavado de las membranas.

Por muy buena que sea la toma de agua o por exhaustivos que sean los tratamientos, las membranas acaban ensuciándose y hay que proceder a su limpieza. Es necesario, por tanto, realizar el diseño del equipo que permita recuperar los parámetros básico del funcionamiento de la membrana y, dentro de esto, los dos aspectos principales son la capacidad del depósito para soluciones de los productos y el cálculo de la capacidad de la bomba.

Respecto al depósito, debe estar diseñado para contener la suficiente cantidad de agua para llenar todos los tubos de presión (contiene a las membranas) y todos los circuitos hidráulicos y además el suficiente volumen para disolver los productos que se emplean en el lavado.

Se necesita conocer:

- Numero de tubos por sub-bastidor.
- La longitud y el diámetro de los mismos.
- Volumen a llenar de los mismos y conducciones hidráulicas.

Características de cada sub-bastidor para el diseño del tanque y bomba a utilizar:

- Numero de tubos de presión = 24 tubos por sub-bastidor.
- Diámetro de los tubos 8 “.
- Tuberías de distribución del agua a los distintos tubos de presión con un diámetro de 2”.
- Tuberías de Acero Inoxidable AISI 316L.

Cada sub-bastidor esta compuesto de 24 tubos de membranas con una longitud de 7 metros, cada uno de ellos con un diámetro de 8", en el siguiente cuadro podemos determinar el volumen de agua por cada tubo de presión.

Nº membranas/ tubos	8 “ diámetro	4” diámetro
1	46	6
2	61	12
3	76	17
4	91	23
5	106	29
6	122	34
7	138	39

Volumen tubos de presión en litros.

Tomamos un volumen en cada tubo de presión de 138 litros de solución para su limpieza, más un volumen por todas la conducciones de distribución a los tubos y recolección del tratamiento de 200 litros más, por tanto tenemos un volumen total del sistema de 338 litros necesarios para la limpieza del sub-bastidor.

Pero se debe de tener en cuenta el volumen de ocupación de las membranas de cada tubo, según el fabricante es de un 30% del tubo vacío. Por tanto tenemos un volumen total de:

Volumen diseño = 236,6 litros \approx 237 litros.

Teniendo en cuenta que el tanque debe de ser capaz de almacenar el agua suficiente para disolver todas las sustancias (tratamientos químicos) de limpieza empleadas, se sobre dimensionara con un 50% del necesario para asegurar una correcta disolución de los productos químicos y una correcta limpieza de todo el sub-bastidor.

$$\text{Volumen total de limpieza} = 355,5 \text{ litros} \approx 0,35 \text{ m}^3.$$

El tanque construido en acero inoxidable debe de contener un volumen útil de $0,35 \text{ m}^3$, para garantizar la limpieza del sub-bastidor.

Para calcular la bomba necesaria de alimentación del tratamiento de limpieza al sub-bastidor se parte del caudal de limpieza recomendado por el fabricante de las membranas en este caso Hydranautics, el caudal de diseño para membranas de arrollamiento en espiral y del modelo seleccionado, para cada tubo es de $5 \text{ m}^3/\text{h}$. con una presión máxima de bombeo de 3 a 4 Kg/cm^2 , con una velocidad de paso de 1,5- 2 m/s .

Calculándose la pérdida de carga producida en los tramos de tuberías y en las membranas, podremos calcular y dimensionar la bomba de limpieza.

Para el cálculo de las pérdidas de carga partimos de un caudal a suministrar a la alimentación de $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Y un diámetro de tuberías de 0,1 m (10 cm), y para los tubos de presión tenemos un diámetro de 8" (0,2m).

Conocido el diámetro de tubería y la sección del flujo a la cual se transporta la solución de limpieza, determinamos la velocidad de circulación del mismo:

$$S = \Pi R^2_{\text{tubos de presión}} = \Pi * 0,1^2 = 0,032 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 5 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,032 \text{ (m}^2) = 0,042 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en los tubos de presión} = 0,042 \text{ m/s.}$$

$$S = \Pi R^2_{\text{tubería impulsión}} = \Pi * 0,05^2 = 0,008 \text{ m}^2.$$

$$V = Q_{\text{entrada ácido}} / \text{Sección} = 5 \text{ (m}^3/\text{h)} / 0,008 \text{ (m}^2) = 0,17 \text{ m/s.}$$

$$\text{Velocidad en las tuberías de impulsión} = 0,17 \text{ m/s.}$$

Con las velocidades de cada Tramo, se procede a la determinación del régimen de circulación que se da en cada uno de ellos, con el número adimensional conocido como el Reynolds:

- Reynolds para tubos de presión: 582 (régimen laminar).
- Reynolds tuberías de impulsión: 1162 (régimen laminar).

La ecuación que se utiliza para el cálculo de la pérdida de carga (h_f), es la conocida como ecuación de Bernoulli como se muestra a continuación:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Determinado las pérdidas de carga a través de la ecuación de Fannig:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2g} V^2 = h_f \quad (m)$$

En donde se destaca:

-4f = Factor de rozamiento; parámetro empírico adimensional que depende de las propiedades del fluido de la velocidad de éste y del diámetro rugosidad interna de la conducción.

Este parámetro representa en realidad un Coeficiente de Transporte de Cantidad de Movimiento.

Permite su inclusión en la ecuación de Bernoulli y que es el término que representa las pérdidas de energía por unidad de peso por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores. El uso de la ecuación de Fannig puede hacerse de forma generalizada, con independencia del tipo de régimen, ya que en régimen laminar no habría más que darle al factor de rozamiento la expresión resultante de igualar las dos ecuaciones correspondientes a los dos tipos de flujo.

$$\left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) = \frac{32\mu VL}{\rho \cdot D^2} = (4f) \frac{L}{D} \frac{1}{2} V^2 \rightarrow (4f) = \frac{D \cdot 32 \cdot \mu \cdot V}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot D^2} = \frac{64 \cdot \mu}{\rho \cdot V \cdot D} = \frac{64}{Re}$$

La anterior ecuación está de acuerdo con los resultados experimentales del factor de fricción para régimen laminar, y es la manifestación de que los efectos viscosos en el fluido eliminan cualquier irregularidad en el flujo producida por la rugosidad superficial de la conducción.

Tramo-tubos de presión: $4f = 64/Re = 0,110$

Tramo-conducciones hidráulicas: $4f = 64/Re = 0,055$

Partiendo de la ecuación de Bernouilli ilustrada anteriormente y basándonos en la ecuación de Fanning, despejando el factor de pérdida de carga conocido como h_f , obtenemos la siguiente expresión:

$$h_{f\text{conduccion}} = (4f) L_{eq} V^2 / D 2 g$$

Siendo:

- $4f$ = factor de fricción.
- V = velocidad del fluido (m/s).
- D = diámetro de la conducción.
- g = aceleración de la gravedad (m/s^2) = 9,81.
- L_{eq} = Longitud equivalente de los accesorios y tramo recto de tubería (m).

Sustituyendo valores se obtiene una pérdida de carga en cada tramo de:

- h_f (tubos de presión) = $3,56 \cdot 10^{-4}$ m.
- h_f (circuito hidráulico) = $1,14 \cdot 10^{-2}$ m.
- Considerando una pérdida en accesorios del 10% del total = $2,35 \cdot 10^{-3}$ m.
- Una pérdida de carga total de $1,41 \cdot 10^{-2}$ metros.

Aplicando Bernouilli a la instalación, conocida la pérdida de carga que se produce en la succión de la bomba, podemos determinar la potencia de la misma.

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_f = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Simplificando la expresión y adecuándola a nuestro sistema:

$$h_A = Z + (v^2/2.g) + h_f = 1,5 + (0,042^2/2.9,81) + 1,41.10^{-2} = 1,514 \text{ m.}$$

Calculando la Potencia suministrada al fluido:

$$\text{Potencia}_A = h_A Q g \rho$$

$$P_A = 1,514 * 470 * 1800 * 9,81 = 3,49 \text{ KW} = 3,5 \text{ KW.}$$

Debido a las pérdidas ocasionadas por la fricción mecánica en los componentes de la bomba, la fricción del fluido en la misma y la excesiva turbulencia del fluido que se forma en ella, no toda la potencia suministrada a la bomba es transmitida al fluido.

El término eficiencia denota el cociente de la potencia transmitida por la bomba al fluido entre la potencia suministrada a la bomba. Entonces, utilizando el símbolo η , para representarlo; su valor siempre será menor que 1.

$$\eta = \text{Potencia transmitida al fluido} / \text{Potencia Bomba} = \text{Potencia}_A / \text{Potencia}_B$$

El valor de la eficiencia mecánica de las bombas depende no solamente de su diseño, sino también de las condiciones en las cuales está funcionando, para las bombas centrífugas, el intervalo de eficiencia está comprendido entre 60 y 90 %, aproximadamente.

Considerando que $\eta = 40\%$. (Graficas en el anexo correspondiente).

$$\eta = \text{Potencia transmitida al fluido} / \text{Potencia Bomba} = \text{Potencia}_A / \text{Potencia}_B$$

$$\text{Potencia}_B = \text{Potencia}_A / \eta = 8,72 \text{ KW.}$$

En el mercado nos encontramos con un sin fin de empresas suministradoras de bombas, entre ellas, para la aplicación de suministro de ácido sulfúrico a las líneas de entrada son suministradas por la empresa Grundofs de México S.A. modelo CRN-5, con las siguientes características:

- Compatible con líquidos abrasivos como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, agua de mar...
- Rango de temperaturas de -20° a 120°C .
- Presión máxima de trabajo 360 psi.
- Eficiencia máxima: 67%.
- Fabricada en hierro fundido y acero inoxidable AISI 304.
- Las graficas características se encuentran en su correspondiente
- Rango de flujo 3- 45 GPM ($1-15\text{ m}^3/\text{h}$).



CR
Acero inoxidable AISI 304
con base y parte superior
de hierro fundido

5. EQUIPO

INDICE DE EQUIPOS:

- 1. Bombas suministradoras de ácidos.**
- 2. Filtros de arena.**
- 3. Micro-filtros.**
- 4. Esterilizadores por ultravioletas UV.**
- 5. Bombas centrifugas.**
- 6. Membranas de Osmosis Inversa.**
- 7. Bombas de alta presión-recuperador de energía (turbina Pelton).**
- 8. Bombas de evacuación de salmuera.**
- 9. Instalación submarina de tubos de polietileno correspondiente al emisario de salida de salmuera al mar.**

1. **Bombas suministradoras de ácidos:**

En el mercado nos encontramos con un sin fin de empresas suministradoras de bombas, entre ellas, para la aplicación de suministro de ácido sulfúrico a las líneas de entrada son suministradas por la empresa Grundofs de México S.A. modelo CRN-5, con las siguientes características:

- Compatible con líquidos abrasivos como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, agua de mar...
- Rango de temperaturas de -20° a 120°C.
- Presión máxima de trabajo 360 psi.
- Eficiencia máxima: 67%.
- Rango de flujo 3- 45 GPM (1-15 m³/h).
- Fabricada en hierro fundido y acero inoxidable AISI 304.
- Las graficas características se encuentran en su correspondiente anexo.



2. Filtros de arena:

Los filtros que se emplean en la primera etapa de la instalación, están suministrados por la empresa “Flor-Guard, división de Fresno Valves & Castings, Inc.” Modelo PS-648, con las siguientes características:

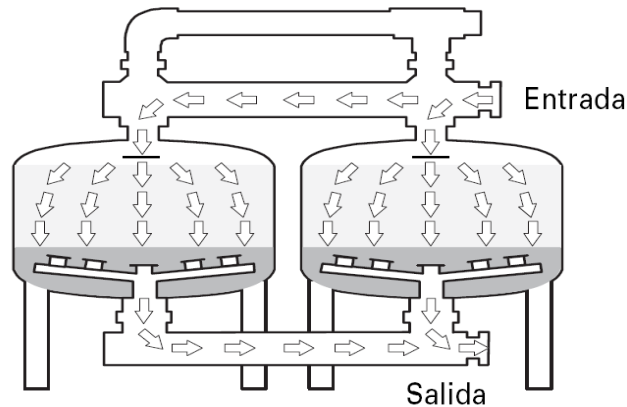


- Rango de Flujo Métrico: 87,5 L/s/m².
- Área de Filtración: 5,18 m².
- Tamaño tanque: 48”.
- Flujo de retrolavado: 12,6 LPS
- Peso de Embarque: 1850 kg.
- Tipo de Arena: 20 Crushed Sílice.
- Tamaño de la Arena: 0,48 mm.
- Coeficiente de Uniformidad de la arena: 1.50
- Modelo de la Sílice: 648.

El principio de la filtración usando una cama de arena filtradora es muy simple.

El agua de la fuente de riego es presurizada e introducida en la parte superior de la cama de arena de los tanques. Un plato difusor en la garganta superior del tanque sirve para reducir la velocidad del agua y distribuir uniformemente el agua a través de la parte superior de la cama filtrante. La cama de arena es una capa de arena sílice triturada de tamaño graduado de aproximadamente 16" de profundidad. Los contaminantes en el agua son capturados en la cama de arena y el agua filtrada pasa dentro del colector de descarga, ubicado en el fondo de los tanques.

Modo de Filtración



Acción de Filtrado.

Los filtros de arena son efectivos para filtrar tanto contaminantes orgánicos, como inorgánicos. El tamaño mayor y la naturaleza tridimensional de la cama de arena proveen más área de filtrado y tienen una mayor capacidad de retención que muchos otros tipos de filtros.

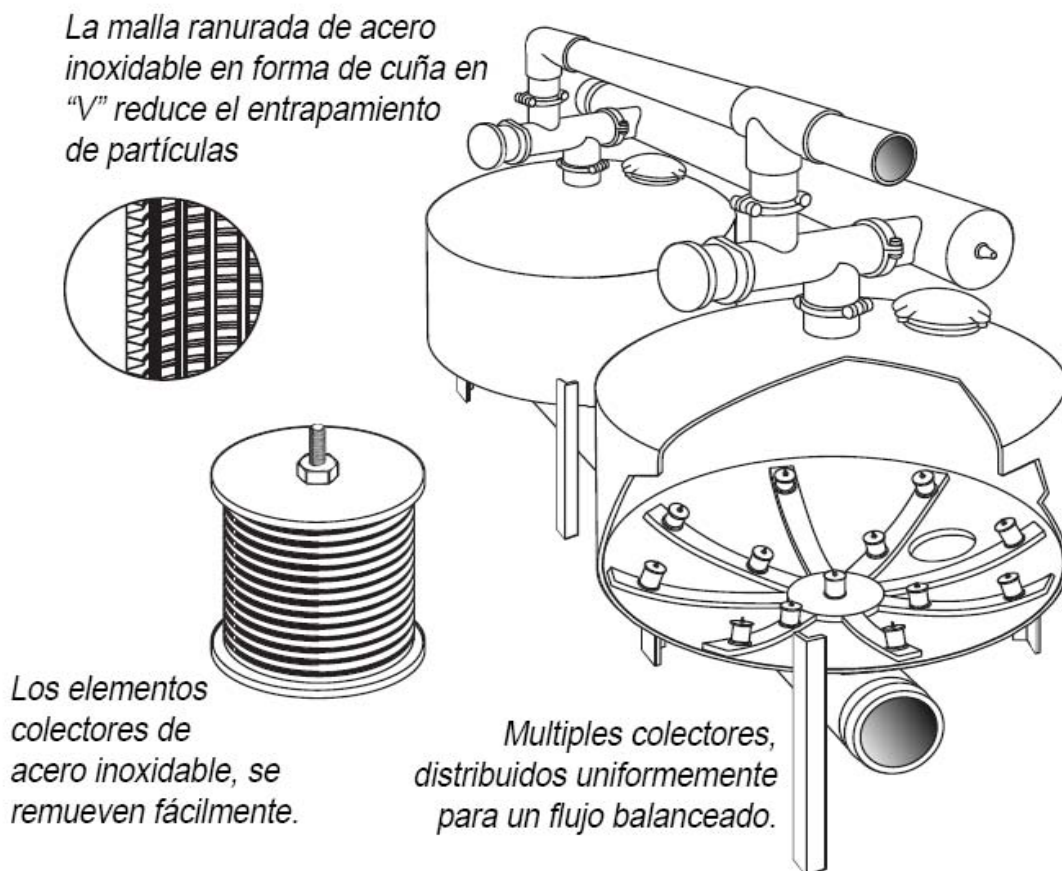
La clave para una filtración superior con filtros de grava y arena es la efectiva remoción de los contaminantes capturados por la cama de arena, comúnmente mencionado como “retrolavado”. En el fondo de cada Filtro de Arena Flow-Guard hay un sistema de colección de pasos de agua altamente elaborado y diseñados para cumplir dos funciones.

Primero no debe permitir que ninguna partícula de arena pase a través del filtro y se introduzca dentro del sistema. Segundo, durante la operación de retrolavado debe permitir que el agua del lavado sea distribuida en forma uniforme en toda la cama de arena, sin dejar espacios ni puntos muertos. Esto asegura que la arena sea levantada y lavada uniformemente para liberarla de contaminantes de una forma eficiente.

El sistema colector del filtro Flow-Guard está compuesto de una serie de “elementos colectores” en forma de cuña, de acero inoxidable, unidos a un sistema de tubos de acero inoxidable que cubren el fondo entero del tanque. La amplia cobertura del sistema radial permite una mejor distribución del agua de retrolavado a los elementos colectores individuales.

El montaje en cuña previene efectivamente que la arena entre en el sistema y por su diseño permita la obstrucción por arena. Cubriendo los elementos colectores hay una capa de grava.

El propósito de la grava es reducir la alta velocidad del agua de retrolavado y crear un flujo muy uniforme, capaz de elevar suavemente la arena en la forma más eficiente posible. El retrolavado eficiente resulta en una cama de arena más limpia y ciclos de retrolavado más cortos.



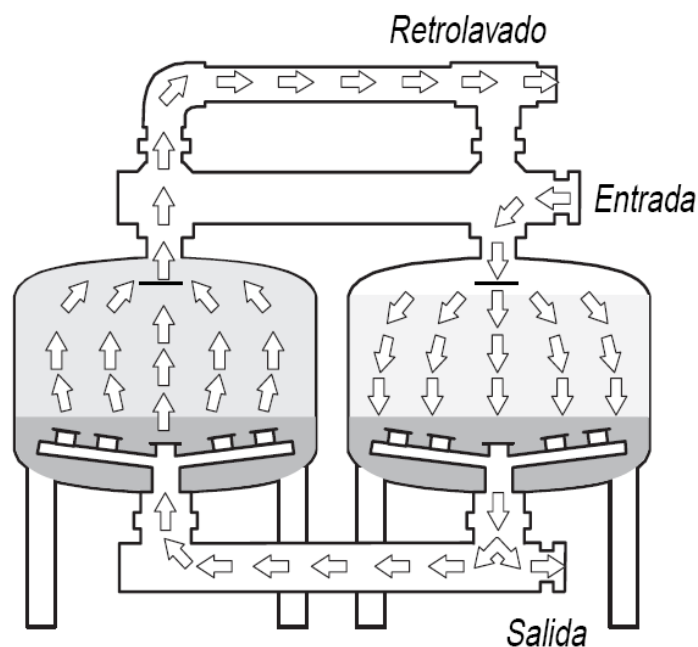
Características Colectores.

La operación de retrolavado se realiza lavando secuencialmente cada tanque en una serie de dos o más filtros.

Para retrolavar un tanque, la pequeña válvula de control de tres vías en la válvula de retrolavado es puesta en la posición ON (accionada), ya sea de forma automática o manual.

Esto permite que el agua presurizada desde el sistema de comando hidráulico llene el diafragma actuador y empuje el pistón dentro de la válvula de retrolavado. Conectado a este pistón está una válvula émbolo de dos lados. En la posición de no accionada, la válvula cargada por resorte está asentada entre la entrada del tanque y el colector de descarga de retrolavado. Esto previene que el agua escape dentro del sistema de retrolavado durante el modo de filtración. Cuando está accionada, el pistón y el sello de la válvula se mueven a través de la toma de entrada del tanque y se asienta contra el colector interno (donde el agua sin filtrar entra al tanque). Este simple movimiento previene la entrada al tanque de agua sin filtrar y permite la entrada del agua filtrada al sistema, y evita que vuelva por el retrolavado a través del tanque y fuera del colector de retrolavado.

Debido a que el flujo de retrolavado es dependiente de una fuente de agua filtrada desde el sistema, todos los sistemas de arena filtrante requieren al menos de dos tanques, uno para proveer agua filtrada al otro tanque que esta siendo lavado. Es importante tener en mente que sólo un tanque deberá ser lavado a la vez.



Acción de Retrolavado.

La válvula reguladora de flujo del retrolavado está ubicada sobre el colector de descarga de retrolavado para controlar el volumen de agua que puede escapar durante el retrolavado. La obtención de la adecuada velocidad de flujo del agua de retrolavado es esencial para un lavado efectivo. Una velocidad de flujo demasiado alto, sacará toda la arena fuera del tanque. Una velocidad de flujo muy lenta no permitirá que la cama de arena se afloje suavemente y los contaminantes puedan mezclarse con agua, y posteriormente sean retirados del tanque.

La forma más común de ajustar la válvula reguladora de flujo del retrolavado es poner manualmente el filtro en retrolavado con la válvula reguladora de flujo totalmente cerrada. Abrir lentamente la válvula de regulación hasta que una pequeña cantidad de arena aparezca en la descarga de retrolavado. Es más conveniente colocar una bolsa de nylon o una rejilla de malla fina sobre la tubería de descarga para revisar la presencia de arena.

Si esto no es posible, puede usarse como alternativa un tubo de observación. Es conveniente que se descargue una pequeña cantidad de arena durante el retrolavado. Debe esperarse perder dos o tres pulgadas de arena por temporada (100 a 200 lb. por tanque de 48”).

Aunque la cama de arena es de alrededor de 16" (40.6cm) de profundidad, lo más sensato es mantener la contaminación en el primer par de pulgadas superiores. Esto permite lavar rápidamente la arena durante una secuencia de retrolavado. Si la capa profunda inferior de la cama de arena llegara a contaminarse, tomará mucho más tiempo lavar la arena y correrá el riesgo de contaminar los “elementos colectores” ubicados debajo del filtro. Para prevenir que la contaminación alcance los elementos colectores al fondo del tanque, se deberá determinar apropiadamente la frecuencia y duración del retrolavado.



Controlador automático de retrolavado.

La frecuencia de retrolavado es dependiente de las características de los contaminantes presentes en la fuente de agua. Aunque el controlador automatizado de retrolavado está equipado con un circuito lógico para iniciar el retrolavado cuando la presión diferencial a través de los filtros alcance un nivel dado, (típicamente 4-6 psi más que cuando los tanques están limpios), con frecuencia es más conveniente iniciar el retrolavado más pronto que esto.

Unos sedimentos muy finos, por ejemplo, son capaces de migrar profundamente en la cama de arena, antes de alcanzar una presión diferencial apreciable, y ellas se hacen difíciles de remover. Las algas y otras materias orgánicas tienden con el tiempo a endurecerse, cementando la cama de arena si esta no es lavada diariamente.

Por lo dicho anteriormente se recomienda, fijar el reloj del controlador o lavar manualmente los filtros una vez por día, como mínimo. Para cargas más pesadas de contaminantes, quizás cada dos a cuatro horas.

La duración del retrolavado depende de las características de los contaminantes y la frecuencia del retrolavado. Un lavado de 90 s de duración debería ser adecuado si los contaminantes capturados son partículas grandes como desprendimiento de óxido, semillas de malezas y hojas que se depositarán en la superficie de la cama de arena. Si los contaminantes son sedimentos muy finos que migran a la cama de arena, la duración del retrolavado depende de la profundidad a la que han migrado, lo que está directamente relacionado a la frecuencia con que se lavan los filtros.

Por lo dicho anteriormente es importante que el operario observe periódicamente una secuencia de retrolavado y confirme que la duración del mismo es suficiente para remover todos los contaminantes. El agua de retrolavado debe salir transparente por 15-20 segundos antes de que la válvula sea comandada para cerrarse.

Es importante inspeccionar periódicamente la arena; drenar los filtros abriendo las tapas de llenado. La arena debe estar a su nivel y hasta la línea de llenado (la soldadura superior). Excavar a través de la arena, buscando acumulación de arcilla o bolitas de lodo que indiquen la inapropiada dinámica de retrolavado.

Si hay alguna evidencia que los contaminantes alcanzaron la parte baja de la cama de arena, entonces puede ser necesario ajustar la frecuencia del retrolavado y/o su duración. En casos de contaminación severa, puede ser necesario remover toda la grava y arena y reemplazarlo por material nuevo. (La inspección periódica puede captar la mayoría de las situaciones antes de que se tornen severas).

Con sistemas nuevos, es aconsejable verificar la arena mensualmente durante el primer temporada de trabajo, y después, una o dos veces por temporada. Antes de recolocar las tapas de los tanques, rellenar con arena los tanques a los niveles indicados.

Las Partes del sistema están divididos en dos categorías: Componentes; artículos incluidos con la compra del filtro. Accesorios; artículos recomendados

. El diagrama se identifica los Componentes con números y los Accesorios con letras. Vea los cuadros siguientes para la descripción de partes:

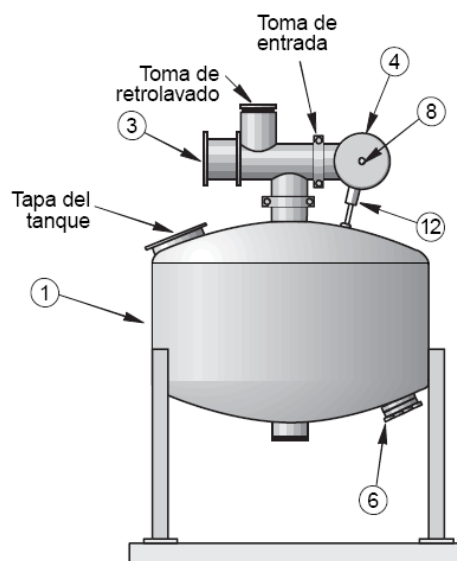
Componentes

1. Tanque filtro para grava y arena
2. Colector de salida
3. Válvula de retrolavado
4. Colector de entrada
5. Tapa de llenado e inspección
6. Toma de drenaje
7. Toma de agua limpia
8. Toma de acceso de 1/2"
9. Acople Vitaulico
10. Adaptador Vitaulico de PVC
11. Ensamble para alimentacion hidraulica del retrolavado
12. Soporte de colector de entrada (solamente los modelos de 48")
13. Toma de acceso de 1/4"

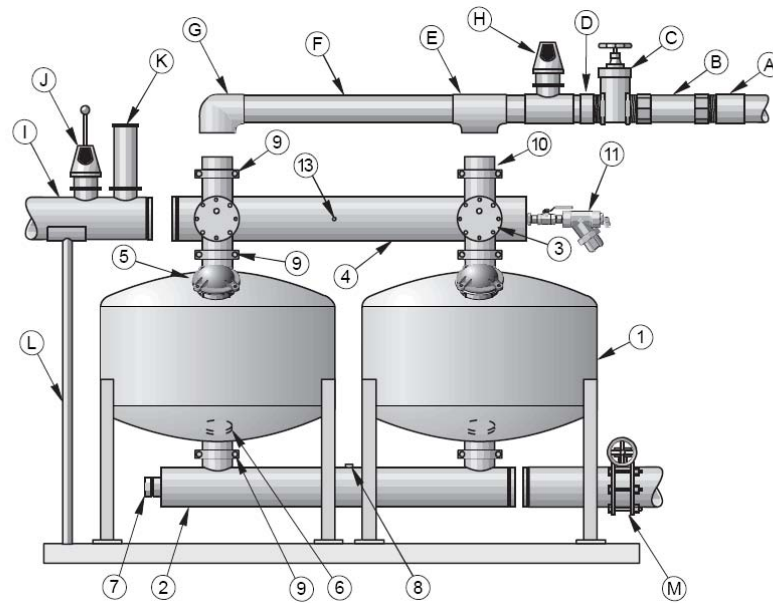
Accesorios

- | | |
|---|--|
| A. Adaptador hembra de PVC | G. Codo 90° de PVC |
| B. Tubo de observación | H. Válvula alivio de aire y vacío |
| C. Válvula reguladora de flujo de retrolavado | I. Sistema de tuberías de suministro |
| D. Adaptador macho de PVC | J. Válvula alivio de aire y vacío de acción continua |
| E. Te de PVC | K. Válvula de alivio de presión |
| F. Tubería de PVC (CED-40) | L. Soporte |
| | M. Válvula ON/OFF |

En las siguientes figuras se pueden observar la colocación de los componentes y accesorios en los filtros:



Componentes.



Accesorios.

Describiendo algunos de los accesorios y su utilización:

1. Válvula reguladora de flujo del Retrolavado:

Para asegurar el flujo correcto de retrolavado de los tanques de grava y arena, es necesario instalar una válvula compuerta para controlar el flujo en la salida del colector de retrolavado.

2. Tubo de Observación:

Permite la inspección visual del agua de retrolavado.

3. Válvula alivio de aire y vacío del Colector del Retrolavado:

Facilita el drenaje y previene la generación de vacío en la tubería de retrolavado.

4. Válvula de Alivio de Presión:

Instalada en el sistema de tubería de suministro a una distancia no mayor de 3 pies de la conexión del colector de entrada para proteger los filtros de la sobre presurización.

5. Llave de Cierre de Presión:

Prefijada para cerrar el sistema en caso de sobre presurización.

6. Válvula alivio de aire y vació de Acción Continua:

Evacua el aire durante la carga inicial del sistema y durante la operación.

7. Válvula de Control de Campo:

Instalada en la descarga del colector de salida por dos razones. Primero, la válvula facilita el retrolavado de arena en la puesta en marcha inicial. Segundo, ésta permite controlar el flujo de salida para incrementar el retrolavado y permitir ocasionales ciclos de limpieza profunda.

8. Medidor de Flujo:

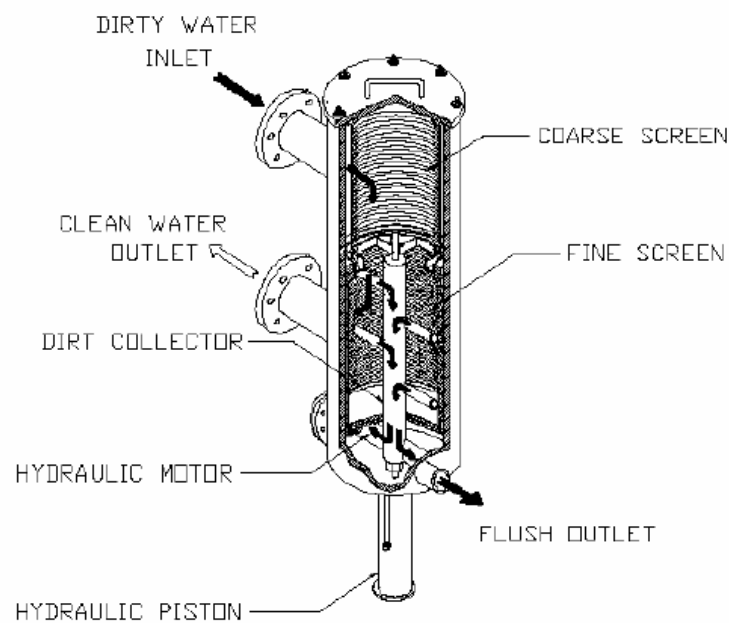
Un medidor de flujo ayuda en determinar la cantidad de agua de riego aplicada y en monitorear el desempeño de la bomba. Un medidor de flujo puede también ser usado para determinar en forma más precisa la duración del ciclo de retrolavado.

3. Micro-filtros:

El sistema de micro-filtración necesario para la eliminación de la mayor cantidad de partículas perjudiciales para las membranas de osmosis inversa se compone de un filtro de la empresa Tekleen, Automatic Filtres, Inc., modelo ABW16-LP.

Las características principales del filtro son:

- Flujo máximo: 6000 gpm.
- Limpieza automática detectada por incremento de la presión diferencial.
- Empleo del agua que se filtra como agua de lavado. Consumo reducido.
- Medidor de presión diferencial y controlador electrónico incorporados.
- Todos sus elementos son recambiables sin necesidad de desmontarlos.
- Peso 453.6 Kg.



Funcionamiento del filtro.

4. Esterilizadores UV:

En el tratamiento del agua de mar cabe destacar la utilización de esterilizadores con radiación ultravioleta, para eliminar virus y bacterias, que pueden entrar con el agua de alimentación y dañar las membranas de osmosis de inversa, así como ser transmitidas a la población consumidora del agua.

Esta probado que 85% de las enfermedades de los niños y 65% de los adultos, son producidos por virus y bacterias transportados en el agua. Un tratamiento inapropiado del agua puede crear serios problemas de salud, hepatitis B, tuberculosis, meningitis, fiebre tifoidea, tricótomos, cólera, glaucomas, dolores gastrointestinales, salmonelas, polivirus, diarrea...

Desinfectar el agua por rayos ultravioleta, es la mejor manera de proteger a la población. La desinfección por ultravioleta usa la luz como fuente encerrada en un estuche protector, montado de manera que, cuando pasa el flujo de agua a través el estuche, los rayos ultravioletas son emitidos y absorbidos dentro el compartimentos.

Cuando la energía ultravioleta es absorbida por el mecanismo reproductor de las bacterias y virus, el material genético (ADN/ARN) es modificado de manera que no puede reproducirse. Los microorganismos se consideran muertos y los riesgos de enfermedades, es eliminado.

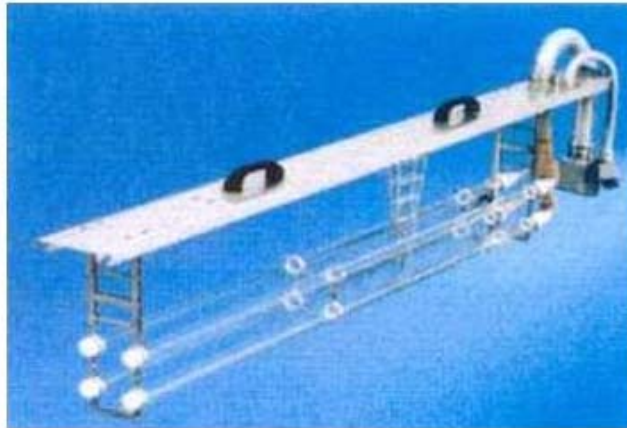
Los rayos ultravioleta emiten una energía fuerte, electromagnética, estos rayos se encuentran en el aspecto natural de la luz del sol. Ellos están en la escala de ondas cortas, invisibles, con una longitud de onda de 100 a 400 (nm) (1 nanometro=10⁻⁹m).

La luz ultravioleta, desinfecta el agua sin necesidad de compuestos químicos y posee mejores beneficios que la destilación. No crea menos complejos químicos y no saca los minerales que necesitamos en el agua.

Se elige de la empresa Trojan Technologies que nos va a suministrar el equipo con las características requeridas.

Esta lámpara ultravioleta ha sido manufacturada con las siguientes características:

- Longitud 174 cm.
- Diámetro de la lámpara de 3,10 cm.
- Potencias de las lámparas de 69 W.
- Máxima presión de trabajo 8,26 bar (125 psi).
- Temperatura de trabajo 2° C a 40° C.
- Voltaje 50-60 Hz.



5. Bombas Centrifugas para los Esterilización UV:

Las bombas empleadas en la impulsión del agua procedente de la filtración grosera, y llevadas hasta las lámparas de UV, para la desinfección de los virus y bacterias, están suministradas por JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm “*Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)*”.

- Caudal máximo 1500 m³/h.
- Altura máxima de impulsión 140.
- Temperatura máxima 200 °C.
- Velocidad máxima 3600 rpm.
- Presión máxima de trabajo 10-16 bar.
- Graficas características en anexos.



6. Membranas de Osmosis Inversa.

Para la desalación del agua de alimentación procedentes del Mar Mediterráneo, se van a utilizar membranas de arrollamiento en espiral que están formadas por varias láminas rectangulares, que constituyen las membranas propiamente dichas, enrolladas alrededor de un eje cilíndrico provisto de perforaciones que permiten recoger el agua producto.

Para el enrollamiento de las láminas desaladoras se disponen éstas alternadas con un separador impermeable y una malla, de forma que en una membrana arrollada en espiral existen tantas láminas como separadores y mallas. Las mallas plásticas determinan los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar y por su forma cuadrículada garantiza un régimen de funcionamiento turbulento lo que reduce las posibilidades de obstrucción por elementos extraños.

El conjunto es sellado y posteriormente se encierra el mismo en una envuelta exterior de poliéster con fibra de vidrio, que permite lograr una gran estanqueidad. La empresa que nos va a suministra el producto se conoce con el nombre de Hydranautics, perteneciente a la compañía Nitto Denko. Con un modelo a suministrar más concretamente denominado SCW3+ HYDRANAUTICS. SCW3+, tamaño nominal de 8", con las siguientes características técnicas:

Condiciones de prueba:	Valor
Concentración disolución de NaCl empleada	32000 (ppm)
Presión de Prueba	55,5 (bar)
Temperatura de Prueba	25°C
Recuperación de Permeado	10,00%
Rango de pH	6,5-7,0

Datos de Funcionamiento:	Valor
Presión máxima aplicable	83,25 (bar)
Flujo de alimentación máximo	17 (m ³ /h)
Temperatura máxima de operación	45°C
Rango de pH agua de alimento	3-10
Turbidez máxima del agua de alimento	1,0 (NTU)
SDI (15min) máximo del agua de alimento	5
Máxima concentración Cloro libre	<0,1 (ppm)
Relación máxima de concentrado a permeado por elemento	05:01:00
Caída de presión máxima por elemento	0,689 (bar)
Rechazo de sales mínimo	99,70%
Rechazo de sales nominal	99,80%
Flujo de permeado	26,5 (m ³ /día)
Superficie	37,3 m ²



7. Bombas de alta presión-recuperador de energía (turbina Pelton).

Como la osmosis inversa permite la desalación tanto de aguas salobres como de mar y la presión osmótica que hay que vencer está relacionada con la salinidad del agua a tratar, las presiones de funcionamiento suelen ser muy variables teniendo en cuenta la gran variedad de membranas existentes en el mercado; para nuestra instalación la bomba centrífuga seleccionada de alta presión debe de ser capaz de suministrar la presión requerida para la desalación del agua de alimentación (60 bares), el agua de entrada a los bastidores son bombeadas a alta presión, debido a la acción de las bombas-turbina pelton suministradas por Sulzer Pumps, el agua de alimentación aumenta su presión hasta los 60 bares, circulando a través de los tubos de presión obteniéndose el permeado y rechazo; donde el rechazo es recirculado de nuevo hasta la bomba-turbina, para el aprovechamiento energético de la elevada presión de salida del mismo.

Las bombas suministradas por Sulzer Pumps, han sido diseñadas para su utilización en las plantas de osmosis inversa, la turbina para el agua concentrada exclusivamente (la salmuera), las principales características del sistema son:

Tamaño Nominal DN 100-250.

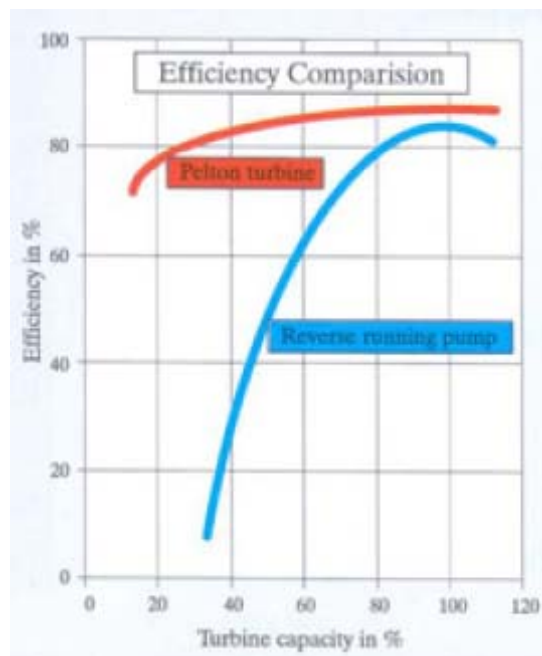
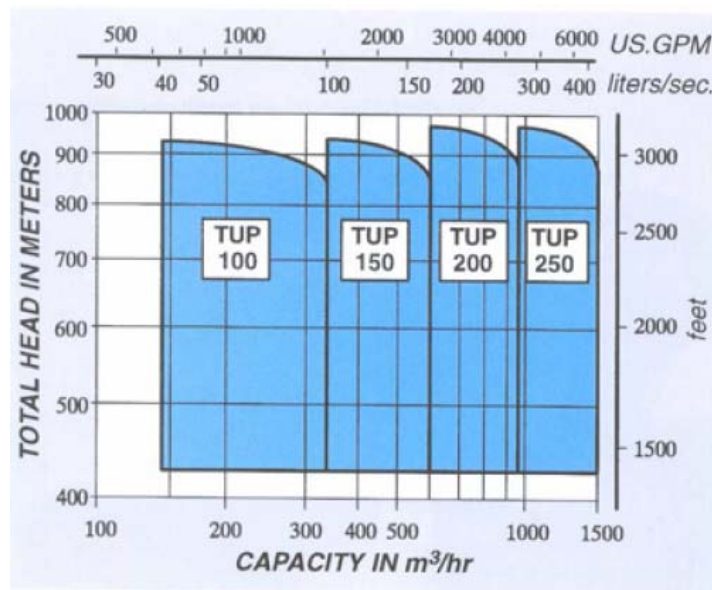
Capacidad 1500 m³/h.

Altura máxima 900 m.

Presión máxima de trabajo 100 bares.

Mayor eficiencia energética frente a las turbinas Pelton.

Turbina Pelton montada sobre el eje de impulsión con un elemento de tensión. El flujo es dirigido por la aguja ajustable mozzles a las láminas de rueda pelton.



8. Bomba evacuación de salmuera al emisario:

En el mercado no encontramos con las bombas del Fabricante Goulds Pumps “Vertical Turbina Pumps”, Modelo VIT-FF, con las siguientes características:

- Capacidad 65,000 GPM \approx 14763 m³/h.
- Temperaturas máxima de trabajo 250 °C.
- Acta para aguas saladas.
- Protegidas contra la corrosión.
- Motor 710 r.p.m.
- Altura total de impulsión en cabeza de 30 m.
- Grafica característica en anexo bombas emisario salida.



9. Instalación submarina de tubería de Polietileno correspondiente al emisario submarino de salida de salmuera al mar.

Las tuberías de polietileno submarinas se utilizan para transporte de agua potable y aguas residuales desde 1960. Por aquel entonces, los tubos se fabricaban con una longitud de 12 m, se soldaban mediante fusión a tope, se lastraban con lastres de hormigón y se sumergían hasta el fondo del mar introduciendo agua por un extremo y liberando aire por el otro extremo.

El método es casi idéntico hoy en día. No obstante, se da más importancia al diseño y a los cálculos para garantizar una instalación segura y así evitar daños. Otra innovación es el uso de tubos de gran longitud (hasta 500 m) con extrusión continua realizada en la fábrica, remolcados en barco hasta el emplazamiento y unidos mediante conexiones embridadas.

En consecuencia, las tuberías de polietileno son actualmente el material más comúnmente utilizado en instalaciones submarinas. La combinación de flexibilidad y resistencia las hace superiores a otros materiales. En Noruega, por ejemplo, más del 95% de las tuberías submarinas se hacen con tubos de polietileno. Los diámetros varían en un intervalo de Ø 50 mm - Ø 1600 mm, y la profundidad del agua puede alcanzar los 250m en casos especiales. Muy rara vez se producen daños.

Esto se debe a:

- Materiales excelentes
- Diseño apropiado
- Contratistas con amplia experiencia
- Supervisores bien preparados

Con todo, a modo de introducción mencionaremos primero los diferentes tipos de instalaciones submarinas y describiremos brevemente un ejemplo de proyecto típico relativo al hundimiento de una tubería.

Siguiendo la dirección de transporte natural del agua para consumo, podemos dividir la instalación en 3 categorías:

- Tubería de admisión
- Tubería de transporte
- Tubería de salida o emisario

Tubería de admisión

Las tuberías de admisión se utilizan en aplicaciones tanto civiles como industriales. Las fuentes pueden ser ríos, lagos. Las profundidades de admisión oscilan entre 2 m y 250 m. El agua se transporta normalmente en la tubería por gravedad hasta una cámara de toma.

En algunos casos, la tubería de admisión se conecta directamente a la bomba en una estación de bombeo.

Las tuberías de admisión están siempre expuestas a presión negativa.

Tubería de transporte

En muchos casos puede resultar conveniente atravesar lagos y ríos con tuberías submarinas en lugar de utilizar una ruta más larga junto a la orilla. En otras situaciones, es necesario cruzar los ríos y los mares para aprovisionar ciudades e islas de agua, o para eliminar las aguas residuales. El agua puede transportarse por gravedad o mediante bombeo. Durante esta operación hay siempre cierta sobrepresión en la tubería, excepto en caso de aumento brusco de la presión.

Es normal instalar un registro/pozo en cada orilla para establecer una interconexión entre las tuberías submarinas. El equipo disponible en los pozos dependerá del nivel de servicio. Lo habitual es instalar válvulas de retención.

Éstos son algunos problemas especiales a tener en cuenta en las tuberías de transporte:

- Presión
- Transporte de aire
- Corrientes
- Oleaje
- Equipos de pesca
- Anclajes

Tubería de salida – Emisario

Las aguas residuales tratadas se conducen normalmente hacia el área de descarga del medio receptor a una cierta profundidad y distancia de la costa. Una salida de agua profunda facilitará una dilución excelente de las aguas de desecho.

La profundidad de salida variará en un intervalo de 10-60 m, dependiendo de la capacidad de autopurificación del medio receptor.

El medio receptor puede ser un río, un lago, o el mar. El emisario empieza generalmente en la cámara de descarga de la zona costera, hacia donde se conducen las aguas residuales por gravedad o bombeo. Es poco habitual recurrir al bombeo directamente en la tubería de salida y no es recomendable.

Si resulta necesario bombear, la mejor solución será bombear las aguas hasta la cámara de descarga y conducir las por gravedad hasta el medio receptor.

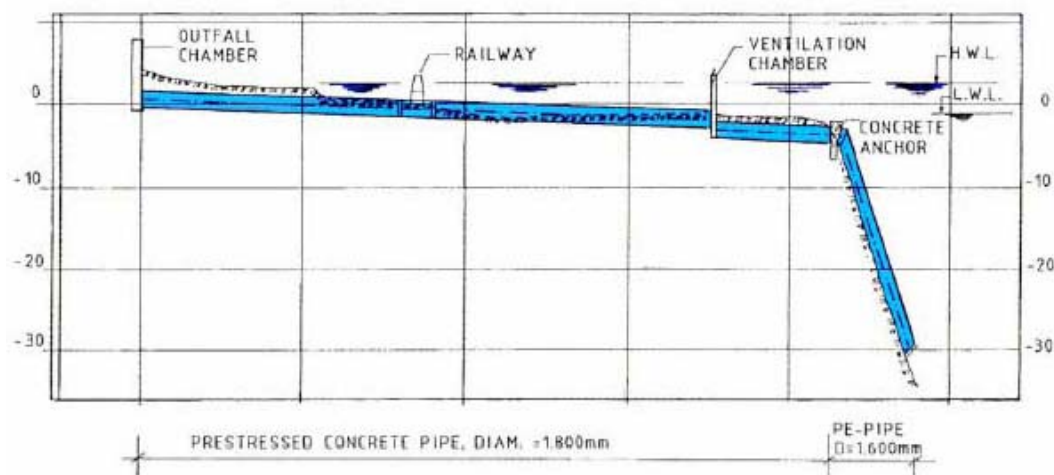
El cometido principal de la cámara de descarga es evitar que el aire entre en la tubería. El aire puede provocar la flotación de la tubería debido a la fuerza de empuje.

También conviene tener en cuenta las variaciones de las mareas altas y bajas cuando se diseñe la cámara de descarga.

He aquí algunos problemas especiales a considerar en relación con las tuberías de salida:

- Arrastre de aire hacia el caudal de la tubería
- Incrustaciones biológicas
- Fuerzas inducidas por las corrientes y el oleaje
- Transporte de sedimentos.

La figura representa un emisario industrial. En la figura se aprecia el sistema de descarga al mar desde una planta de acero al norte de Noruega.



El ejemplo superior no es muy característico de un emisario. Normalmente, la tubería de polietileno comienza en la cámara de descarga.

La presente descripción está relacionada con el proceso de hundimiento y las precauciones necesarias para garantizar una instalación segura en el fondo. Se han utilizado dos métodos distintos; uno para la propia tubería y otro para el difusor. El hundimiento de la tubería se lleva a cabo básicamente con las propias fuerzas de la naturaleza, es decir, la gravedad, la flotabilidad y la presión del aire, mientras que el difusor se hunde con ayuda de las grúas.

Hundimiento de la tubería

Los tubos se llevan en remolcadores desde la planta de fabricación hasta el lugar de instalación. La tubería se entrega en tramos de 400-600 m. A su llegada, los tramos se almacenan a nivel superficial, tal y como se indica en la figura inferior.

Es importante encontrar un emplazamiento para montaje que esté guarnecido del oleaje y las corrientes. Cada tramo permanece relleno de aire e incorpora casquillos y bridas de obturación en los extremos.



Almacenamiento de tramos de tubería.

La siguiente fase de trabajo consiste en instalar los contrapesos de hormigón, que se fijan a la tubería a una determinada distancia entre centros. Esta distancia puede variar a lo largo de la tubería en función de las fuerzas calculadas para operar a una profundidad especial. Los contrapesos se pueden instalar en tierra o en alta mar. La figura muestra una instalación donde los contrapesos de hormigón se fijan a la tubería en tierra y se trasladan hasta la superficie del agua con grúas o excavadoras. Normalmente, los contrapesos tienen forma rectangular y no redondeada.



Fijación de contrapesos de hormigón a la tubería.

Cuando todos los tramos están lastrados, se procede a unirlos mediante bridas o manguitos de soporte. Este trabajo se realiza por regla general en alta mar con ayuda de barcazas y grúas. La figura muestra una instalación típica.



Embridado de dos tramos de tubería.

Cuando todos los tramos de la tubería están encajados, se dice que está lista para el proceso de hundimiento. La tubería está equipada con bridas de obturación a cada lado. En el extremo exterior, la brida de obturación incorpora además tubos y válvulas para evacuación y llenado de aire.

Antes de comenzar el hundimiento, es imprescindible marcar la ruta correctamente con boyas flotantes en la superficie del mar. También es muy importante escuchar la previsión del tiempo local. El viento debe ser suave y las olas escasas durante el proceso de hundimiento.

La tubería completa se coloca en la ruta correcta con ayuda de barcos, barcazas y pequeños botes. El extremo interior se conecta a la brida en el pozo del emisario. Debe haber un tubo en la pared del pozo para que el agua marina pueda entrar en el pozo durante el hundimiento. Es posible instalar una válvula para regular el caudal.

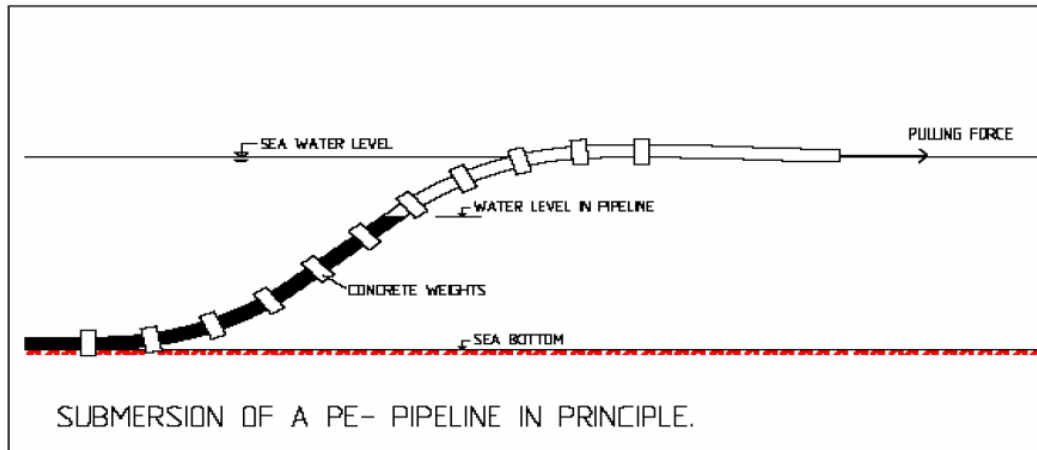
Antes de proceder a la conexión con bridas, la presión interna del aire en la tubería debe ajustarse con la presión a la profundidad de conexión (por ejemplo, +0,3 bar si la profundidad inicial es 3 m). Un compresor efectúa este ajuste. De este modo se evitan “escapes” en la tubería. También es importante aplicar una fuerza de tracción en el extremo exterior de la tubería antes de que comience el hundimiento.

Esta fuerza puede variar a lo largo de la operación de hundimiento y se calculará con especial precisión de antemano.

Los cálculos preliminares indican que la fuerza de tracción máxima será de aproximadamente 40 toneladas.

El hundimiento comienza abriendo con cuidado la válvula de aire en el extremo exterior y controlando la presión interna con un manómetro si es necesario para cargar la tubería con aire comprimido. Regulando la presión interna, tendremos un hundimiento controlado con una velocidad casi constante. La velocidad de hundimiento aproximada puede ser de 0,3m/seg.

La configuración en forma de S expresa un equilibrio entre las fuerzas descendentes (contrapesos de hormigón) y las fuerzas ascendentes (flotabilidad de la sección rellena de aire). Esta situación se ilustra en la figura:



Tubería de polietileno durante el proceso de hundimiento.

El factor crítico es el radio de la curvatura en la superficie marina. Si este radio es inferior a 50 m aproximadamente en este caso, la tubería corre el riesgo de deformarse por pandeo.

Es necesario realizar la operación de hundimiento como un proceso continuo. Si el hundimiento se detiene, el módulo elástico del material de polietileno disminuirá con el tiempo y el radio mínimo de la curvatura se reducirá análogamente. Esto puede provocar una deformación por pandeo en la tubería. Si por cualquier motivo fuera preciso interrumpir la instalación, habrá que arrancar el compresor y dar marcha atrás al proceso de hundimiento.

Esta acción debe llevarse a cabo en un plazo máximo de 15 minutos. El compresor ha de poder funcionar a 7 bares. Como es de imaginar, la configuración en S se transformará en una configuración en J cuando se haya hundido el extremo exterior de la tubería. En esta posición hemos de aplicar una fuerza de tracción y una velocidad de hundimiento correcto para evitar fuerzas de aceleración dinámicas cuando el último volumen de aire salga de la tubería. La longitud del hilo de tracción también debe ser acorde con la profundidad máxima, a fin de garantizar un “aterrizaje” seguro del extremo de la tubería en el fondo. El “aterrizaje” se produce cuando la fuerza de tracción se reduce gradualmente hasta cero.

Las figuras muestran la tubería durante el proceso de hundimiento. Cabe prestar atención al bote de asistencia y al cable de tracción desde el remolcador en el extremo exterior.

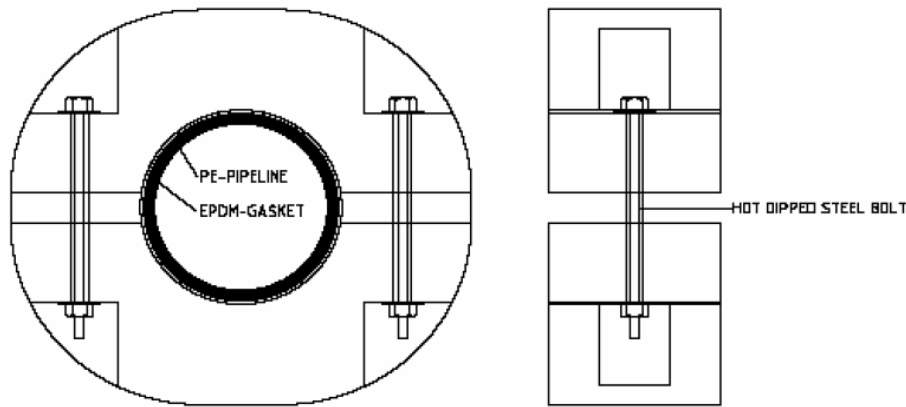


El proceso de inmersión ha comenzado.



Poco antes, el extremo de la tubería se aleja de la superficie.

Los contrapesos de hormigón deben sujetarse correctamente a la tubería para impedir deslizamientos durante la instalación. Para aumentar el coeficiente de fricción y no arañar la superficie de la tubería, instalamos una junta de goma EPDM entre los tubos y los contrapesos de hormigón. En la figura se muestra un ejemplo de sistema de contrapesos de hormigón.



EXAMPLE OF ROUND CONCRETE WEIGHT FOR PE- SUBMARINE PIPELINE

Sistema de contrapesos de hormigón.

Instalación del difusor

El hundimiento del difusor se hace de distinto modo que la tubería. El difusor se fabrica o se monta en una pieza de 406 m de largo, y se remolca hasta el emplazamiento de la misma forma que las secciones de tubería. El material de los tubos es polietileno 100 SDR26 y el diámetro se escalona de Ø1200mm a Ø500mm. El contratista taladrará los agujeros en el difusor in situ.

Los contrapesos de hormigón y los elementos de flotación se fijan a la tubería antes del hundimiento. La capacidad de los elementos de flotación ha de ser mayor que el peso de la tubería, incluyendo los contrapesos ya sujetos. La inmersión se realiza bajando la tubería como una viga desde las barcasas.

La sección del difusor no debe levantarse del agua. De lo contrario, las tensiones sobre el material de polietileno 100 serían excesivas y el difusor sufriría daños.

Otra alternativa es dividir el difusor en 4 piezas y hundirlas por separado. En tal caso, las piezas se “acoplarán” entre sí con conexiones embridadas en el fondo marino o a cierta distancia superior.

Si la proporción entre el radio de curvatura y el diámetro de la tubería (R/D) es 20, la tubería se derrumbará o se deformará por pandeo.

El esfuerzo máximo tolerable para el material de la tubería durante la fase de hundimiento no debe sobrepasar los 10 MPa.

Los cálculos preliminares demuestran que no es posible realizar el hundimiento sin ayuda de cuerpos de flotación. Eso significa que solo es posible retirar una parte de los cuerpos de flotación instalados durante la operación en la superficie del mar antes de proceder a la inmersión con grúas.

En los cálculos del apoyo necesario de estos cuerpos, el coeficiente de seguridad contra deformación por pandeo no podrá ser inferior a 3, teniendo en cuenta que el proceso de hundimiento se verá influido además por el oleaje y las corrientes. Coeficiente de seguridad contra deformación por pandeo = 3,0; por consiguiente: R/D mín. = 60.

Se presupone que los módulos de elasticidad para el polietileno son 300 MPa. Este valor corresponde a un 1,5% de tensión del material durante 24 horas aproximadamente a una temperatura de 30 °C. Si el hundimiento tarda más, la situación será más desfavorable debido a la disminución en los módulos de elasticidad.

Los cuerpos de flotación deben soportar la presión del agua a una profundidad de 60 m. No se permite que se deslicen por la tubería durante el hundimiento. Las grúas que operan simultáneamente harán bajar el difusor. Este método requiere un sistema de comunicación seguro entre los operarios.

Condiciones climatológicas

El plazo de duración previsto para todo el proceso con la tubería principal, incluyendo la conexión de las distintas secciones y el hundimiento, es de 3 a 5 días aproximadamente. El proceso de hundimiento precisará un periodo de calma entre períodos tormentosos de 12 horas.

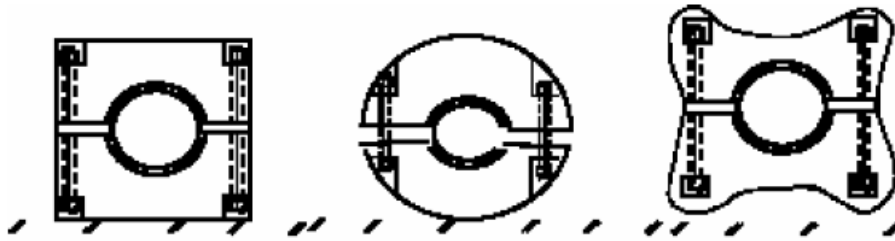
El plazo de duración previsto para el hundimiento del difusor es de 12 horas. Incluyendo la preparación para el hundimiento, el plazo de duración previsible será de 1 o 2 días.

Los datos de la previsión meteorológica y del oleaje son esenciales para preparar el proceso de hundimiento. La altura de las olas no podrá sobrepasar el metro durante la inmersión de la tubería. Si la acción de las olas es lo más reducida posible, aumentará el coeficiente de seguridad contra daños de los tubos.

Tipos de contrapesos de hormigón:

Dependiendo de su forma, hay tres tipos de contrapesos de hormigón:

- rectangulares
- circulares
- estrellados



Distintos tipos de contrapesos de hormigón.

Todos los contrapesos van empernados a la tubería. La fuerza de fijación deberá ser la suficiente para evitar su deslizamiento durante el hundimiento y el giro sobre el fondo marino. La fuerza de los pernos será unas 2-3 veces el peso del hormigón en aire. Entre el contrapeso de hormigón y la pared de la tubería se colocará una banda de goma tipo EPDM o equivalente. En la mayoría de los casos, se recomienda también la colocación de compensadores de goma en los pernos para reducir las tensiones locales en la pared de la tubería causadas por presión interna.

El contrapeso rectangular es el formato clásico. Presenta un buen rendimiento global y puede utilizarse en la gran mayoría de casos.

Los contrapesos circulares se utilizan en zanjas, en aguas tranquilas y en lugares donde se lleva a cabo pesca y anclaje.

Los contrapesos en forma de estrella pueden aplicarse con éxito en casos en los que el impacto de las olas y de las corrientes es importante. Su forma les da una estabilidad añadida.

A continuación se enumeran los coeficientes de fricción aproximados para los tres tipos de contrapesos de hormigón:

Tipo	Coefficiente de fricción
Rectangulares	0,5
Circulares	0,2
Estrellados	0,8

Coefficientes de fricción aproximados de los contrapesos de hormigón.

Tuberías de PE (Polietileno) Ensamblaje:

Actualmente existen muchos métodos de ensamblaje adecuados para todos los tamaños de tuberías de PE:

- Soldadura por fusión a tope.
- Accesorios para electrofusión.
- Portabridas con anillo de soporte soldado.
- Manguitos de unión mecánicos.

La fusión a tope se puede utilizar en todos los tamaños de las tuberías de PE, pero se emplea principalmente en tuberías de entre 110 mm y 1600 mm de diámetro. Los manguitos para electrofusión se encuentran disponibles actualmente en tamaños de hasta 500 mm y en el futuro dispondremos de diámetros aún mayores. El portabridas con anillo de soporte soldado se utiliza principalmente para ensamblar secciones más largas de tuberías, para conexiones a válvulas o agujeros de hombre o a tuberías fabricadas con otros materiales.

La soldadura por fusión a tope de tramos de tuberías combinada con portabridas / anillo de soporte soldado son habituales en las tuberías de PE más grandes instaladas en tierra o en entornos marinos. Las instalaciones por fusión a tope y electrofusión se utilizan principalmente para tamaños de tuberías más pequeños.

Las instalaciones mecánicas para todos los tamaños de tuberías de PE se encuentran disponibles actualmente en diversos diseños de metal y plástico. Resultan preferibles en condiciones de:

- tensión de flexión de rotura bajo cargas de corta duración como durante la inmersión y el tendido.
- condiciones difíciles o imposibles para realizar soldaduras.
- ensamblaje submarino o reparación de tuberías en general.

6. MATERIAS PRIMAS:

INDICE DE MATERIAS PRIMAS:

- 1. Agua del mar Mediterráneo.**
- 2. Ácido sulfúrico.**
- 3. Hidróxido de Calcio.**
- 4. Cloruro de Calcio.**
- 5. Hipoclorito Sódico.**

1. Agua del Mar Mediterráneo:

La materia prima básica es el agua de mar recogida por medio del emisario de captación, a través de la torre de toma hasta la cántara de captación. Al agua bombeada por las distintas líneas de operación, se le añaden materias primas auxiliares para adecuar sus características a las necesidades del proceso, como: ácido sulfúrico, cal apagada (Ca(OH)_2), cloruro de calcio e hipoclorito sódico.

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

Mar mediterráneo: Salinidad Bruta= 39348 mg/L ; pH= 7,4-7,6

CATIONES (mg/L)		ANIONES (mg/L)	
Sodio(Na^+)	12179	Cloro(Cl^-)	21555
Magnesio(Mg^{+2})	1387	SO_4^{-2}	3200
Calcio(Ca^{+2})	449	HCO_3^{-1}	158,6
Potasio(K^+)	418	F^-	1
SDI	3 (c.n.)	Turbidez	0,30(toma abierta)

En este análisis no aparece el recuento de bacterias. El mayor o menor contenido en bacterias afectará principalmente a la frecuencia de limpieza de membranas. Los valores del boro en los análisis es 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 Hydranautics que mantienen 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 limpieza de membranas.

2. Ácido Sulfúrico:

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 la alcalinidad sea al menos de 30 ppm en HCO_3^- .

 MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES		 INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO
		
		
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.
• INHALACION	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos,	Ventilación, extracción localizada o protección	Aire limpio, reposo, posición de
	dificultad respiratoria, dolor de garganta.	respiratoria.	semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua 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	

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 es necesario que el grado del reactivo sea de grado alimenticio, las concentraciones comerciales oscilan entre 85-99% de pureza. Se elige una pureza del 90%. La solubilidad del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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 utilizada en el tratamiento del agua de consumo humano ha de cumplir con la norma UNE-EN 12518:2000.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIHIDROXIDO DE CALCIO

ICSC: 0408

DIHIDROXIDO	DE	CALCIO
Hidróxido	de	calcio
Cal		apagada
Ca(OH) ₂		
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,	Ventilación, extracción localizada	Aire limpio, reposo y someter a atención

	garganta y vías respiratorias superiores, tos.	o protección respiratoria.	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 quemazón en la boca, garganta y esófago, vómitos, debilidad.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. NO dar nada de beber y 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:	Mantener en lugar seco.	

respirador de filtro P2 para partículas nocivas).		
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	

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 de 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.

CLORURO DE CALCIO (anhidro)


ICSC: 1184

			
CLORURO DE CALCIO (anhidro)			
CaCl ₂			
Masa	molecular:		111.0
Nº	CAS		10043-52-4
Nº	RTECS		EV9800000
Nº	ICSC		1184
Nº CE 017-013-00-2			

TIPOS DE PELIGRO/ 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		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.

	irritantes.		
EXPLOSION			
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	Separado de cinc. Mantener en lugar seco, bien cerrado y bien ventilado.	Hermético. símbolo Xi R: 36 S: (2-)22-24

<p>polvo para evitar su dispersión. Eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas).</p>		 <p>CE:</p>
<p>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</p>		
<p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y ICSC: 1184 la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994</p>		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CLOURURO DE CALCIO (anhidro)

ICSC: 1184

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

<p>O R T A N T E S</p>	<p>produciendo gas inflamable tracto respiratorio. de hidrógeno. Se disuelve violentamente en el agua con EFECTOS DE EXPOSICION liberación de gran cantidad de PROLONGADA O calor. REPETIDA El contacto prolongado o LIMITES DE EXPOSICION repetido con la piel puede TLV no establecido. producir dermatitis. La sustancia puede afectar a la mucosa nasal, dando lugar a ulceraciones.</p>
<p>PROPIEDADES FISICAS</p>	<p>Punto de ebullición: 1935°C Densidad relativa (agua = 1): Punto de fusión: 772°C 2.16 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 74.5</p>
<p>DATOS AMBIENTALES</p>	
<p>NOTAS</p>	
<p> </p>	

<p>INFORMACION ADICIONAL</p>	
<p>FISQ: 5-052 CLORURO DE CALCIO (anhidro)</p>	
<p>ICSC: 1184 CLORURO DE CALCIO (anhidro) © CCE, IPCS, 1994</p>	

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

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIPOCLORITO DE SODIO (disolución >5%)

ICSC: 1119



HIPOCLORITO DE SODIO (disolución >5%)

Oxícloruro sódico

NaClO

Masa molecular: 74.4

Nº CAS 7681-52-9

Nº RTECS NH3486300

Nº ICSC 1119


Nº NU 1791

Nº CE 017-011-00-1

TIPOS DE PELIGRO/ PELIGRO/ EXPOSICION	DE PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
---	------------------------------------	------------	--

<p>INCENDIO</p>	<p>No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.</p>	<p>NO poner en contacto con sustancias combustibles (véanse Peligros Químicos).</p>	
<p>EXPLOSION</p>			<p>En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.</p>
<p>EXPOSICION</p>		<p>-EVITAR TODO CONTACTO!</p>	
<p>INHALACION</p>	<p>Sensación de quemazón, tos, jadeo.</p>	<p>Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.</p>	<p>Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y proporcionar asistencia médica.</p>
<p>PIEL</p>	<p>Enrojecimiento, dolor, ampollas.</p>	<p>Guantes protectores y traje de protección.</p>	<p>Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo y proporcionar</p>

			asistencia médica.
OJOS	Enrojecimiento, dolor, 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	Calambres abdominales, sensación de quemazón, vómitos, debilidad, pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de ácidos, alimentos y piensos, y sustancias incompatibles. Mantener en lugar fresco, oscuro y bien cerrado.	 <p>No transportar con alimentos y piensos.</p> <p>símbolo C</p> <p>R: 31-34</p> <p>S: (1/2-)28-45-50</p> <p>Nota: B</p> <p>Clasificación de Peligros</p> <p>NU: 8</p> <p>CE:</p>

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE


ICSC: 1119 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIPOCLORITO DE SODIO (disolución >5%)

ICSC: 1119

<p>D A T O S I M P O R T A</p>	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO VIAS DE EXPOSICION Solución clara, entre verde y La sustancia se puede absorber amarillo, de olor característico. por inhalación del vapor y su aerosol y por ingestión. PELIGROS FISICOS RIESGO DE INHALACION No puede indicarse la velocidad PELIGROS QUIMICOS a la que se alcanza una La sustancia se descompone al concentración nociva en el aire calentarla intensamente, en por evaporación de esta contacto con ácidos y bajo la sustancia a 20°C. influencia de luz, produciendo gases tóxicos y corrosivos, EFECTOS DE EXPOSICION incluyendo cloro (véase FISQ:). DE CORTA DURACION La sustancia es un oxidante La sustancia es corrosiva para fuerte y reacciona violentamente los ojos, la piel y el tracto con materiales combustibles y respiratorio. Corrosiva por reductores, originando peligro ingestión. La inhalación del de incendio y explosión. La aerosol puede originar edema disolución en agua es una base pulmonar. Los efectos pueden fuerte, reacciona violentamente aparecer de forma no inmediata con ácidos y es corrosiva. Ataca (véanse Notas). Se recomienda a muchos metales. vigilancia médica.</p>
--	---

N T E S	<p>LIMITES DE EXPOSICION EFECTOS DE EXPOSICION TLV no establecido. PROLONGADA O REPETIDA</p> <p>El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel (véanse Notas).</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Densidad relativa (agua = 1): Solubilidad en agua, g/100 ml a 1.21 0°C: 29.3</p>
DATOS AMBIENTALES	<p> La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.</p>
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>	

7. EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL.

INDICE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL:

- 1. Introducción.**
- 2. Localización y alcance.**
- 3. Factores ambientales relevantes del entorno del proyecto.**
- 4. Actuación medioambiental o medidas correctoras.**

1. Introducción:

Una de las propuestas más destacadas del programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua) del Ministerio de Medio Ambiente, es la desalación como generador prioritario de recursos hídricos en cantidad y calidad, tanto para consumo humano como para uso agrícola e industrial.

Las plantas desaladoras son una de las infraestructuras con menor y más asumible impacto ambiental, y más si las comparamos con similares como puedan ser las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.

Estas “Fábricas de Agua”, recluidas en instalaciones de escasa altura y capaces por tanto de ser integradas perfectamente en el paisaje en que se inscriban, presentan una contaminación atmosférica absolutamente nula, una contaminación sónica perfectamente asumible mediante aislantes acústicos, y conducciones totalmente capaces de ser integradas, simplemente con ejecutarlas enterradas.

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), elaboración de un documento técnico encaminado a predecir las consecuencias de la ejecución del proyecto sobre el medio ambiente y estableciendo las pertinentes medidas correctoras.

2. Localización y alcance:

La estación desaladora de agua de mar se instalara en el margen izquierdo de la Rambla de Balanegra. Sobre el macizo rocoso de «El Puntazo» en las playas de El Palmer.

La captación del volumen necesario para la producción establecida se realiza mediante una captación submarina por toma abierta. El sistema de desalación que se integra en la instalación, se realiza mediante la técnica conocida como Ósmosis inversa.

El vertido del rechazo producido en la Ósmosis Inversa será previamente diluido con agua de mar a través del emisario submarino proyectado, a través del difusor de 200 m con 20 boquillas cada 10 m. Emisario submarino de boca única con una longitud del emisario. 2.500 m (1400 m común con conducción de captación).

Conexión de línea eléctrica se realiza con la subestación de Berja y subestación de Benahadux. Otras infraestructuras: Balsa de regulación en el LIC «Sierras de Gádor y Énix.» Central hidroeléctrica para la producción de 50 MW/año en una caverna bajo los Acantilados de Almería-Aguadulce.

3. Factores ambientales relevantes del entorno del proyecto:

Respecto a la posible afección del proyecto sobre las fanerógamas marinas debido al incremento de la concentración salina por la salmuera vertida, estudios realizados por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) señalan que la Posidonia oceanica es más sensible respecto al incremento de la salinidad que la Cymodocea nodosa.

El punto de vertido de la planta Desaladora se localiza a más de 800 m al N-NE (Nor-Noroeste) de las praderas de *Posidonia oceanica* más próximas, por lo que tampoco prevé afecciones sobre ellas, debido a que esta solución proyecta una dilución del orden de 1:5 de la salmuera con el agua bruta, de tal manera que el vertido final presenta una salinidad muy próxima al medio receptor.

La Dirección General para la Biodiversidad considera que los incrementos de salinidad y contaminantes por el vertido del efluente hipersalino, pueden provocar alteraciones en las praderas de *Cymodocea nodosa* y de *Posidonia oceanica* que existen en las inmediaciones de la actuación. Por lo tanto, solicita estudios de caracterización del medio marino y de las corrientes, así como el empleo de modelos de simulación para predecir el comportamiento: dilución y dispersión, de la salmuera, y estimar el impacto que producen, principalmente sobre las praderas de fanerógamas marinas ubicadas en la zona próxima al punto de vertido.

El plan de vigilancia ambiental, de acuerdo con las indicaciones de la Dirección General para la Biodiversidad, deberá incluir un programa de mediciones de la salinidad en el medio marino, un seguimiento de la comunidad florística y faunística en el área de influencia del vertido, un control de la dispersión de la pluma de vertido y un protocolo de parada en caso de superar los límites de salinidad establecidos.

A la hora de proyectar una Desaladora, hemos de considerar las siguientes partes que la componen:

3.1 Punto de toma de agua bruta:

El aspecto más importante a dilucidar, en el caso de las desaladoras, es su emplazamiento y, ligado a él, su sistema de captación y vertido, ambos muy condicionados, no solo por sus aspectos técnicos y económicos, sino también, y muy especialmente en el Mediterráneo, por sus posibles afecciones medioambientales.

Se trata de encontrar en el entorno de la zona de ubicación de la desaladora el mejor lugar y los diseños alternativos para una toma abierta, para lo cual se han de analizar los siguientes aspectos:

- Perfil batimétrico y definición de distancias a las que se alcanzan profundidades superiores a 10 m.
- Identificación de los focos que pueden alterar la calidad del agua de mar desestimando lugares próximos a emisarios, aliviaderos de pluviales y redes de saneamiento, desembocaduras de cauces, etc.,
- Calidad y nivel de protección de los fondos marinos, en especial por la presencia de praderas de *Posidonia oceánica*.
- Información sobre el medio tectónico y, en particular, sobre la presencia de fauna gregaria o proliferación súbita de organismos (medusas, mareas de algas, etc.)

A partir de esta información se han de plantear los posibles lugares para la ubicación de la toma abierta de agua de mar.

3.2 Edificaciones:

La construcción de los edificios que albergan los elementos propios de desalación son naves industriales de escasa altura, unos 11 metros, que carecen de cualquier tipo de emisión a la atmósfera y en consecuencia no generan contaminación alguna al respecto, y que al edificarse aislados pueden absorber totalmente el ruido generado por los motores eléctricos asociados al proceso de ósmosis inversa, desde el punto de vista de su impacto visual y paisajístico, son fácilmente integrables en su entorno, tal y como se muestra en las fotografías que se adjuntan.



Desaladora de Adeje-Arona (Canarias).

En lo que se refiere a la crítica de que las desaladoras producen un impacto estético y visual en las zonas en que se implantan, un viejo refrán español dice que una imagen vale más que mil palabras, a las fotografías de las desaladoras anteriormente reflejadas basta con añadir las imágenes de una desaladora y la de un hotel que se construye en el mismo término municipal.



El impacto de una desaladora, no es en modo alguno más que un impacto residual de anteriores actuaciones antrópicas de mayor envergadura, como son la urbanización y ocupación extensiva de miles de hectáreas que carecen de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes para atender la demanda propia de ese proceso acelerado de edificación.

Y se critica a las desaladoras el impacto visual y de ocupación de suelo, cuando el mismo es centésimo en comparación con la superficie urbanizada a cuya demanda tiene que satisfacer.

3.3 Vertidos:

En el Mediterráneo existen en la actualidad cinco especies de fanerógamas marinas, una de las cuáles (*Halophila stipulacea*) es de origen lessepsiano, es decir, entró en el Mediterráneo por el canal de Suez, procedente del mar Rojo.

La más importante, por la superficie que ocupa, por su importancia ecológica, económica y pesquera y por su significación ambiental, es *Posidonio oceánica* (L.) Delile. Es la que tiene una estructura más compleja, forma praderas de gran desarrollo y juega un papel crucial en la "ordenación" del espacio que ocupa. También puede modificar las características del ambiente en el que vive y de zonas aledañas.

Es una fanerógama marina endémica del mar Mediterráneo, que se distribuye en los fondos fotófilos entre la superficie y, en función de la transparencia de las aguas, los 30-40 m de profundidad, formando auténticas praderas submarinas. La pradera de *P. oceánica* es una de las comunidades más representativas del Mediterráneo con una gran complejidad y alta diversidad de sus poblamientos, desempeñando un papel muy importante a nivel ecológico.

Entre otras funciones: fijan los fondos contribuyendo a la protección de las costas, son productoras de grandes cantidades de oxígeno, fuente de nutrientes, soporte de epibiontes muy diversos, constituyen un refugio de larvas y alevines y lugar de desarrollo de distintas poblaciones de animales, muchas de ellas de interés comercial. Desde un punto de vista pesquero estas formaciones se consideran como áreas de desarrollo de larvas y de reclutamiento, aunque también de pesca de ejemplares adultos. La alteración de los perfiles litorales y obras costeras, el anclaje de embarcaciones y la pesca ilegal de arrastre son las principales causas de degradación de esta comunidad biológica.

3.4 Naturaleza de la salmuera:

La salmuera de rechazo de una desaladora no contiene residuos, como en el caso de otros procesos industriales. La salmuera contiene los mismos iones y componentes que se extrajeron del mar, salvo la pequeña proporción que atraviesa las membranas y se incorpora al agua dulce producida (en el orden de un 1% del contenido existente en el agua de mar de alimentación). Sin embargo, esos iones están concentrados en un volumen de aproximadamente el 50% del extraído del mar.

En el proceso de desalación se usan algunos aditivos para ayudar a la filtración o a la limpieza de las membranas que pueden estar presentes en el vertido de salmuera en cantidades prácticamente imposibles de detectar.

Por tanto, la salmuera es agua de mar concentrada y no tiene efectos sobre el medio ambiente marino, salvo, evidentemente, los que se deducen de su concentración en sales que es el doble de la del agua de mar (aproximadamente).

Evidentemente, es imposible mantener por largo tiempo dos masas de agua con diferente contenido salino sin que las concentraciones se igualen. La salmuera introducida en el mar derivará iones hacia las aguas circundantes hasta conseguir igualar las concentraciones.

Si la alimentación de salmuera al mar es continua, como ocurre en una planta que esté en funcionamiento, la distancia al punto de vertido es la mejor variable para estimar las condiciones de dilución: por ejemplo, si tomamos una medida a 50 metros del punto de vertido, podemos encontrar una salinidad determinada (que depende de las condiciones topográficas y del estado del mar) menor que la de la salmuera y mayor que la del agua de mar.

Supongamos que esta sea 1,2 veces la salinidad del agua de mar. Si las condiciones son constantes, a una distancia mayor, por ejemplo 150 metros, la salinidad será menor, digamos 1,05 veces la salinidad del agua de mar.

Finalmente, a cierta distancia, será imposible distinguir la presencia de salmuera. Como el mayor contenido de sales supone una mayor densidad, el fenómeno de la dilución actúa en tres dimensiones, pues la salmuera vertida tendrá tendencia a irse al fondo en el agua de mar a la que se vierte. Las mediciones necesarias para controlar un vertido han de hacerse, por consiguiente, en tres dimensiones, obteniéndose unas superficies curvas de isosalinidad que abarcan desde la superficie del mar hasta el fondo.

4. Actuación Medioambiental o Medidas Correctoras:

La captación de agua bruta y el emisario de vertido tendrán un tramo común de 1.400 m, lo cual implica una disminución notable en cuanto a la ocupación del lecho marino. El trazado del emisario submarino se encuentra alejado a más de 100 m de la formación de *Cymodocea nodosa*, proyectándose como un emisario semienterrado con escollera de protección de material ciclópeo, el cual facilita el asentamiento de la flora y fauna marina. La longitud del emisario subterráneo es de 2.500 m, incluyendo en su tramo de vertido 20 difusores separados 10 m entre ellos, que facilitan la rápida dilución de la salmuera en el medio marino.

Los modelos de dispersión de la pluma salina establecen que, para velocidades medias de las corrientes próximas a 8 cm/s, no se considera necesario realizar una dilución previa de la salmuera, ya que la pluma salina se aleja aproximadamente 300-500 m del punto de vertido. Para valores inferiores a 5,1 cm/s, se establecerá la necesidad de realizar un bombeo de agua de mar para conseguir una dilución de la salmuera de 1:1.

El rechazo de la limpieza de las membranas arrastra gran parte de los elementos añadidos al pretratamiento del agua bruta, por lo que se considera un efluente tóxico, el cual será recogido en un depósito de neutralización para su posterior bombeo a la EDAR de El Ejido, mediante un colector de aguas residuales.

Los fangos generados en el proceso de filtración del agua bruta, previa a la entrada en las membranas, serán recogidos y vertidos junto con la salmuera, dado que no constituyen un contaminante en sí mismo, y aprovechando las rápidas condiciones de dilución en el punto de vertido.

Los ecosistemas terrestres se verán afectados principalmente durante la fase de construcción por el tránsito de vehículos, gestión de materiales, movimiento de tierras y por la presencia de las nuevas infraestructuras. Las afecciones más importantes que se producirán por la ejecución del proyecto son el incremento de emisiones y ruido, aumento de la erosión, pérdida de vegetación natural, alteración de los hábitats y del comportamiento de las especies de fauna presentes, aumento del riesgo de colisión y electrocución de la avifauna con los tendidos eléctricos y la alteración del paisaje.

El estudio de impacto ambiental incluye una serie de medidas preventivas y correctoras con objeto de minimizar las posibles afecciones sobre los ecosistemas terrestres.

Entre las medidas proyectadas destacan: la delimitación de las zonas de ocupación y obras, préstamos y vertederos; gestión adecuada de residuos; se evitará la ejecución de las obras durante la época de cría y nidificación de las especies más representativas y se incluirán dispositivos salvapájaros en los tendidos eléctricos; y reposición de las vías pecuarias ocupadas.

A continuación se identifica los principales impactos y las medidas correctoras previstas:

4.1 Afección sobre las praderas de fanerógamas marinas (Cymodocea nodosa):

Empleo de un sistema de vertido compuesto por 20 difusores separados 10 m entre ellos, que facilitan la rápida dilución de la salmuera en el medio marino. Utilización de aspiradoras y dragas que minimizan la puesta en suspensión de sedimentos finos durante los dragados de ejecución del emisario submarino. La captación de agua bruta y el emisario de vertido tendrán un tramo común de 1.400 m, lo cual implica una disminución notable en cuanto a la ocupación del lecho marino. El emisario semienterrado se proyecta en escollera de protección de material ciclópeo, el cual facilita el asentamiento de la flora y fauna marina.

4.2 Afección sobre el LIC «Artos de Ejido», los habitats de interés comunitario y las comunidades vegetales de interés:

Se delimitará el perímetro de la zona de ocupación, prestando especial interés sobre las afecciones innecesarias a la vegetación natural. El trazado del tendido eléctrico evitará la eliminación de vegetación de interés. Ejecución de un programa de restauración y revegetación con especies autóctonas en los terrenos afectados por las obras.

4.3 Afección sobre la fauna:

Se llevará un control de la fauna de interés en el entorno de las obras, considerándose los planes de ordenación, protección y conservación de las especies presentes. Se evitará la ejecución de las obras durante la época de cría y nidificación de las especies más representativas. Se colocarán salvapájaros en el tendido eléctrico con objeto de evitar la electrocución y colisión de la avifauna. Afección sobre la geología y edafología. Se localizan cinco zonas para la ubicación de las instalaciones auxiliares. Se procederá a la retirada, conservación y reutilización de la tierra vegetal.

Se proponen distintas zonas de préstamo y tres zonas de vertedero, situados en zonas de escaso valor ambiental, con capacidad suficiente para la recepción de los excedentes. Se retirarán los residuos peligrosos generados a través de un gestor autorizado.

4.4 Condiciones de protección ambiental específicas del medio marino:

Se establecen los siguientes condicionantes de protección del medio marino, con el fin de garantizar la conservación de los hábitats de valor ecológico, especialmente de las fanerógamas marinas *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*.

Programa de Vigilancia Ambiental del medio marino.

4.4.1 Campaña de control de salinidades:

Se realizarán dos campañas de medidas para el control de salinidades transcurridos 1 mes y 6 meses respectivamente desde la entrada en funcionamiento de la planta desaladora. Posteriormente se repetirán con carácter anual. En cada campaña se realizarán las siguientes mediciones:

Las medidas de salinidad del agua se realizarán siempre a menos de 20 cm del fondo, procurando hacerlas en depresiones o en las zonas de menor cota (no medir encima de rocas, dunas, etc.). Las medidas se llevarán a cabo con sondas calibradas mediante salinómetros de precisión, de forma que los errores sean inferiores a 0,01 psu para el caso de las praderas de fanerógamas, y de 0,1 psu en el punto de vertido.

4.4.2 Control de salinidades en las praderas de fanerógamas marinas:

Se realizarán medidas de salinidad en 20 puntos distribuidos uniformemente a lo largo de un tramo de 400 m del contorno de la pradera de *Cymodocea nodosa*. Dicho tramo se elegirá de forma que se encuentre lo más próximo posible al punto de vertido.

Si la salinidad en alguno de estos puntos resulta ser superior a 39,5 psu se activará el protocolo de reducción del exceso de salinidad.

4.4.3 Control de salinidades en la zona próxima al punto de vertido:

Las medidas se orientarán a determinar los límites de la zona afectada por el incremento de salinidad, tanto en horizontal como en vertical hasta una distancia de 100 m a lo largo del eje de la capa hiperdensa o de la línea de máxima pendiente.

La salinidad existente en el punto de impacto con el fondo del chorro que sale por la boca de descarga situada en el centro del tramo difusor.

Los perfiles verticales de salinidad existentes en tres puntos situados a distancias de 100 m, 300 m y 1.000 m del centro del punto de vertido a lo largo de la línea de máxima pendiente, con especial detalle en el entorno de la superficie de separación entre la capa hipersalina del fondo y el agua de mar.

En las inmediaciones del vertido pero sin que se vea afectado por éste se instalará un correntímetro que medirá y almacenará la intensidad y dirección de la corriente a 1 m del fondo al menos durante el tiempo de realización de las campañas.

4.4.4 Control de calidad del vertido de rechazo:

Se medirán en el efluente los siguientes parámetros: pH, oxígeno disuelto, turbidez y nitratos. Estas mediciones se harán al menos una vez a la semana y siempre que se produzca alguna variación significativa respecto al funcionamiento normal de la planta. Los valores medidos deberán cumplir los niveles de emisión y los objetivos de calidad que fijen, en cada caso, las normativas estatal o autonómica.

4.4.5 Control de las variables de flujo:

Con el objeto de poder comprender las causas de eventuales anomalías detectadas en los resultados de las medidas de salinidad durante las campañas, se medirán a intervalos no superiores a 24 horas las siguientes variables: salinidad del agua en la toma (S_t), caudal producto (Q_p), Caudal de rechazo (Q_e), caudales de toma para la planta (Q_{tp}).

Como complemento de dicha información y con objeto de contrastar la calidad de la misma, se medirá también la salinidad del rechazo y la del agua de mar no afectada por el vertido.

4.4.6 Control de la integridad del emisario:

Se llevará a cabo, con periodicidad anual, una inspección de toda la longitud del tramo sumergido de la conducción de vertido y de sus principales elementos, mediante el empleo de buceadores o instrumental sumergible, para comprobar la integridad del emisario y en particular, la ausencia de fugas. Se redactará un informe con los resultados de la inspección y, en su caso, las medidas adoptadas para corregir las eventuales anomalías encontradas.

4.4.7 Remisión periódica de informes:

El titular de la planta remitirá un informe a la Secretaría General de Medio Ambiente con los resultados de las campañas en un plazo no superior a un mes, desde la terminación de éstas. Cada informe contendrá la siguiente información:

- a) Los resultados de la campaña de medida de salinidad.
- b) Los resultados de las medidas de control de las variables de flujo.

- c) Los resultados de las medidas de corrientes: evolución temporal y análisis estadístico, tanto de la intensidad como de la dirección (rosa de corrientes).
- d) Los resultados de las medidas de los restantes parámetros de calidad: pH, oxígeno disuelto, turbidez y nitratos.
- e) Evolución del estado del mar (altura de ola significativa y períodos). Esta información se podrá obtener a partir de la facilitada por el Banco de datos del Organismo Público Puertos del Estado.
- f) Los partes de las calibraciones de los equipos de medida de salinidad.
- g) El último informe de control de la integridad del emisario.
- h) El informe de ejecución del protocolo de corrección del exceso de salinidad.

4.4.8 Revisión del programa de vigilancia:

En base a la información contenida en los dos primeros informes, la Secretaria General de Medio Ambiente podrá modificar el programa de vigilancia.

4.4.9 Protocolo de corrección del exceso de salinidad.

El protocolo de corrección del exceso de salinidad comprenderá los siguientes pasos:

1. Cuando se active el protocolo, se investigará rápidamente la causa de la anomalía. En particular, se realizará lo antes posible una campaña de medidas de salinidad en el entorno del punto de control que ha causado la activación del protocolo para determinar la situación y extensión de la zona afectada por el exceso de salinidad y se realizara un control de integridad del emisario.

Si se encontrara la causa de la anomalía, se corregirá, si fuera posible, realizando, a continuación, un nuevo control de salinidad en la pradera de fanerógamas para comprobar que se ha resuelto el problema.

2. Si no se encontrara, se procederá a disminuir el parámetro de carga del vertido. Dicho parámetro se dividirá por un factor que será resultado de dividir la salinidad que activó el protocolo por el valor límite correspondiente (38.5psu para la Posidonia y 39.5psu para la Cymodocea), con un valor mínimo de 1.15. Dicha disminución puede hacerse de varias maneras: disminución de factor de conversión de la planta, dilución previa de la salmuera, aumento de la velocidad de salida del chorro, etc.

8. PLIEGO DE CONDICIONES.

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.

Artículo 1. Interpretación y Validez del Pliego.

El presente Pliego de Prescripción 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 concentra 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, de las pruebas, análisis, ensayos, etc., hasta su definitiva aprobación. Los gastos de dicho ensayo, 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 han contratado y de las faltas 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 su 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 de Contratista.

Artículo 6. Precauciones especial 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 obra 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 lo 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/cm^2 . El hormigón de limpieza de zapatas y zanjas tendrá una de 125 Kg/cm^2 .
2. Los valores de la resistencia a compresión a alcanzar en los tiempos se indican en el siguiente grafico:

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 coqueras, 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 la 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.

1. CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS.**1.1. Dirección Facultativa:****Artículo 1. Facultades de la dirección Facultativa.**

Además de las facultades particulares que corresponden a las DF (Dirección facultativa), 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 las 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 del la Propiedad al Contratista, si considera que se adoptar esta medida es útil y necesaria 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 promocionar 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. Cambios 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 trabajadores seña 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 afirmar y aceptar las mediciones 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 la 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.

1.2. 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 derecho a exigir cuantos catálogos, certificados, muestras y ensayos que estime oportunos para asegurarse de las calidades 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 realizaran 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 que 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 del mencionado, 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 acompañara 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 motivos 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 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 su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberán 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 el 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 las vigilancias de las obras, ni pedir por parte de la propiedad que se designe 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 esta causa pueda interrumpirse la marcha de los trabajos.

1.3. 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 sus representantes en obra. Una copia de cada orden quedará en poder de la DF.

El hecho de que el libro no figuren redactadas las órdenes que ya preceptivamente tiene la obligación de cumplimentar el Contratista de acuerdo con lo establecido en la normas oficiales, no supone atentamente alguno para las responsabilidades que sena 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.

Estos 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 a 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 ordenes de la DF, quien realizara las comprobaciones necesarias en presencia del Contratista o de su representante.

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 se 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 aquellos 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 cuentas 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 ejecuciones 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, contando 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 hayan servido de base a la Contrata, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las ordenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue la DF al Contratista, siempre que éstas encajen dentro de la cifra 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 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.

Sí 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 ordenes 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 dirigirlas, 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 imprevista de fuerza mayor.

Si por una causa de fuerza mayor o independencia de la voluntad del Contratista y siempre que ésta 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 las 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, depositados 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 n el que por 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 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 ordenes 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 ala indicada en los Pliegos. Si no le fuese posible al Contratista suministrarlo 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, maquinas 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 hayan 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 partida alzada o incluidos en los precios de las unidades de obra.

En caso de rescisión por incumplimiento de 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.

1.4 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 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, de sobre la validez o invalidez de las obras ejecutadas.

Sí 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 dicho 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 presentará 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 constar 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 se crea necesaria 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 procederán de inmediato a su liquidación y resolución de la fianza de la que se sustraerán las sanciones o cargas 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.

1.5 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.

2. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS.

2.1 Base fundamental.

Artículo 33. Alcance.

Comprenderán las que se 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 al 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 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.

2.2 Garantía de cumplimiento y fianzas.

Artículo 35. Garantías.

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de ° referencia 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 las mismas y su cuantía será de un 3% como mínimo del total del presupuesto de la Contrata.

La persona o entidad a quien se hayan 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 convencerá entre el Ingeniero y el Contratista, entre una de las siguientes:

- Depósito de valores públicos del Estado por un importe del 10% 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% efectuados sobre el importe de cada certificación abonada al Contratista.

Artículo 37. Ejecución de los trabajos con cargos 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 hallen emplazadas 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.

2.3 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 actividad 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, a 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.

2.4. 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 estima conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por le 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 deba 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 época 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 aumento 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 proporcionalidad 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. Mejor 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.

2.5 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 terminar 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 de Contrata.

En el caso de los trabajos a realizar en la 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.

- Imprevisto 1%.
- Gastos de administración y dirección 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 denomina 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 conviene 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 está si lo efectuase, los que se hayan acopiado se incluirán en la certificación siguiente a su entrada en la obra.

Artículo 54. Precio 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 se 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 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 de 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 del documento y entregas a buena cuenta sujeta 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, recibirán 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 fianza, 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 a 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 corresponde según la descomposición de precios que figura en el cuadro del proyecto, sin que pueda pretender el Contratista que, por ningún motivo se efectuó 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 medida o precios, de tal suerte que si la obra ejecutada son 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 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, a 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 realización 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 terminada, 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, sujeto 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 e harán constar las mediciones y valoraciones de toa 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 aumento 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 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 retrasos 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 de pagos, 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 lazo 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.

3. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES LEGALES.

1.1 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 Presupuestos 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 su diferencia 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 esfuerzo de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese localizada la obra.

1.2 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. Responsabilidades 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 vigente durante la ejecución de las obras.

El Contratista ha de cumplir o 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 accidente 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, a que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos necesarios 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 (Dirección Facultativa).

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, tasa 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.

3.3. Subcontratas.

Artículo 87. Subcontratas.

El Contratista puede subcontratar una parte o la totalidad de las obras a otra u otras empresas, administradoras, constructoras, instaladoras, etc., no eximiéndose por ello de su responsabilidad con la Propiedad.

E 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.

3.4. Pago de Arbitrios.

Artículo 88. Pago de Arbitrios.

El pago de impuestos y arbitrios en general municipales o de oro régimen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse el tiempo de ejecución de las obras y por concepto inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista siempre que en las condiciones particulares del Proyecto o se estipule lo contrario. NO obstante, al Contratista le deberá ser reintegrado el importe de todos aquellos conceptos que la DF considere justo.

3.5. 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 citan:

- La muerte o incapacidad del Contratista.
- La quiebra del Contratista.

En los casos anteriores, si los herederos o síndicos 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 siguiente:

- 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.
- Las 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.
- 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 ese caso, la devolución de la fianza será automática.
- La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
- El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro de los plazos señalados en las condiciones particulares del Proyecto.
- Incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a está.

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:

Alfonso Romero López.
Cádiz.

9. EVALUACIÓN RIESGOS LABORALES.

INDICE DE RIESGOS LABORALES:

- 1. Datos de la empresa**
- 2. Puestos de trabajo**
- 3. Descripción del Proceso**
- 4. Equipos de Trabajo**
- 5. Evaluación de riesgos**
- 6. Estimación de Riesgos**
- 7. Medidas**

1. Datos de la Empresa:

Nombre: Planta Desaladora de Dalías (Almería), S.A.

Actividad Industrial:

La planta desaladora de agua de Mar por Osmosis Inversa, que esta ubicada en la población almeriense de Balerna; esta planta suministra a todo el campo de Dalías (Almería) formado por: Berja, Dalías, El Ejido, Énix, La Mojonera, Roquetas de Mar y Vicar.

El proyecto tiene como objeto la producción del orden de 30 Hm³/año de agua potable, procedente de la desalación.

El promotor del proyecto es la Sociedad Estatal de Aguas de las Cuencas Mediterráneas, S.A. (ACUAMED) y el Órgano sustantivo es la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente.

Número y Puestos de Trabajo:

- Panelistas y Oficinas Técnicas: El panelista es el encargado de ajustar todos los parámetros y ajustes técnicos necesarios para el buen funcionamiento de la instalación, su trabajo consiste en ajustar estos parámetros y estar en continuo contacto con los operarios de campo, por si fuera necesario realizar alguna compensación a los equipos, para el buen funcionamiento de la planta.
- Oficina: Encargados de todo el papeleo necesario para el funcionamiento de la instalación, desde el punto de vista burocrático.
- Operarios de Campo: encargados de vigilar todos los sistemas “in situ”, es decir, en las instalaciones y estarán encargados de realizar operaciones de ajuste y funcionamiento de los equipos. También pueden colaborar en las tareas de montaje y desmontaje de equipos.
- Mecánicos y Montadores: su trabajo no es más que el de cubrir averías mecánicas y el montaje y desmontaje de los distintos equipos, también pueden realizar operaciones de traslado de cargas.

- Almacén: Cargar y descargar objetos, equipos y aparatos necesarios para el buen funcionamiento de la planta.
- Seguridad: contratado a una empresa auxiliar.

Descripción de los Procesos productivos:

La planta desaladora tiene una producción anual de 30 Hm³/año, la cual consta de 9 líneas de 10.800 m³/día de capacidad de producción cada una y funcionan mediante la tecnología de ósmosis inversa.

El centro de trabajo se caracteriza por tener muy bien diferenciados cada uno de los procesos que en él se realizan; comenzando por el bombeo del agua procedente del Mar Mediterráneo.

- Acidificación:

Esta instalación consta de dos tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico, con su correspondiente cubeto de retención de vertidos y sus distintas ramas de distribución a las nueve líneas de entrada a planta.

-Filtros de Arena:

Esta filtración no es más que una filtración grosera para eliminar cualquier tipo de arrastre de arenas, algas u otros objetos procedentes del agua de mar, el agua va pasando por distintas granulometrías en los distintos filtros de arena y así poder eliminar distintos componentes por su tamaño, en estos filtros no se produce ningún tipo de operación química ya que son unas unidades de separación física.

-Micro-filtración:

Tras pasar por la primera filtración de Arenas el agua saliente es bombeada a la instalación de micro-filtración en donde se intentan eliminar partículas microscópicas; con esta micro-filtración principalmente lo que se consigue es una mayor eliminación de partículas e impurezas que al pasar por las membranas de osmosis puedan dañarlas.

-Esterilización UV:

Eliminación de microorganismos y bacterias por luz ultravioleta.

-Bombas de Alta:

Una vez el agua sale del micro-filtro y lamparas de UV pasa a las bombas de alta presión localizadas en la misma planta, estas bombas suministran la presión necesaria para que el agua pase por las membranas de osmosis inversa.

-Módulos de Osmosis Inversa:

La siguiente instalación es la mencionada anteriormente como membranas o módulos de osmosis inversa en donde se lleva a cabo la propia separación del agua y las sales características del agua salada. De estos módulos que operan a la presión suministrada por las bombas de alta localizadas en la instalación anterior, el agua antes de entrar en los módulos de osmosis inversa se les ajusta el pH con una disolución de ácido sulfúrico para que este pH procedente del agua marina no destruya a las membranas de separación.

Esta pequeña instalación de ácido sulfúrico no es más que un recipiente en donde se diluye el ácido para preparar la dosis adecuada al agua de mar, antes de pasar por las membranas, y el ácido desde este recipiente es bombeado al agua procedente de las bombas de alta, antes de entrar a los módulos.

-Post-tratamiento:

En esta última etapa el agua procedente de los módulos de osmosis inversa, se le realiza un tratamiento de cloración y adición de cal para adecuarla al consumo humano y así eliminar cualquier tipo de bacteria o agentes patógenos dañinos para la salud.

-Captación y Vertido:

Las conducciones de captación y vertido se localizan frente a la costa de Balanegra. La conducción de captación, coincidente en 1.400 m de su trazado con el emisario submarino, tiene una longitud de 1.886 m y un diámetro de 1.600 mm., y está diseñada para la captación de un caudal máximo de toma de 2,49 m³/s. El emisario submarino tiene una longitud de 2.175 m y un diámetro de diseño de 1.200 mm.

El agua obtenida del proceso de desalación es distribuida aprovechando el corredor del Canal Benínar-Aguadulce, mediante la tubería de agua potable que conecta con las redes de distribución de El Ejido, La Mojonera, Vicar y Roquetas de Mar y con las comunidades de regantes de «Sol Poniente», «Sierra de Gádor» y «Sol y Arena».

-Oficinas y Almacén:

Las oficinas se encuentran próximas a la entrada de vehículos y personal, en la planta de arriba se realizan todas las operaciones de control, y en la planta baja sirve como almacén y taller de reparación para los distintos elementos.

Equipos de trabajo:

Los equipos de trabajo los vamos a desarrollar desde dos puntos de vista, uno como los equipos que forman cada una de las plantas y otra como aquellas herramientas y maquinas que disponen los empleados para realizar las distintas operaciones de trabajo, desde el mantenimiento al control.

-Los principales equipos de trabajo en la planta en general son los siguientes:

-Bombas de impulsión de líquidos.

-Filtros de Arena.

-Filtros para micro filtración.

-Lámparas de UV.

-Módulos de Osmosis Inversa con las siguientes características:

Ahora vamos a describir los distintos tipos de equipos de trabajo que emplean los distintos componentes de la plantilla de trabajo:

Panelistas y Oficinas Técnicas: El equipo de trabajo que emplea este tipo de operario, no es más que el propio de la actividad, un panel de trabajo con los distintos controladores de las variables que intervienen en la producción.

Constando de ordenadores, panel informativo de cambios en las variables y un grupo de radio control para influir en las variaciones de las variables.

Este operario no es necesario que lleve un tipo de ropa especial para el trabajo, tan solo deberá de utilizar calzado de seguridad en el momento que tenga que acceder al campo de trabajo “in situ”.

Oficina: Lo mismo que el operario anterior, excepto el panel de control.

Operarios de Campo: Este tipo de operarios poseen un equipo de trabajo característico como: ropa apropiada para el trabajo, casco de seguridad, gafas de protección de los ojos, calzado de seguridad y las distintas herramientas para desempeñar cambios en los equipos. También deberán de poseer un walkitalky para estar en pleno contacto con el operario de panel.

Mecánicos y Montadores: Este tipo de operarios poseen un equipo de trabajo característico como: ropa apropiada para el trabajo, casco de seguridad, gafas de protección de los ojos, calzado de seguridad y las distintas herramientas para desempeñar cambios en los equipos. También deberán de poseer un walkitalky para estar en pleno contacto con el operario de panel.

También son los encargados de manipular los andamios móviles y las carretillas elevadoras.

Almacén: Los encargados de almacén poseen un equipo de trabajo parecido a los anteriores, poseen ropa de trabajo adecuada, calzado de seguridad, casco, gafas de seguridad (solo en el caso de abandonar el almacén y visitar otras plantas), herramientas apropiadas.

Seguridad: Suministrado por la empresa auxiliar de seguridad.

Evaluación de Riesgos:

La evaluación de Riesgos se dividirá en dos formatos, el primero de ellos para evaluar los riesgos de la planta en general como un todo y posteriormente se evaluará puesto de trabajo a puesto.

Comenzamos por la Global: Vamos a identificar los riesgos.

Identificación de Riesgos: Global.		Técnico: Alfonso Romero López	
Empresa: Desaladora Dalías.		Fecha : Julio de 2008	
Tipos de Riesgos:		Riesgo identificado	Riesgo NO identificado
1	Caída de personas a distinto Nivel.	X	
2	Caída de personas al mismo Nivel	X	
3	Caída de Personas por desplome o derrumbamiento		X
4	Caída de objetos en manipulación.		X
5	Caída de objetos desprendidos.		X
6	Pisadas sobre objetos.		X
7	Choques contra objetos inmóviles.		X
8	Choque contra objetos móviles.		X
9	Golpes y cortes por objeto o herramienta.		X
10	Proyección de fragmentos o partículas.		X
11	Atrapamiento por y entre objetos.		X
12	Atropamiento por vuelvo de maquinas o vehículos.		X
13	Carga física		X

14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.		X
15	Contactos térmicos		X
16	Contactos eléctricos directos e indirectos.		X
17	Exposición a radiación.		X
18	Explosiones.	X	
19	Incendios.	X	
20	Accidentes causados por seres vivos.		X
21	Atropellos o golpes contra vehículos.	X	
22	Exposición agentes físicos, como ruido, vibraciones,..	X	
23	Exposición a sustancias nocivas o tóxicas.		X
24	Contacto con sustancias cáusticas y/o corrosivas.		X
25	Exposición a contaminantes químicos.		X
26	Exposición a contaminantes biológicos		X
27	Peligro asociado con el montaje de equipos y máquinas.		X
28	Peligro de los vehículos.	X	
29	Barandillas inadecuadas en escaleras o ausencia de ellas.		X

Identificación de Riesgos: Panelista.		Técnico: Alfonso Romero López	
Empresa: Desaladora Dalías.		Fecha : Julio de 2008	
Tipos de Riesgos:		Riesgo identificado	Riesgo NO identificado
1	Caída de personas a distinto Nivel.	X	
2	Caída de personas al mismo Nivel	X	
3	Caída de Personas por desplome o derrumbamiento		X
4	Caída de objetos en manipulación.		X
5	Caída de objetos desprendidos.		X

6	Pisadas sobre objetos.	X	
7	Choques contra objetos inmóviles.	X	
8	Choque contra objetos móviles.	X	
9	Golpes y cortes por objeto o herramienta.		X
10	Proyección de fragmentos o partículas.		X
11	Atropamiento por y entre objetos.		X
12	Atropamiento por vuelvo de maquinas o vehículos.		X
13	Carga física		X
14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.		X
15	Contactos térmicos		X
16	Contactos eléctricos directos e indirectos.	X	
17	Exposición a radiación.		X
18	Explosiones.	X	
19	Incendios.	X	
20	Accidentes causados por seres vivos.		X
21	Atropellos o golpes contra vehículos.		X
22	Exposición agentes físicos, como ruido, vibraciones,..		X
23	Exposición a sustancias nocivas o toxicas.		X
24	Contacto con sustancias cáusticas y/o corrosivas.		X
25	Exposición a contaminantes químicos.		X
26	Exposición a contaminantes biológicos		X
27	Peligro asociado con el montaje de equipos y maquinas.		X
28	Peligro de los vehículos.	X	
29	Barandillas inadecuadas en escaleras o ausencia de ellas.	X	

Identificación de Riesgos: Oficinista.		Técnico: Alfonso Romero López	
Empresa: Desaladora Dalías.		Fecha : Julio de 2008	
Tipos de Riesgos:		Riesgo identificado	Riesgo NO identificado
1	Caída de personas a distinto Nivel.	X	
2	Caída de personas al mismo Nivel	X	
3	Caída de Personas por desplome o derrumbamiento		X
4	Caída de objetos en manipulación.		X
5	Caída de objetos desprendidos.		X
6	Pisadas sobre objetos.	X	
7	Choques contra objetos inmóviles.	X	
8	Choque contra objetos móviles.		X
9	Golpes y cortes por objeto o herramienta.		X
10	Proyección de fragmentos o partículas.		X
11	Atropamiento por y entre objetos.		X
12	Atropamiento por vuelvo de maquinas o vehículos.		X
13	Carga física		X
14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.		X
15	Contactos térmicos		X
16	Contactos eléctricos directos e indirectos.	X	
17	Exposición a radiación.		X
18	Explosiones.	X	
19	Incendios.	X	
20	Accidentes causados por seres vivos.		X
21	Atropellos o golpes contra vehículos.		X
22	Exposición agentes físicos, como ruido, vibraciones,..		X
23	Exposición a sustancias nocivas o toxicas.		X
24	Contacto con sustancias cáusticas y/o		X

	corrosivas.		
25	Exposición a contaminantes químicos.		X
26	Exposición a contaminantes biológicos		X
27	Peligro asociado con el montaje de equipos y maquinas.		X
28	Peligro de los vehículos.	X	
29	Barandillas inadecuadas en escaleras o ausencia de ellas.	X	

Identificación de Riesgos: Op.Campo		Técnico: Alfonso Romero López	
Empresa: Desaladora Dalías.		Fecha : Julio de 2008	
Tipos de Riesgos:		Riesgo identificado	Riesgo NO identificado
1	Caída de personas a distinto Nivel.	X	
2	Caída de personas al mismo Nivel	X	
3	Caída de Personas por desplome o derrumbamiento	X	
4	Caída de objetos en manipulación.	X	
5	Caída de objetos desprendidos.	X	
6	Pisadas sobre objetos.	X	
7	Choques contra objetos inmóviles.	X	
8	Choque contra objetos móviles.	X	
9	Golpes y cortes por objeto o herramienta.	X	
10	Proyección de fragmentos o partículas.		X
11	Atropamiento por y entre objetos.		X
12	Atropamiento por vuelvo de maquinas o vehículos.		X
13	Carga física	X	
14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.		X
15	Contactos térmicos		X
16	Contactos eléctricos directos e indirectos.	X	

17	Exposición a radiación.		X
18	Explosiones.	X	
19	Incendios.	X	
20	Accidentes causados por seres vivos.		X
21	Atropellos o golpes contra vehículos.	X	
22	Exposición agentes físicos, como ruido, vibraciones,..	X	
23	Exposición a sustancias nocivas o tóxicas.		X
24	Contacto con sustancias cáusticas y/o corrosivas.	X	
25	Exposición a contaminantes químicos.	X	
26	Exposición a contaminantes biológicos		X
27	Peligro asociado con el montaje de equipos y máquinas.	X	
28	Peligro de los vehículos.	X	
29	Barandillas inadecuadas en escaleras o ausencia de ellas.	X	

Identificación de Riesgos: Mecánico.		Técnico: Alfonso Romero López	
Empresa: Desaladora Dalías.		Fecha : Julio de 2008	
Tipos de Riesgos:		Riesgo identificado	Riesgo NO identificado
1	Caída de personas a distinto Nivel.	X	
2	Caída de personas al mismo Nivel	X	
3	Caída de Personas por desplome o derrumbamiento	X	
4	Caída de objetos en manipulación.	X	
5	Caída de objetos desprendidos.	X	
6	Pisadas sobre objetos.	X	
7	Choques contra objetos inmóviles.	X	
8	Choque contra objetos móviles.	X	
9	Golpes y cortes por objeto o herramienta.	X	

10	Proyección de fragmentos o partículas.		X
11	Atropamiento por y entre objetos.		X
12	Atropamiento por vuelvo de maquinas o vehículos.	X	
13	Carga física	X	
14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.		X
15	Contactos térmicos		X
16	Contactos eléctricos directos e indirectos.	X	
17	Exposición a radiación.		X
18	Explosiones.	X	
19	Incendios.	X	
20	Accidentes causados por seres vivos.		X
21	Atropellos o golpes contra vehículos.	X	
22	Exposición agentes físicos, como ruido, vibraciones,..	X	
23	Exposición a sustancias nocivas o toxicas.		X
24	Contacto con sustancias cáusticas y/o corrosivas.	X	
25	Exposición a contaminantes químicos.	X	
26	Exposición a contaminantes biológicos		X
27	Peligro asociado con el montaje de equipos y maquinas.	X	
28	Peligro de los vehículos.	X	
29	Barandillas inadecuadas en escaleras o ausencia de ellas.	X	

Identificación de Riesgos: Almacén.		Técnico: Alfonso Romero López	
Empresa: Desaladora Dalías.		Fecha : Julio de 2008	
Tipos de Riesgos:		Riesgo identificado	Riesgo NO identificado
1	Caída de personas a distinto Nivel.	X	
2	Caída de personas al mismo Nivel	X	
3	Caída de Personas por desplome o derrumbamiento	X	
4	Caída de objetos en manipulación.	X	
5	Caída de objetos desprendidos.	X	
6	Pisadas sobre objetos.	X	
7	Choques contra objetos inmóviles.	X	
8	Choque contra objetos móviles.	X	
9	Golpes y cortes por objeto o herramienta.	X	
10	Proyección de fragmentos o partículas.		X
11	Atropamiento por y entre objetos.		X
12	Atropamiento por vuelvo de maquinas o vehículos.	X	
13	Carga física	X	
14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.		X
15	Contactos térmicos		X
16	Contactos eléctricos directos e indirectos.	X	
17	Exposición a radiación.		X
18	Explosiones.	X	
19	Incendios.	X	
20	Accidentes causados por seres vivos.		X
21	Atropellos o golpes contra vehículos.	X	
22	Exposición agentes físicos, como ruido, vibraciones,..	X	
23	Exposición a sustancias nocivas o toxicas.		X
24	Contacto con sustancias cáusticas y/o	X	

	corrosivas.		
25	Exposición a contaminantes químicos.	X	
26	Exposición a contaminantes biológicos		X
27	Peligro asociado con el montaje de equipos y maquinas.		X
28	Peligro de los vehículos.	X	
29	Barandillas inadecuadas en escaleras o ausencia de ellas.	X	

Identificación de Riesgos: Seguridad.		Técnico: Alfonso Romero López	
Empresa: Desaladora Dalías.		Fecha : Julio de 2008	
Tipos de Riesgos:		Riesgo identificado	Riesgo NO identificado
1	Caída de personas a distinto Nivel.	X	
2	Caída de personas al mismo Nivel	X	
3	Caída de Personas por desplome o derrumbamiento	X	
4	Caída de objetos en manipulación.		X
5	Caída de objetos desprendidos.		X
6	Pisadas sobre objetos.	X	
7	Choques contra objetos inmóviles.		X
8	Choque contra objetos móviles.		X
9	Golpes y cortes por objeto o herramienta.		X
10	Proyección de fragmentos o partículas.		X
11	Atropamiento por y entre objetos.		X
12	Atropamiento por vuelvo de maquinas o vehículos.		X
13	Carga física		X
14	Exposición a temperaturas ambientales extremas.		X
15	Contactos térmicos		X
16	Contactos eléctricos directos e indirectos.	X	

17	Exposición a radiación.		X
18	Explosiones.	X	
19	Incendios.	X	
20	Accidentes causados por seres vivos.		X
21	Atropellos o golpes contra vehículos.	X	
22	Exposición agentes físicos, como ruido, vibraciones,..		X
23	Exposición a sustancias nocivas o tóxicas.		X
24	Contacto con sustancias cáusticas y/o corrosivas.		X
25	Exposición a contaminantes químicos.		X
26	Exposición a contaminantes biológicos		X
27	Peligro asociado con el montaje de equipos y máquinas.		X
28	Peligro de los vehículos.	X	
29	Barandillas inadecuadas en escaleras o ausencia de ellas.		X

Evaluación de Riesgos: Estimación

Puesto de Trabajo: Global		Empresa: Desaladora Campo de Dalías (Almería)					Fecha: julio de 2008						
Nombre Evaluador: Alfonso Romero López													
Riesgos Identificados		Probabilidad			Consecuencias			Estimación del Riesgo.					
		P.P	P.	C.S	L.	I.	S.	0	1	2	3	4	5
Cod.	Indicación.												
19	Incendio		X			X				X			
21	Atropello o golpes	X				X			X				
22	Ruido			X		X					X		
28	Peligro vehículos	X				X			X				

Puesto de Trabajo: Panelista.		Empresa: Desaladora Campo de Dalías (Almería)					Fecha: julio de 2008						
Nombre Evaluador: Alfonso Romero López													
Riesgos Identificados		Probabilidad			Consecuencias			Estimación del Riesgo.					
		P.P	P.	C.S	L.	I.	S.	0	1	2	3	4	5
Cod.	Identificación.												
1	Caída distinto nivel.	X				X		X					
2	Caída mismo nivel.	X				X		X					
6	Pisada sobre objetos.	X				X		X					
7	Choques contra objetos inmóviles.		X		X				X				
8	Choque objetos móviles.		X			X				X			

16	Contacto eléctrico.		X			X				X			
19	Incendio.		X			X				X			
28	Peligro vehículos.	X				X		X					
29	Barandillas en escaleras.		X		X					X			

Puesto de Trabajo: Oficinista.		Empresa: Desaladora Campo de					Fecha: julio de						
Nombre Evaluador: Alfonso Romero López		Dalias (Almería)					2008						
Riesgos Identificados		Probabilidad			Consecuencias			Estimación del Riesgo.					
		P.P	P.	C.S	L.	I.	S.	0	1	2	3	4	5
Cod.	Identificación.												
1	Caída distinto nivel.	X				X			X				
2	Caída mismo nivel.	X				X			X				
6	Pisada sobre objetos.	X			X			X					
7	Choques contra objetos inmóviles.	X			X			X					
8	Choques objetos móviles.	X			X			X					
19	Incendio.		X			X				X			
28	Peligro vehículos.	X				X			X				
29	Barandillas escaleras.	X				X			X				

Puesto de Trabajo:		Empresa: Desaladora Campo de Dalías (Almería)					Fecha: julio de 2008							
Operario campo.														
Nombre Evaluador:		Probabilidad					Consecuencias			Estimación del Riesgo.				
Alfonso Romero López														
Riesgos Identificados	Probabilidad	Consecuencias			Estimación del Riesgo.									
Cod.	Identificación.	P.P	P.	C.S	L.	I.	S.	0	1	2	3	4	5	
1	Caída distinto nivel.		X			X				X				
2	Caída mismo nivel.	X			X			X						
3	Caída por desplome.	X				X			X					
4	Caída de objetos manipulados.		X			X				X				
5	Caída de objetos desprendidos.		X			X				X				
6	Pisada sobre objetos.		X		X					X				
7	Choque con objetos inmóviles		X		X					X				
8	Choque con obj. móviles		X		X					X				
9	Golpes y cortes con herramientas.			X		X					X			
13	Carga física.		X			X				X				
16	Contacto eléctrico.		X			X					X			
19	Incendio	X				X				X				
21	Atropellos.	X				X				X				
22	Exposición a agentes físicos, ruido...		X			X					X			
24	Contacto sustancias corrosivas.			X		X					X			
25	Exposición a químicos.			X		X					X			
27	Montaje de maquinas y equipos.			X		X					X			
28	Peligro vehículos.	X			X			X						
29	Barandillas.	X			X			X						

Puesto de Trabajo: Mecánico.		Empresa: Desaladora Campo de Dalías (Almería)					Fecha: julio de 2008						
Nombre Evaluador: Alfonso Romero López													
Riesgos Identificados		Probabilidad			Consecuencias			Estimación del Riesgo.					
Cod.	Identificación.	P.P	P.	C.S	L.	I.	S.	0	1	2	3	4	5
1	Caída distinto nivel.		X			X				X			
2	Caída mismo nivel.	X			X			X					
3	Caída por desplome.	X				X			X				
4	Caída de objetos manipulados.		X			X				X			
5	Caída de objetos desprendidos.		X			X				X			
6	Pisada sobre objetos.		X		X					X			
7	Choque con objetos inmóviles		X		X					X			
8	Choque con obj. móviles		X		X					X			
9	Golpes y cortes con herramientas.			X		X					X		
12	Atrapamiento por vuelco	X				X			X				
13	Carga física.		X			X				X			
16	Contacto eléctrico.		X			X					X		
19	Incendio	X				X				X			
21	Atropellos.	X				X				X			
22	Exposición a agentes físicos, ruido...		X			X					X		
24	Contacto sustancias corrosivas.			X		X					X		
25	Exposición a químicos.			X		X					X		
27	Montaje de maquinas			X		X					X		

	y equipos.												
28	Peligro vehículos.	X			X			X					
29	Barandillas.	X			X			X					

Puesto de Trabajo: Almacén.		Empresa: Desaladora Campo de Dalías (Almería)						Fecha: julio de 2008					
Nombre Evaluador: Alfonso Romero López													
Riesgos Identificados		Probabilidad			Consecuencias			Estimación del Riesgo.					
		P.P	P.	C.S	L.	I.	S.	0	1	2	3	4	5
Cod.	Identificación.												
1	Caída distinto nivel.		X			X				X			
2	Caída mismo nivel.	X			X			X					
3	Caída por desplome.	X				X			X				
4	Caída obj manipulación.		X			X				X			
5	Caída de objetos desprendidos.		X			X				X			
6	Pisada sobre objeto.		X		X					X			
7	Choque contra obj. inmóviles.		X		X					X			
8	Choque contra obj. móviles.		X		X					X			
9	Golpes y cortes herramientas.			X		X					X		
12	Atrapamiento por vuelco.	X				X			X				
13	Carga física.		X			X				X			
16	Contacto eléctrico.		X			X					X		
19	Incendio	X				X				X			
21	Atropellos.	X				X				X			
22	Exposición a ruidos y físicos.		X			X					X		

24	Contacto con sust. corrosivas			X		X					X		
25	Exposición a químicos.			X		X					X		
28	Peligro vehículos.	X			X			X					
29	Barandillas.	X			X			X					

Puesto de Trabajo:		Empresa: Desaladora Campo de Dalías (Almería)						Fecha: julio de 2008					
Seguridad.													
Nombre Evaluador:		Dalías (Almería)						2008					
Alfonso Romero López													
Riesgos Identificados		Probabilidad			Consecuencias			Estimación del Riesgo.					
		P.P	P.	C.S	L.	I.	S.	0	1	2	3	4	5
Cod.	Indicación.												
1	Caída distinto nivel.	X				X			X				
2	Caída mismo nivel.	X			X			X					
3	Caída por desplome.	X				X			X				
6	Pisada sobre objetos	X			X			X					
16	Contacto eléctrico.	X				X			X				
19	Incendio		X			X				X			
21	Atropello o golpes	X				X			X				
28	Peligro vehículos	X				X			X				

Medidas a Tomar:

EVALUACIÓN DE RIESGO.					
Puesto de trabajo: Global.		PLAN DE ACCIÓN.			
Peligro N°	Medidas	Responsable	Fecha Inicio.	Fecha Finalización.	Precio €
19	-Señalización de salidas de emergencia, localización de extintores y medios de lucha contra incendios. -Instalación de extintores y bocas de agua. -Instalación de luces de emergencia. -Establecimiento de punto de reunión. -Creación de plan de emergencia. -Formación de los empleados. -Realización de Simulacros.	Director Tec.	----- --	-----	3.000
21	-Evitar la circulación de vehículos pesados. -Limitar la velocidad a 30 Km/h. -El personal deberá de llevar chalecos reflectantes. -Señalizar las entradas de vehículos. -identificar la circulación, pintura en el suelo clara.	Director Tec.	----- ---	-----	150
22	-Utilización de tapones u orejeras, apropiadas para el nivel de ruido. -Hacer un estudio del nivel de ruido. -Chequeos médicos adecuados.	Director Tec.	----- ----	-----	100
28	-Evitar desplazamientos largos e inadecuados. -facilitar trasporte a los empleados -Contratación de autobús empresa.	Director Tec.	----- --	-----	----- -

EVALUACIÓN DE RIESGO.					
Puesto de trabajo: Panelista.		PLAN DE ACCIÓN.			
Peligro N°	Medidas	Responsable	Fecha Inicio.	Fecha Finalización.	Precio €
19	<ul style="list-style-type: none"> -Señalización de salidas de emergencia, localización de extintores y medios de lucha contra incendios. -Instalación de extintores y bocas de agua. -Instalación de luces de emergencia. -Establecimiento de punto de reunión. -Creación de plan de emergencia. -Formación de los empleados. -Realización de Simulacros. 	Director Tec.	----- ----	-----	3.000
8	<ul style="list-style-type: none"> -Evitar pasar por la circulación de vehículos. -Utilización de chalecos reflectantes en todo el recinto. -Señalización de circulación de vehículos. 	Director Tec.	----- ----	-----	200
16	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de calzado de seguridad contacto eléctrico. -Derivación a tierra de los posibles focos de contacto. -Acotar las zonas de alto voltaje. -Señalización de la zona. -Restringir el paso a personal no autorizado. -Caso de trabajo, desconectar toda corriente. -Curso formación trabajo con electricidad. 	Director Tec.	----- ----	-----	400

28	-Evitar desplazamientos largos e inadecuados. -facilitar transporte a los empleados -Contratación de autobús empresa.	Director Tec.	----- --	----- ---	----- ---
----	---	---------------	-------------	--------------	--------------

EVALUACIÓN DE RIESGO.					
Puesto de trabajo: Oficinista.		PLAN DE ACCIÓN.			
Peligro N°	Medidas	Responsable	Fecha Inicio.	Fecha Finalización.	Precio €
19	-Señalización de salidas de emergencia, localización de extintores y medios de lucha contra incendios. -Instalación de extintores y bocas de agua. -Instalación de luces de emergencia. -Establecimiento de punto de reunión. -Creación de plan de emergencia. -Formación de los empleados. -Realización de Simulacros.	Director Tec.	----- ---	----- ---	3.000
28	-Evitar desplazamientos largos e inadecuados. -facilitar transporte a los empleados -Contratación de autobús empresa.	Director Tec.	----- ---	----- ---	----- ---
29	-Colocación de barandillas en todas las escaleras del recinto. -Colocar anti-deslizantes en los peldaños de las escaleras. -Buena iluminación. -Limpieza y orden, evitar dejar obstáculos u objetos en las escaleras de paso de personal. -Evitar correr por las mismas. -Utilización de calzados inadecuados, utilizar zapatos de seguridad.	Director Tec.	----- ---	----- ---	200

EVALUACIÓN DE RIESGO.					
Puesto de trabajo: Operario Campo.		PLAN DE ACCIÓN.			
Peligro N°	Medidas	Responsable	Fecha Inicio.	Fecha Finalización.	Precio €
1	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de arneses de seguridad, en trabajos de altura, buscando una buena sujeción del mismo al andamio. -Colocación de barandillas homologadas. -Anclaje de los andamios utilizados al suelo o topes de seguridad. -Limitar la separación entre andamio y el trabajo a realizar en 30 cm. -Calzado de seguridad. 	Director Tec.	----- ----	-----	600
2	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de calzado adecuado. -Limpieza y orden en el puesto de trabajo. -Señalizar objetos colocados en zonas de paso. (Sino es posible colocar en otro lado). -Limpiar posibles derrames de sustancias o líquidos. 	Director Tec.	----- ---	-----	----- -
4	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de casco de seguridad homologado y con marcado CE. -Señalizar zonas de trabajo. -Buena utilización de las herramientas u objetos. -No pasar por debajo de trabajos o manipulación de carga. -Sujetar los objetos, en caso de elevación de carga, con cintas de seguridad. -Buena distribución de la carga. -Trabajar con velocidad moderada. 	Director Tec.	----- ----	-----	150

6	-Orden y limpieza en el puesto de trabajo. -Calzado de seguridad.	Director Tec.	----- ----	-----	50
7	-Señalización de objetos. -Buena colocación de los mismos, evitar dejar en zonas con poca visibilidad.	Director Tec.	----- ----	-----	----- ---
8	-Circular a velocidades moderadas, limitando la velocidad en el recinto a 30 Km/h. -Utilización de Chalecos de seguridad. -Los vehículos deberán de utilizar luz de movimiento y señal acústica. -Señalizar zonas de paso de vehículos. -Prioridad del peatón ante el vehiculo.	Director Tec.	----- ----	-----	----- --
9	-Utilización de guantes de seguridad, en la manipulación de las herramientas. -Buena utilización de las mismas. Orden y limpieza.	Director Tec.	----- ---	-----	----- ---
13	-Evitar sobre esfuerzos innecesarios. -Buena manipulación de cargas.				
13	-Impartición de curso, sobre manipulación de cargas y esfuerzos físicos en el trabajo.	Director Tec.	----- ----	-----	150
16	-Utilización de calzado de seguridad contacto eléctrico. -Derivación a tierra de los posibles focos de contacto. -Acotar las zonas de alto voltaje. -Señalización de la zona. -Restringir el paso a personal no	Director Tec.	----- ---	-----	400

	<p>autorizado.</p> <p>-Caso de trabajo, desconectar toda corriente.</p> <p>-Curso formación trabajo con electricidad.</p>				
19	<p>-Señalización de salidas de emergencia, localización de extintores y medios de lucha contra incendios.</p> <p>-Instalación de extintores y bocas de agua.</p> <p>-Instalación de luces de emergencia.</p> <p>-Establecimiento de punto de reunión.</p> <p>-Creación de plan de emergencia.</p> <p>-Formación de los empleados.</p> <p>-Realización de Simulacros.</p>	Director Tec.	----- ---	-----	3.000
21	<p>-Limitar la velocidad de los vehículos.</p> <p>-Evitar paso de peatones por la circulación de los vehículos.</p> <p>-Señalización de las zonas de paso.</p> <p>-Señal luminosa y acústica en los vehículos de trabajo.</p>	Director Tec.	----- ----	-----	300
22	<p>-Utilización de orejeras de seguridad contra ruidos, homologadas y con marcado CE.</p> <p>-Estudio de Nivel de ruido.</p> <p>-Revisiones medicas, mínimo una vez al año.</p>	Director Tec.	----- ----	-----	100
24	<p>-Utilización de ropa de trabajo adecuada, mono de seguridad.</p> <p>-Utilización de guantes con marcado CE.</p> <p>-Utilización de mascarillas de seguridad con marcado CE.</p> <p>-Colocación de duchas de seguridad.</p>	Director Tec.	----- ----	-----	400

	<ul style="list-style-type: none"> -Instalación de lavador de ojos. -Curso de manipulación de sustancias peligrosas y sus consecuencias. -Buen uso de las mismas. -Orden y limpieza. -Utilización de gafas de seguridad. 				
25	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de mascarillas de seguridad con marcado CE. -Buena ventilación del recinto, evitar trabajos en lugares cerrados. 	Director Tec.	----- -	-----	200
27	<ul style="list-style-type: none"> -Desarrollar el trabajo según las normas establecidas por el fabricante. -Orden y buena manipulación de las herramientas. -Utilización de casco de seguridad y calzado. 	Director Tec.	----- ---	-----	----- ---

EVALUACIÓN DE RIESGO.					
Puesto de trabajo: Mecánico.		PLAN DE ACCIÓN.			
Peligro N°	Medidas	Responsable	Fecha Inicio.	Fecha Finalización.	Precio €
1	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de arneses de seguridad, en trabajos de altura, buscando una buena sujeción del mismo al andamio. -Colocación de barandillas homologadas. -Anclaje de los andamios utilizados al suelo o topes de seguridad. -Limitar la separación entre 	Director Tec.	----- ---	-----	600

	andamio y el trabajo a realizar en 30 cm. -Calzado de seguridad.				
4	-Utilización de casco de seguridad homologado y con marcado CE. -Señalizar zonas de trabajo. -Buena utilización de las herramientas u objetos. -No pasar por debajo de trabajos o manipulación de carga. -Sujetar los objetos, en caso de elevación de carga, con cintas de seguridad. -Buena distribución de la carga. -Trabajar con velocidad moderada.	Director Tec.	----- ---	-----	150
5	-Utilización de rodapiés en los andamios o trabajos elevados. -Utilización de casco de seguridad con marcado CE. -Señalizar zona de trabajo. -No trabajar con personal debajo o cercano a la realización del mismo. -Utilización de escaleras para colocar y manipular objetos en estanterías. -Escaleras homologadas con anti deslizantes. -Utilizar solo para subir o bajar pequeños objetos o trabajos eventuales. -Buena distribución de los objetos en estanterías.	Director Tec.	----- ---	-----	----- -
6	-Orden y limpieza en el puesto de trabajo. -Calzado de seguridad.	Director Tec.	----- ---	-----	50
7	-Señalización de objetos. -Buena colocación de los mismos, evitar dejar en zonas con poca visibilidad.	Director Tec.	----- ---	-----	----- ---

8	<p>-Circular a velocidades moderadas, limitando la velocidad en el recinto a 30 Km/h.</p> <p>-Utilización de Chalecos de seguridad.</p> <p>-Los vehículos deberán de utilizar luz de movimiento y señal acústica.</p> <p>-Señalizar zonas de paso de vehículos.</p> <p>-Prioridad del peatón ante el vehiculo.</p>	Director Tec.	----- ----	-----	----- --
9	<p>-Utilización de guantes de seguridad, en la manipulación de las herramientas.</p> <p>-Buena utilización de las mismas. Orden y limpieza.</p>	Director Tec.	----- ----	-----	----- ---
13	<p>-Evitar sobre esfuerzos innecesarios.</p> <p>-Buena manipulación de cargas.</p> <p>-Impartición de curso, sobre manipulación de cargas y esfuerzos físicos en el trabajo.</p>	Director Tec.	----- ---	-----	150
16	<p>-Utilización de calzado de seguridad contacto eléctrico.</p> <p>-Derivación a tierra de los posibles focos de contacto.</p> <p>-Acotar las zonas de alto voltaje.</p> <p>-Señalización de la zona.</p> <p>-Restringir el paso a personal no autorizado.</p> <p>-Caso de trabajo, desconectar toda corriente.</p> <p>-Curso formación trabajo con electricidad.</p>	Director Tec.	----- ----	-----	400
19	-Señalización de salidas de				

	<p>emergencia, localización de extintores y medios de lucha contra incendios.</p> <p>-Instalación de extintores y bocas de agua.</p> <p>-Instalación de luces de emergencia.</p> <p>-Establecimiento de punto de reunión.</p> <p>-Creación de plan de emergencia.</p> <p>-Formación de los empleados.</p> <p>-Realización de Simulacros.</p>	Director Tec.	----- --	-----	3.000
21	<p>-Limitar la velocidad de los vehículos.</p> <p>-Evitar paso de peatones por la circulación de los vehículos.</p> <p>-Señalización de las zonas de paso.</p> <p>-Señal luminosa y acústica en los vehículos de trabajo.</p>	Director Tec.	----- ---	-----	300
22	<p>-Utilización de orejeras de seguridad contra ruidos, homologadas y con marcado CE.</p> <p>-Estudio de Nivel de ruido.</p> <p>-Revisiones medicas, mínimo una vez al año.</p>	Director Tec.	----- ----	-----	100
24	<p>-Utilización de ropa de trabajo adecuada, mono de seguridad.</p> <p>-Utilización de guantes con marcado CE.</p> <p>-Utilización de mascarillas de seguridad con marcado CE.</p> <p>-Colocación de duchas de seguridad.</p> <p>-Instalación de lavador de ojos.</p> <p>-Curso de manipulación de sustancias peligrosas y sus consecuencias.</p> <p>-Buen uso de las mismas.</p> <p>-Orden y limpieza.</p> <p>-Utilización de gafas de seguridad.</p>	Director Tec.	----- ---	-----	400

25	-Utilización de mascarillas de seguridad con marcado CE. -Buena ventilación del recinto, evitar trabajos en lugares cerrados.	Director Tec.	-----	-----	200
27	-Desarrollar el trabajo según las normas establecidas por el fabricante. -Orden y buena manipulación de las herramientas. -Utilización de casco de seguridad y calzado.	Director Tec.	----- ----	-----	----- ---

EVALUACIÓN DE RIESGO.					
Puesto de trabajo: Almacén.		PLAN DE ACCIÓN.			
Peligro N°	Medidas	Responsable	Fecha Inicio.	Fecha Finalización.	Precio €
1	-Utilización de arneses de seguridad, en trabajos de altura, buscando una buena sujeción del mismo al andamio. -Colocación de barandillas homologadas. -Anclaje de los andamios utilizados al suelo o topes de seguridad. -Limitar la separación entre andamio y el trabajo a realizar en 30 cm. -Calzado de seguridad.	Director Tec.	----- ---	-----	600
4	-Utilización de casco de seguridad homologado y con marcado CE. -Señalizar zonas de trabajo. -Buena utilización de las herramientas u objetos.				

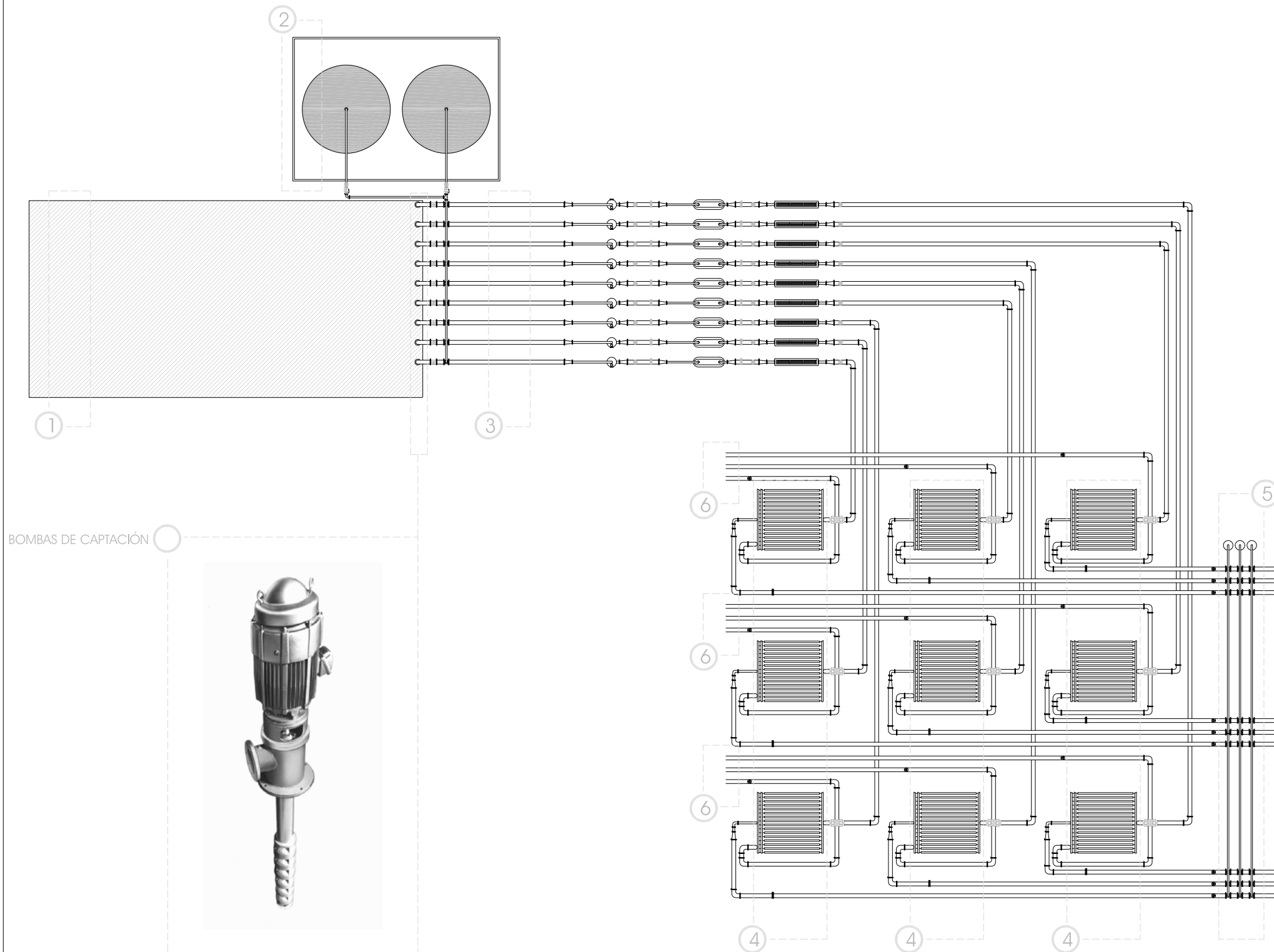
	<ul style="list-style-type: none"> -No pasar por debajo de trabajos o manipulación de carga. -Sujetar los objetos, en caso de elevación de carga, con cintas de seguridad. -Buena distribución de la carga. -Trabajar con velocidad moderada. 	Director Tec.	----- ----	-----	150
5	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de rodapiés en los andamios o trabajos elevados. -Utilización de casco de seguridad con marcado CE. -Señalizar zona de trabajo. -No trabajar con personal debajo o cercano a la realización del mismo. -Utilización de escaleras para colocar y manipular objetos en estanterías. -Escaleras homologadas con anti deslizantes. -Utilizar solo para subir o bajar pequeños objetos o trabajos eventuales. -Buena distribución de los objetos en estanterías. 	Director Tec.	----- -	-----	----- -
6	<ul style="list-style-type: none"> -Orden y limpieza en el puesto de trabajo. -Calzado de seguridad. 	Director Tec.	----- ----	-----	50
7	<ul style="list-style-type: none"> -Señalización de objetos. -Buena colocación de los mismos, evitar dejar en zonas con poca visibilidad. 	Director Tec.	----- ----	-----	----- ---
8	<ul style="list-style-type: none"> -Circular a velocidades moderadas, limitando la velocidad en el recinto a 30 Km./h. -Utilización de Chalecos de seguridad. -Los vehículos deberán de utilizar luz de movimiento y señal acústica. 	Director Tec.	----- ----	-----	----- --

	-Señalizar zonas de paso de vehículos. -Prioridad del peatón ante el vehiculo.				
9	-Utilización de guantes de seguridad, en la manipulación de las herramientas. -Buena utilización de las mismas. Orden y limpieza.	Director Tec.	----- ----	-----	----- ---
13	-Evitar sobre esfuerzos innecesarios. -Buena manipulación de cargas. -Impartición de curso, sobre manipulación de cargas y esfuerzos físicos en el trabajo.	Director Tec.	----- --	-----	150
16	-Utilización de calzado de seguridad contacto eléctrico. -Derivación a tierra de los posibles focos de contacto. -Acotar las zonas de alto voltaje. -Señalización de la zona. -Restringir el paso a personal no autorizado. -Caso de trabajo, desconectar toda corriente. -Curso formación trabajo con electricidad.	Director Tec.	----- ----	-----	400
19	-Señalización de salidas de emergencia, localización de extintores y medios de lucha contra incendios. -Instalación de extintores y bocas de agua. -Instalación de luces de emergencia. -Establecimiento de punto de	Director Tec.	----- ---	-----	3.000

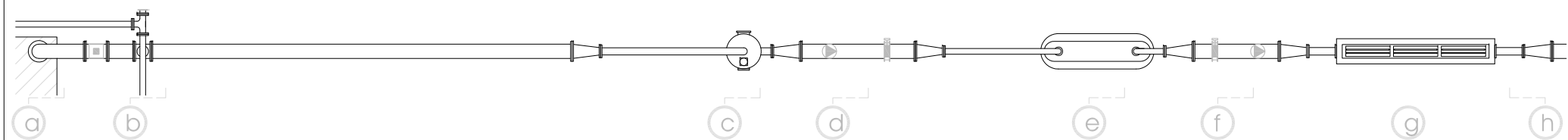
	<p>reunión.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Creación de plan de emergencia. -Formación de los empleados. -Realización de Simulacros. 				
21	<ul style="list-style-type: none"> -Limitar la velocidad de los vehículos. -Evitar paso de peatones por la circulación de los vehículos. -Señalización de las zonas de paso. -Señal luminosa y acústica en los vehículos de trabajo. 	Director Tec.	----- ---	-----	300
22	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de orejeras de seguridad contra ruidos, homologadas y con marcado CE. -Estudio de Nivel de ruido. -Revisiones medicas, mínimo una vez al año. 	Director Tec.	----- ---	-----	100
24	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de ropa de trabajo adecuada, mono de seguridad. -Utilización de guantes con marcado CE. -Utilización de mascarillas de seguridad con marcado CE. -Colocación de duchas de seguridad. -Instalación de lavador de ojos. -Curso de manipulación de sustancias peligrosas y sus consecuencias. -Buen uso de las mismas. -Orden y limpieza. -Utilización de gafas de seguridad. 	Director Tec.	----- ----	-----	400
25	<ul style="list-style-type: none"> -Utilización de mascarillas de seguridad con marcado CE. -Buena ventilación del recinto, evitar trabajos en lugares cerrados. 	Director Tec.	----- ---	-----	200

EVALUACIÓN DE RIESGO.					
Puesto de trabajo: Seguridad.		PLAN DE ACCIÓN.			
Peligro N°	Medidas	Responsable	Fecha Inicio.	Fecha Finalización.	Precio €
19	-Señalización de salidas de emergencia, localización de extintores y medios de lucha contra incendios. -Instalación de extintores y bocas de agua. -Instalación de luces de emergencia. -Establecimiento de punto de reunión. -Creación de plan de emergencia. -Formación de los empleados. -Realización de Simulacros.	Director Tec.	----- --	-----	3.000

10. PLANOS.



Esquema general de las líneas



Esquema general de las líneas

E 1:200

El objeto del presente proyecto es el de diseñar una planta desaladora de agua de mar, mediante la técnica de ósmosis inversa, aprobada por el Plan Hidrológico Nacional, como una de las medidas para paliar la sobre explotación de los acuíferos y la mejora de la calidad de sus aguas, en sus distintos usos.

La planta va a suministrar unos 30 Hm³/año de agua desalada a la población del campo de Dalías, situado en la provincia de Almería e involucrando en el proyecto a las poblaciones de Berja, Dalías, El Ejido, Énix, La Mojonera, Roquetas de Mar y Vicar.

Cada línea de producción va a tener un trato de caudal de unos 1000 m³/h, produciendo un total de 10.800 m³/día de agua desalada, que será distribuida aprovechando el corredor del Canal Benínar-Aguadulce (Almería).

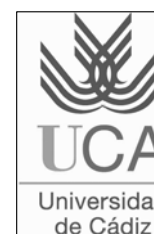
Los módulos de ósmosis inversa constaran de un total de 94 tubos de presión, con una longitud cada uno de ellos de 7 metros, con un total de 660 membranas por cada bastidor, con una presión de trabajo de 60 bares.

COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN:

1. Cántara de toma de agua de mar
2. Tanques ácido sulfúrico
3. Líneas de tratamiento
4. Módulos de ósmosis inversa
5. Post-tratamiento
6. Salida a emisario

COMPONENTES DE LÍNEA DE TRATAMIENTO:

- a. Toma de agua
- b. Entrada de ácido sulfúrico
- c. Filtración grosera
- d. Entrada a filtración de afinos
- e. Microfiltración
- f. Impulsión a esterilización
- g. Canal de esterilización
- h. Entrada a ósmosis

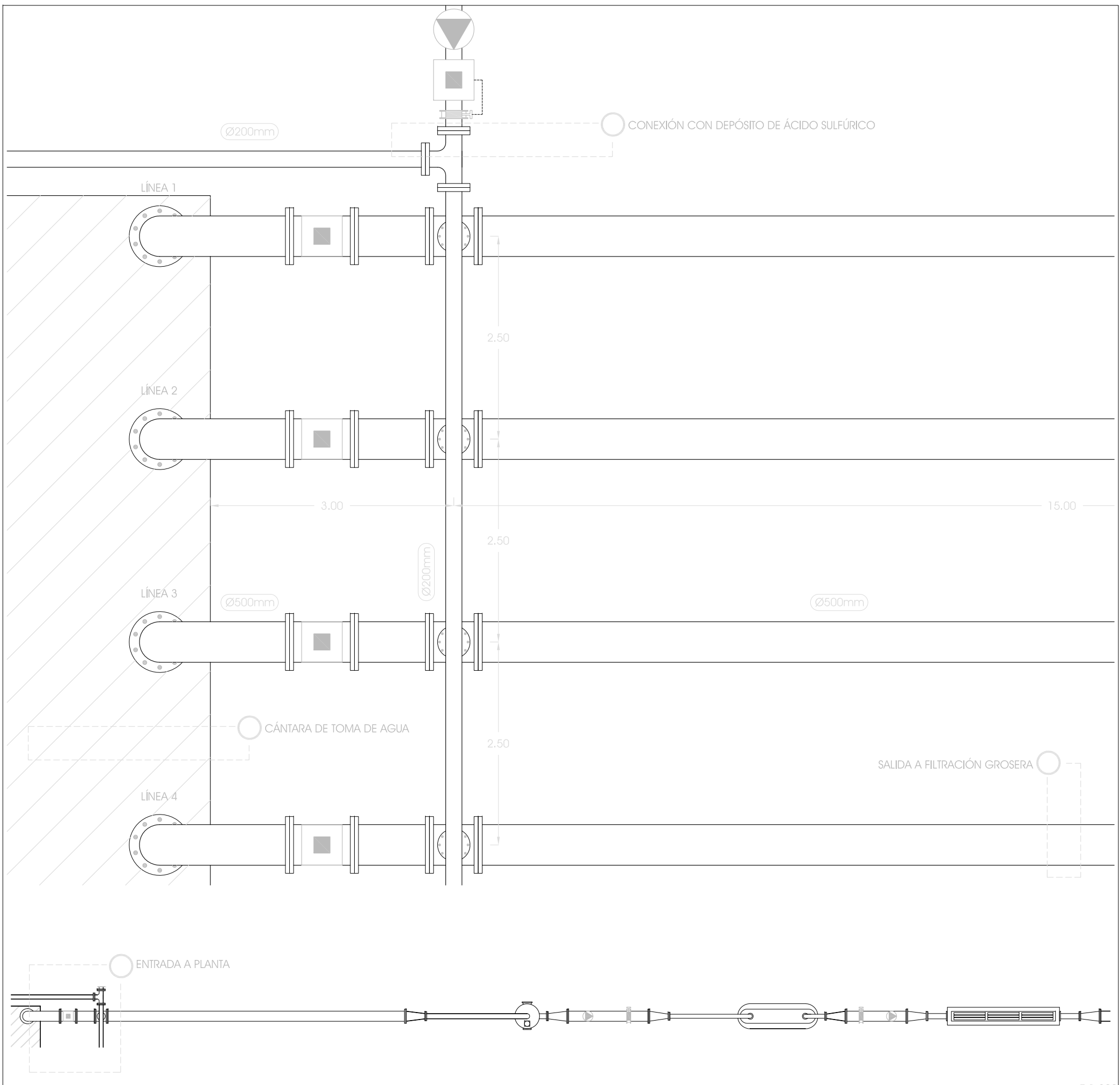


DISEÑO DE PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA, EN EL CAMPO DE LAS DALÍAS (ALMERÍA)

Plano de Esquema general de la instalación

Alumno Alfonso Romero López

Nº 01
Escala 1:600



Esquema general de las líneas





E 1:200

Bombas de captación de agua



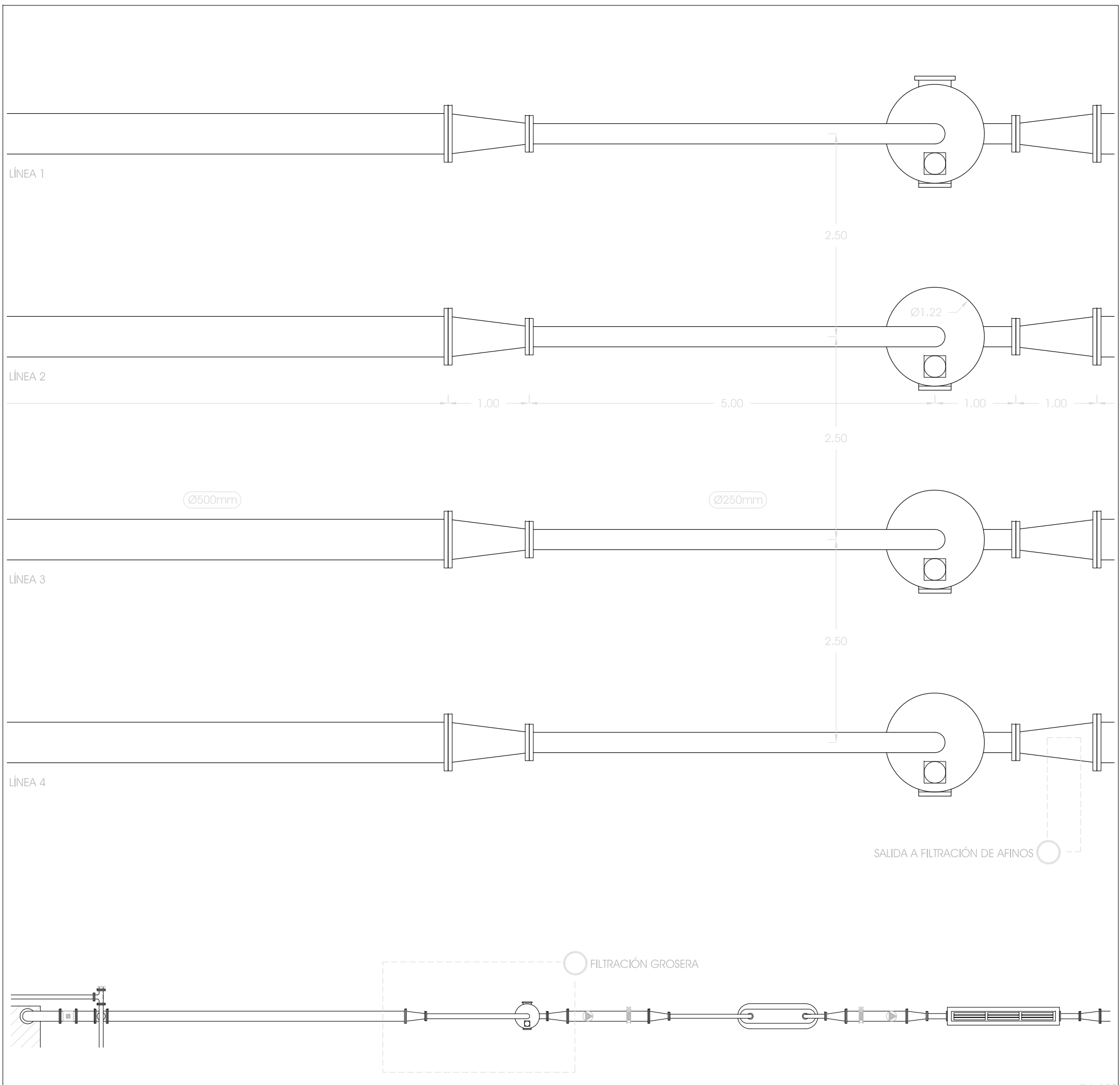
Suministro: 1000m³/h por cada línea.

Leyenda

-  Bomba de impulsión
-  Válvula
-  Caudalímetro
-  Estrechamiento



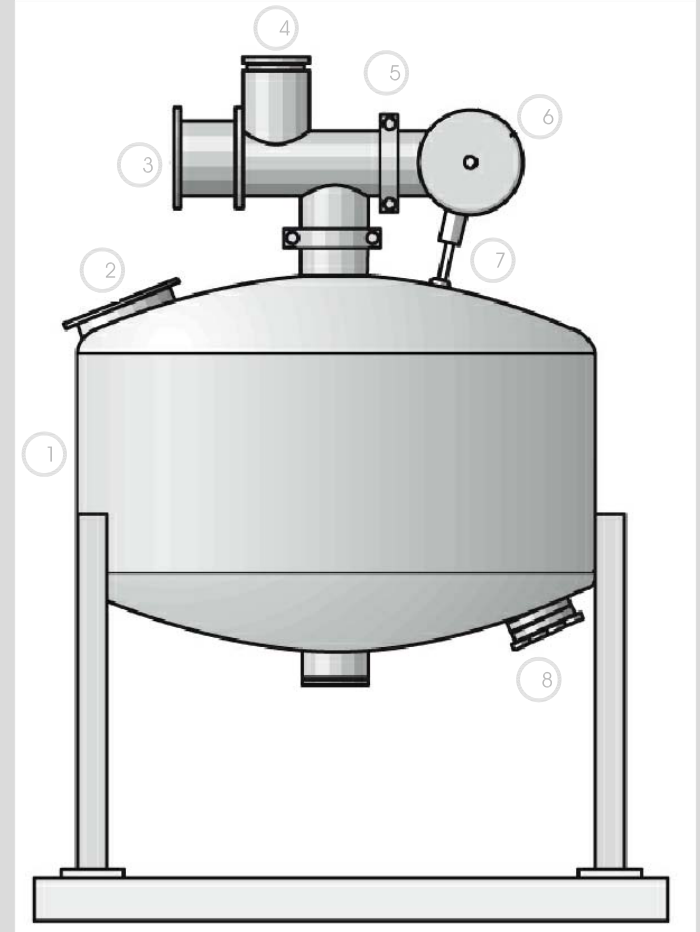
DISEÑO DE PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA, EN EL CAMPO DE LAS DALIAS (ALMERÍA)
 Plano de Entrada a planta
 Alumno Alfonso Romero López
 N° 02
 Escala 1:50



Esquema general de las líneas

E 1:200

Filtros



COMPONENTES DEL FILTRO:

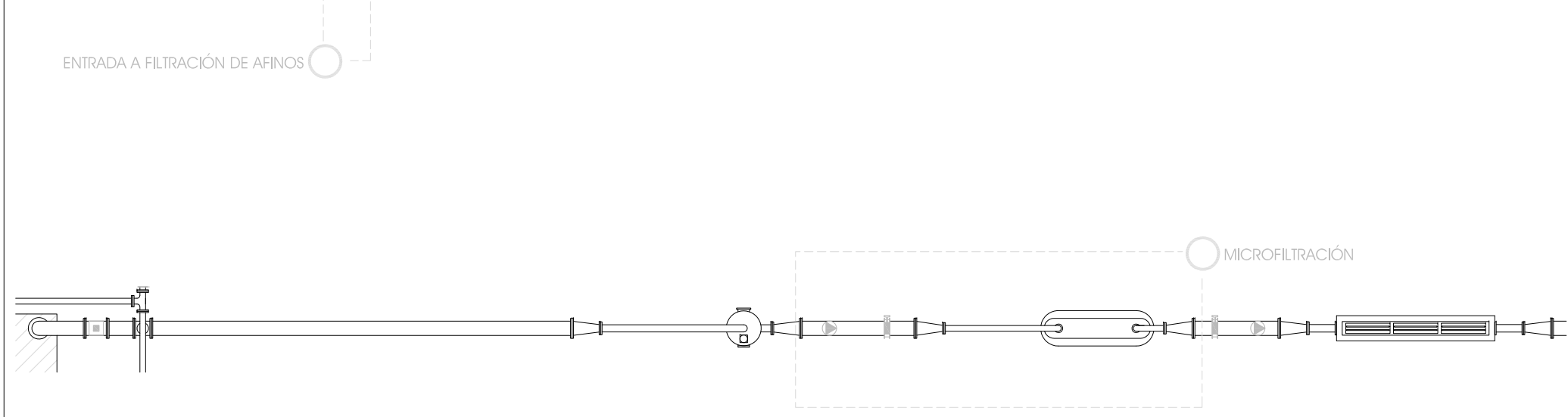
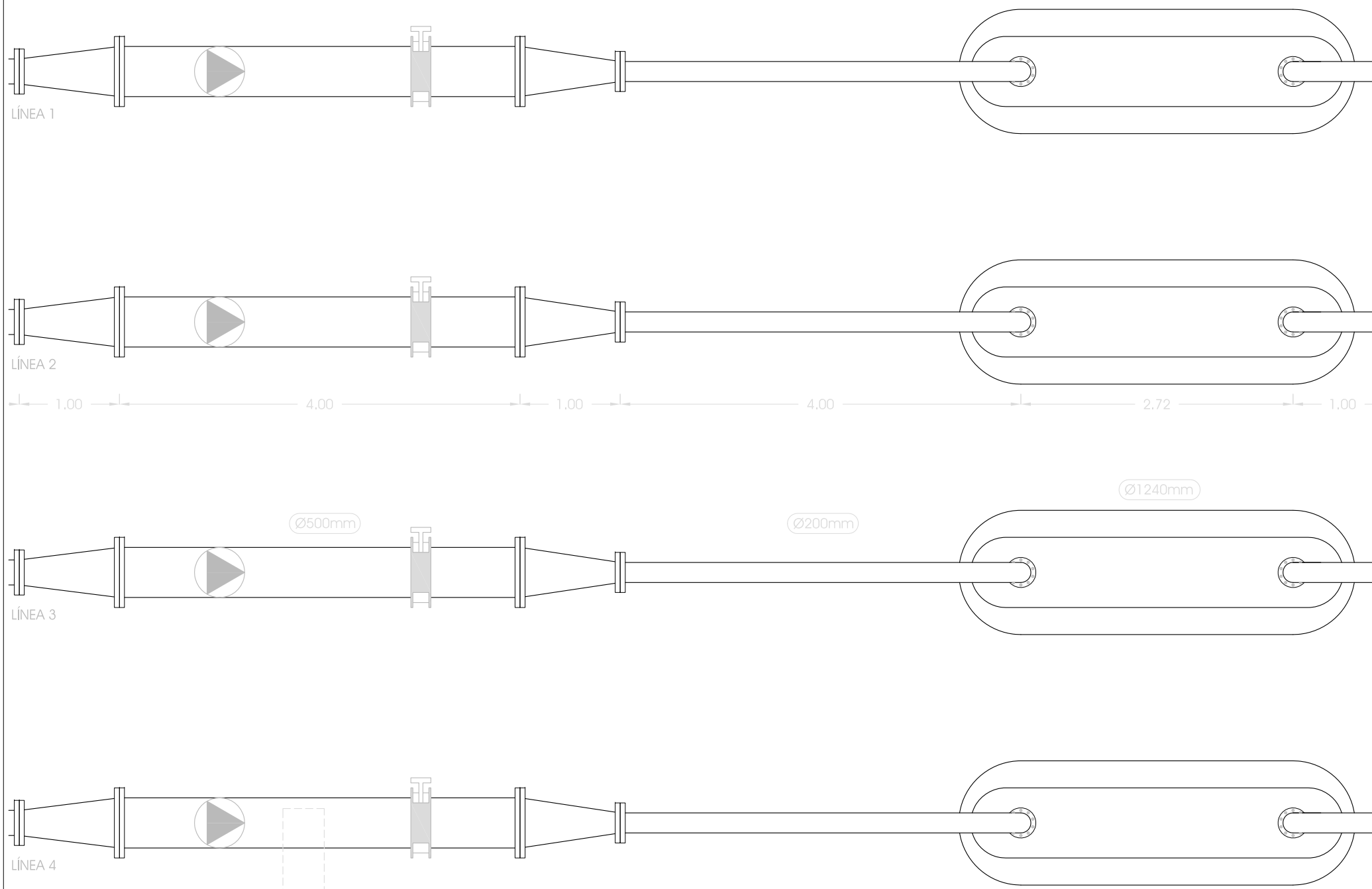
1. Tanque filtro para grava y arena
2. Tapa del tanque
3. Válvula de retrolavado
4. Toma de retrolavado
5. Toma de entrada
6. Colector de entrada
7. Soporte de colector de entrada
8. Toma de drenaje

Leyenda

- Bomba de impulsión
- Válvula
- Caudalímetro
- Estrechamiento
- Filtro



DISEÑO DE PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA, EN EL CAMPO DE LAS DALIAS (ALMERÍA)
 Plano de Filtración gruesa
 Alumno Alfonso Romero López
 N° 03
 Escala 1:50



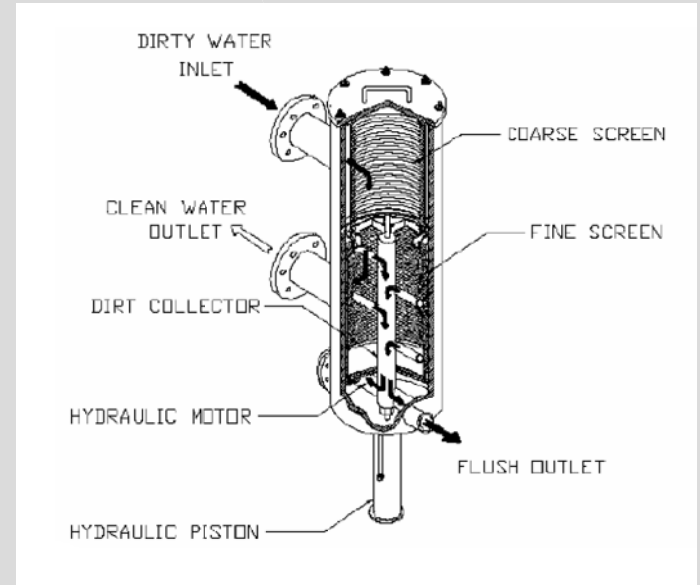
Esquema general de las líneas

E 1:200

Microfiltro



("TEKLEEN" es una marca comercial)

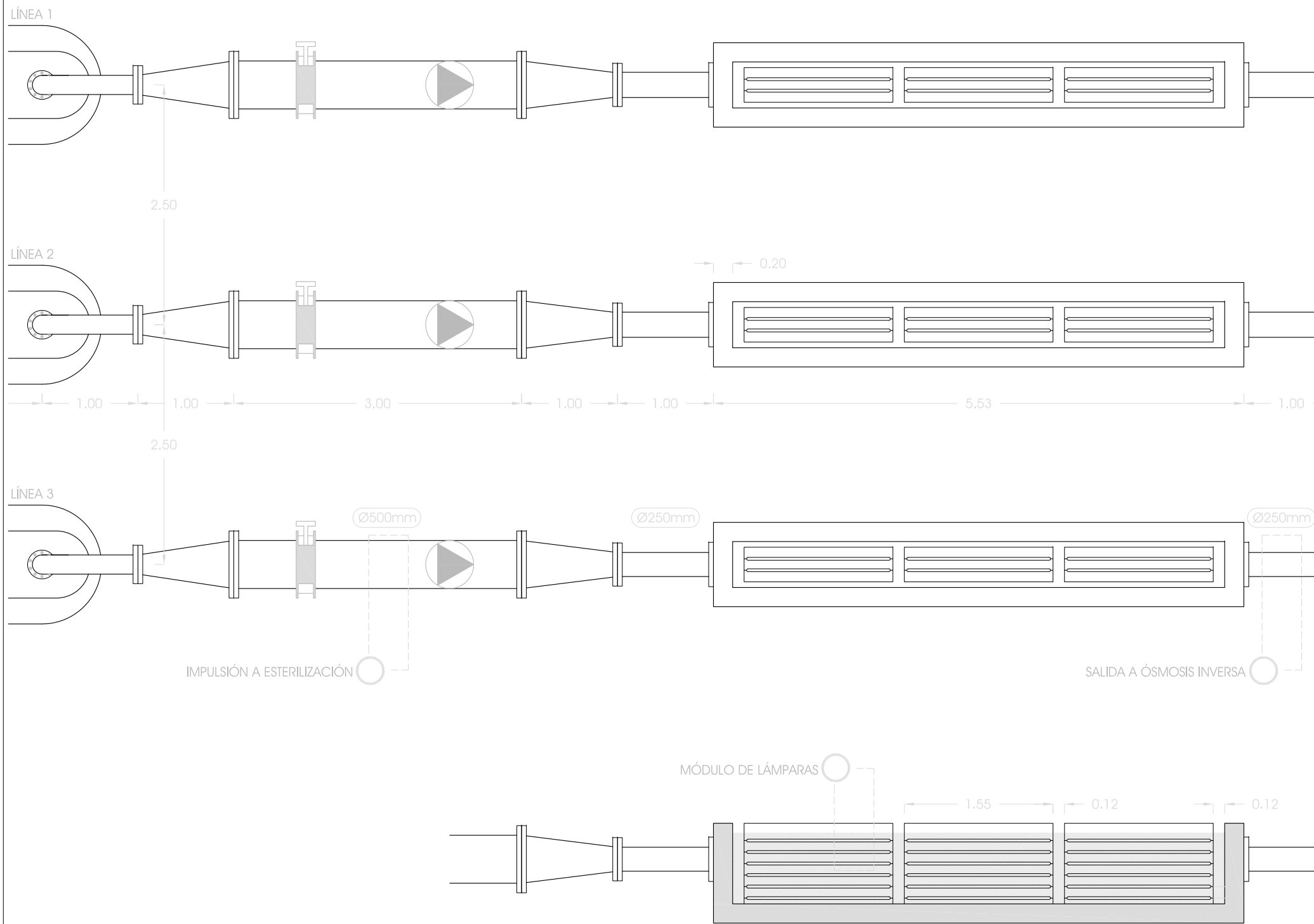


Leyenda

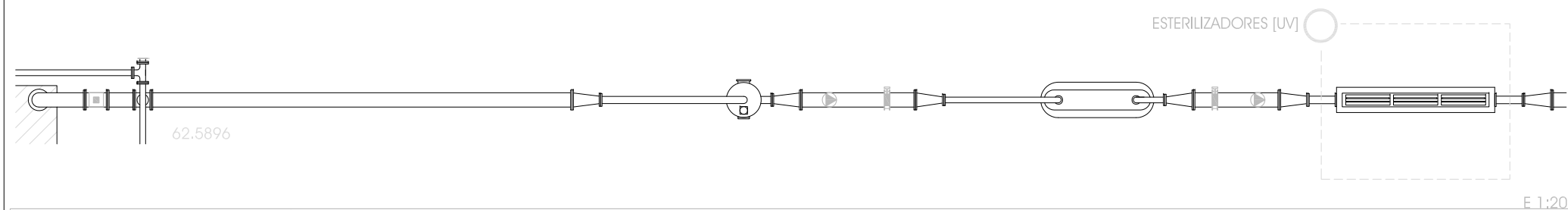
- Bomba de impulsión
- Válvula
- Caudalímetro
- Estrechamiento



DISEÑO DE PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA, EN EL CAMPO DE LAS DALIAS (ALMERÍA)
 Plano de Microfiltración
 Alumno Alfonso Romero López
 Nº 04
 Escala 1:50

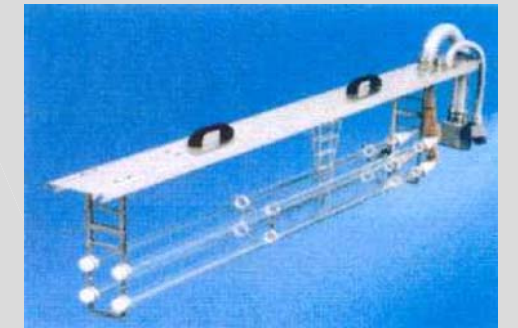


Alzado de los esterilizadores [UV]



Esquema general de las líneas

Detalles de las lámparas:

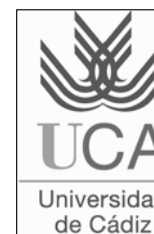


CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN:

- Número de módulos ___ 3
- Lámparas por módulo ___ 12
- Longitud lámparas ___ 147cm
- Potencia lámparas ___ 69w
- Voltaje ___ 50-60Hz
- Temperatura de trabajo ___ 2 a 40°C
- Caudal por canal ___ 1000m³/h

Leyenda

- Bomba de impulsión
- Válvula
- Caudalímetro
- Estrechamiento



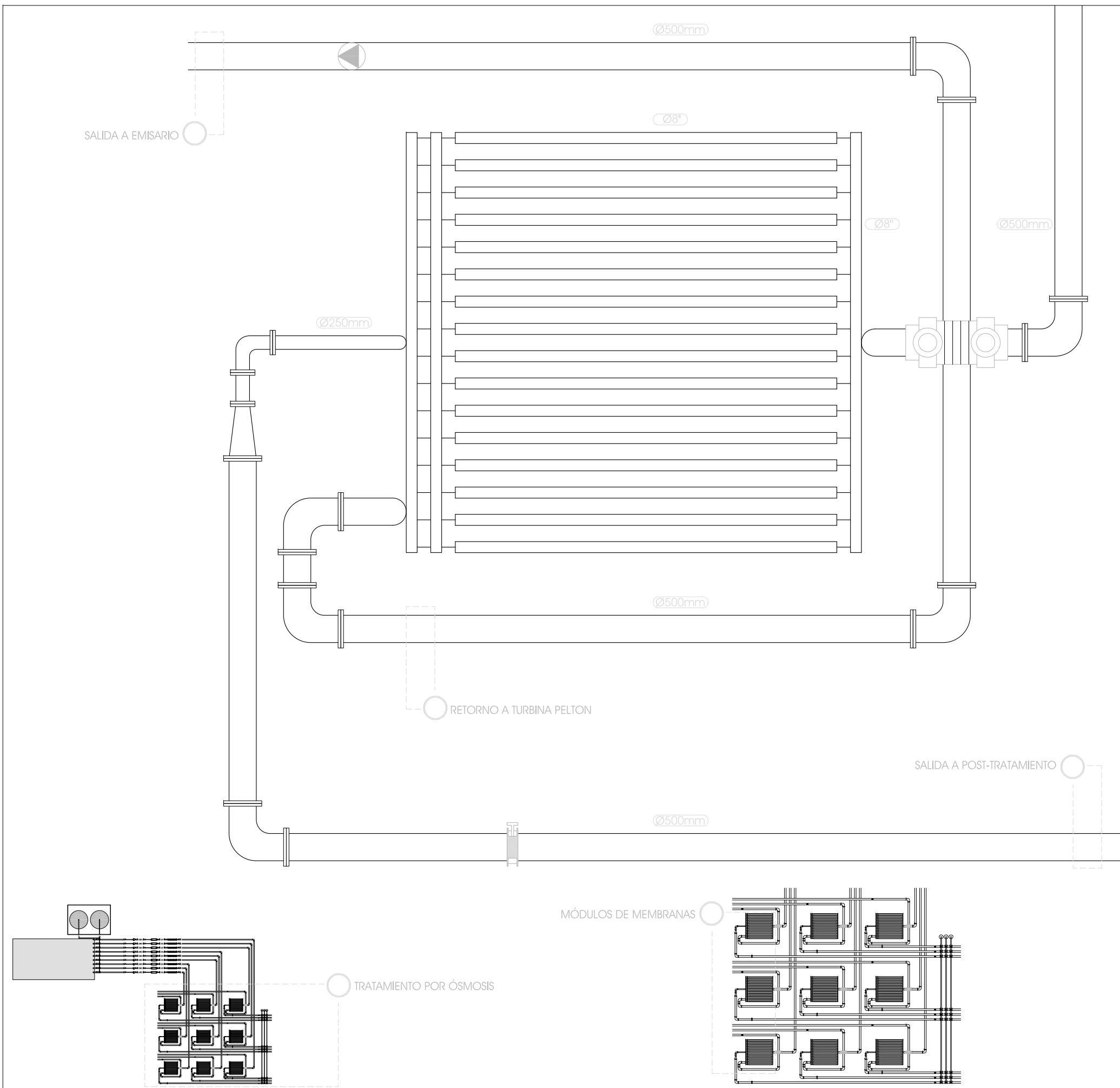
DISEÑO DE PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA, EN EL CAMPO DE LAS DALIAS (ALMERÍA)

Plano de Esterilizadores (UV)

Alumno Alfonso Romero López

Nº 05

Escala 1:50



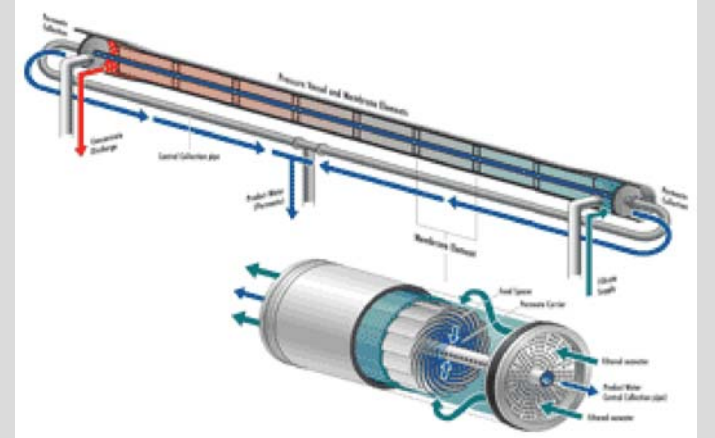
Esquema general de la instalación

E 1:2500

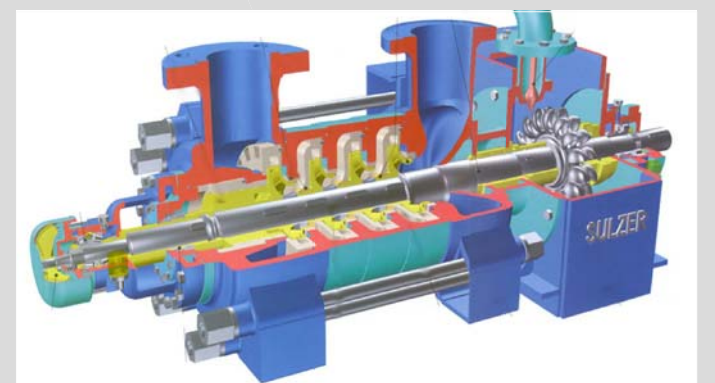
Planta general de tratamiento por ósmosis

E 1:1250

Membrana de poliamida aromática



Bomba-turbina Pelton



Condiciones de trabajo

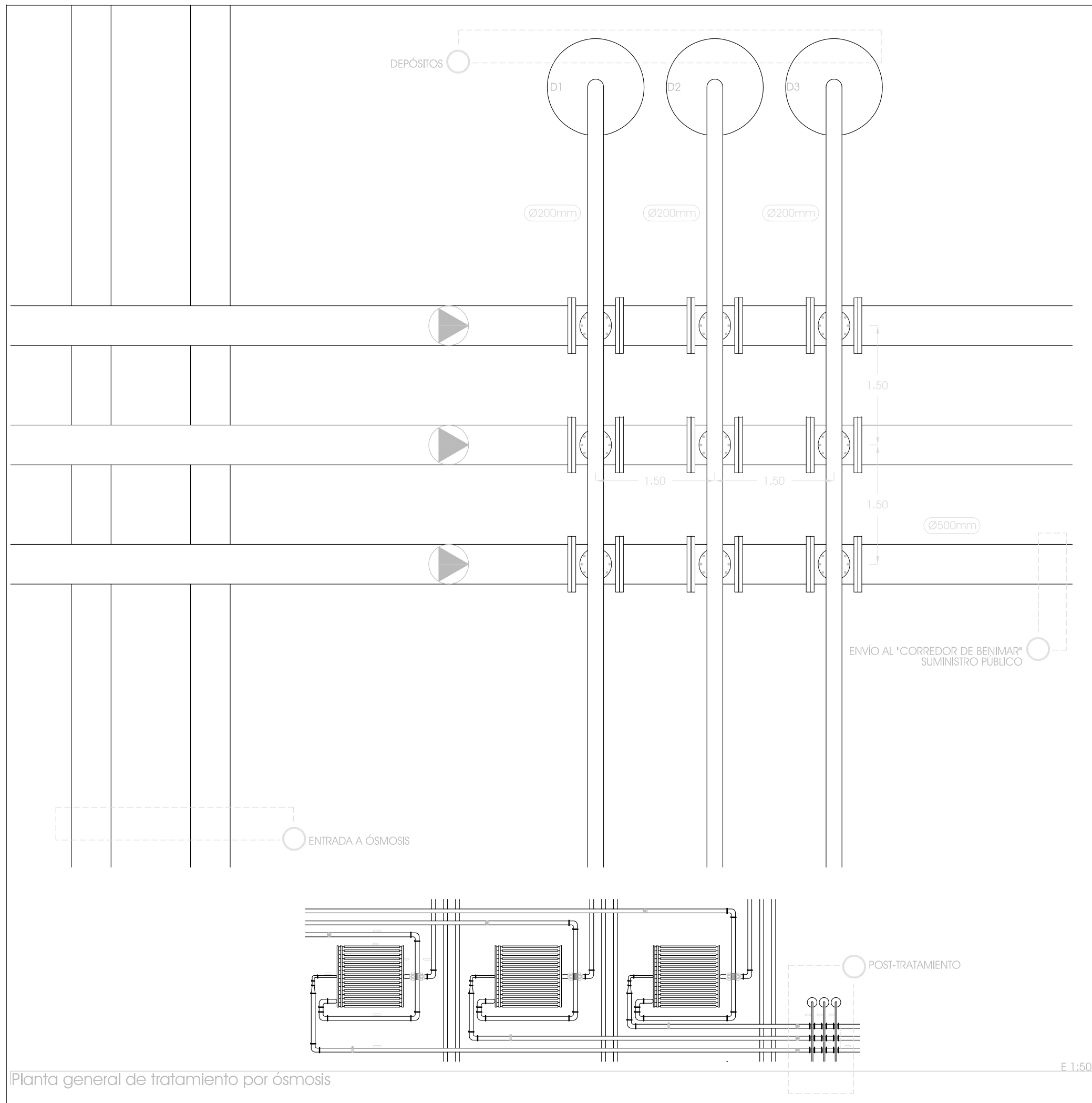
Flujo Nominal (F _n)	26,5 m ³ /d
Flujo Diseño (F _d)	15,16 m ³ /d
Flujo Unidad Superficie (J _u)	18,21 l/m ² h
Area Total	24711,69 m ²
Numero membranas o elementos	660 (por bastidor)
Numero de tubos presión	94 (por bastidor)
Elementos por tubos.	7
Presión de Trabajo	60 (bar)

Leyenda

- Bomba de impulsión
- Válvula
- Caudalímetro
- Estrechamiento
- Bomba-turbina Pelton



DISEÑO DE PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA, EN EL CAMPO DE LAS DALIAS (ALMERÍA)
 Plano de Módulos de membranas N° 06
 Alumno Alfonso Romero López Escala 1:50



Planta general de tratamiento por ósmosis

E 1:500

Planta de post-tratamiento, para el acondicionamiento del agua producto, obtenida en los módulos de ósmosis inversa, para su utilización. Conducida al corredor de Benimar, que conecta con el suministro general del agua de la región. El posttratamiento consisten en la adición de las distintas sustancias, en su justa medida para el acondicionamiento del agua producto, según la legislación vigente.

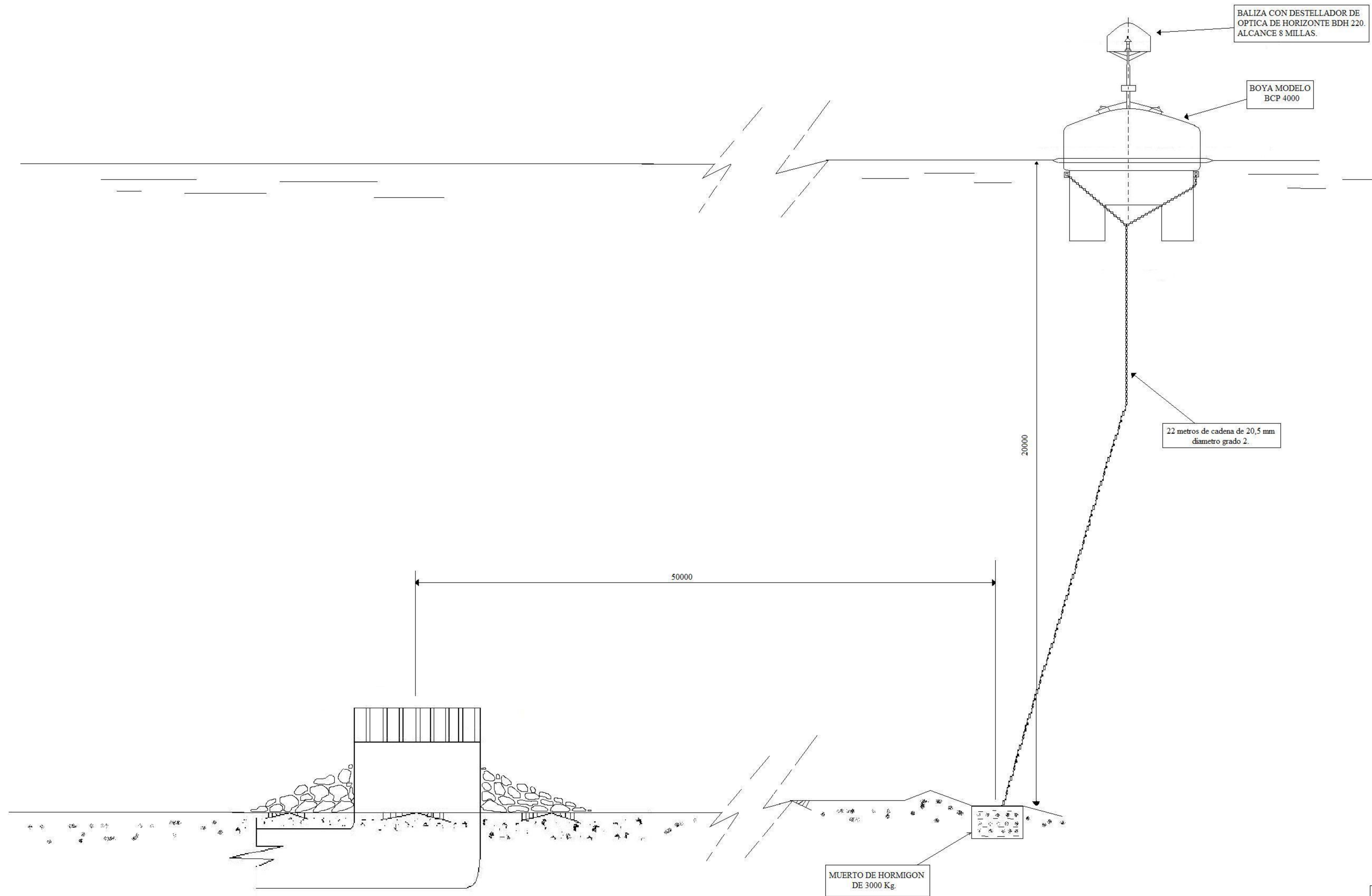
CONTENIDO DE LOS DEPÓSITOS:

- D1. Cal
- D2. Cloruro cálcico
- D3. Hipoclorito sódico

Leyenda

- Bomba de impulsión
- Válvula
- Caudalímetro
- Estrechamiento

	DISEÑO DE PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA, EN EL CAMPO DE LAS DALIAS (ALMERÍA)	
	Plano de Post-tratamiento	Nº 07
	Alumno Alfonso Romero López	Escala 1:50

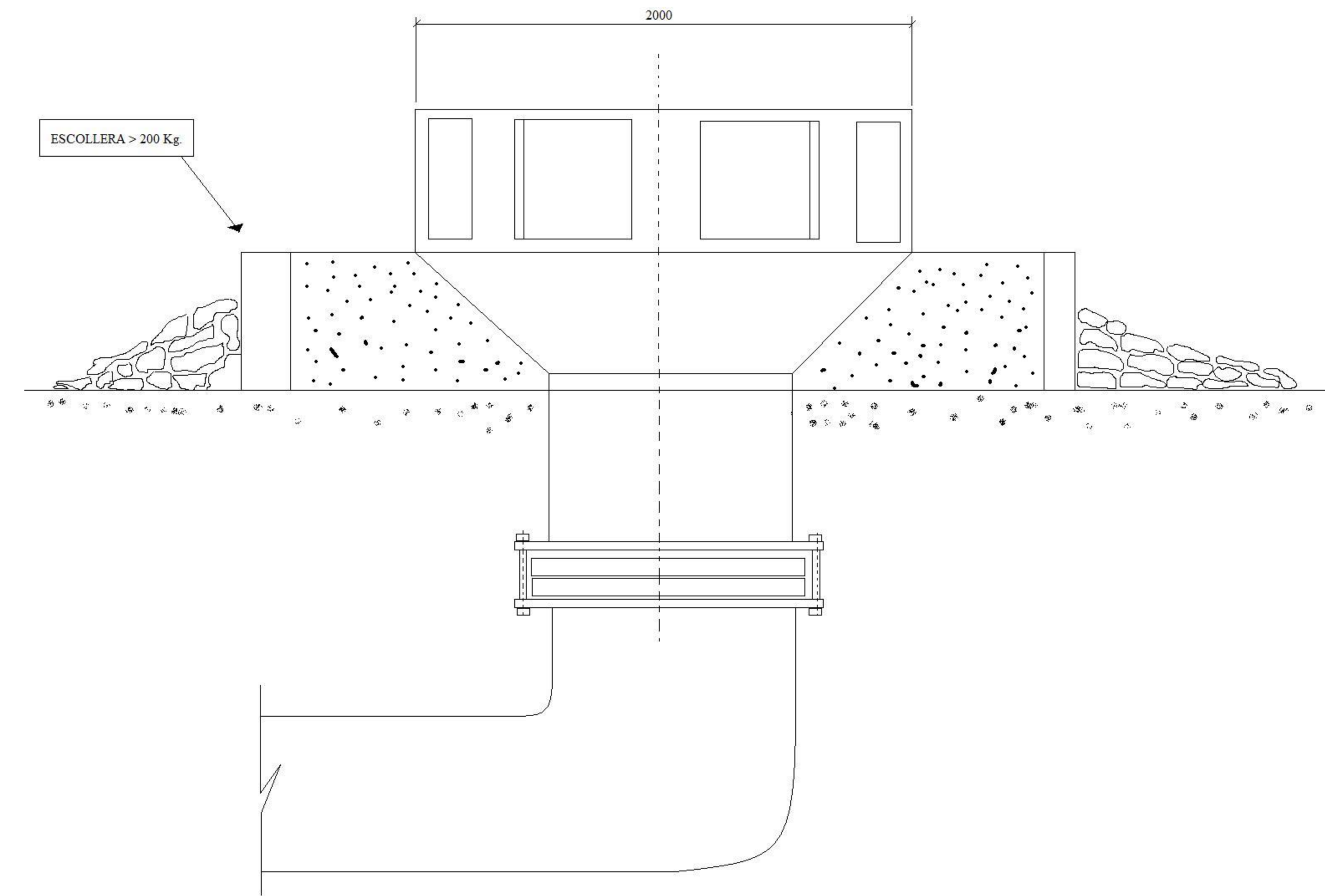
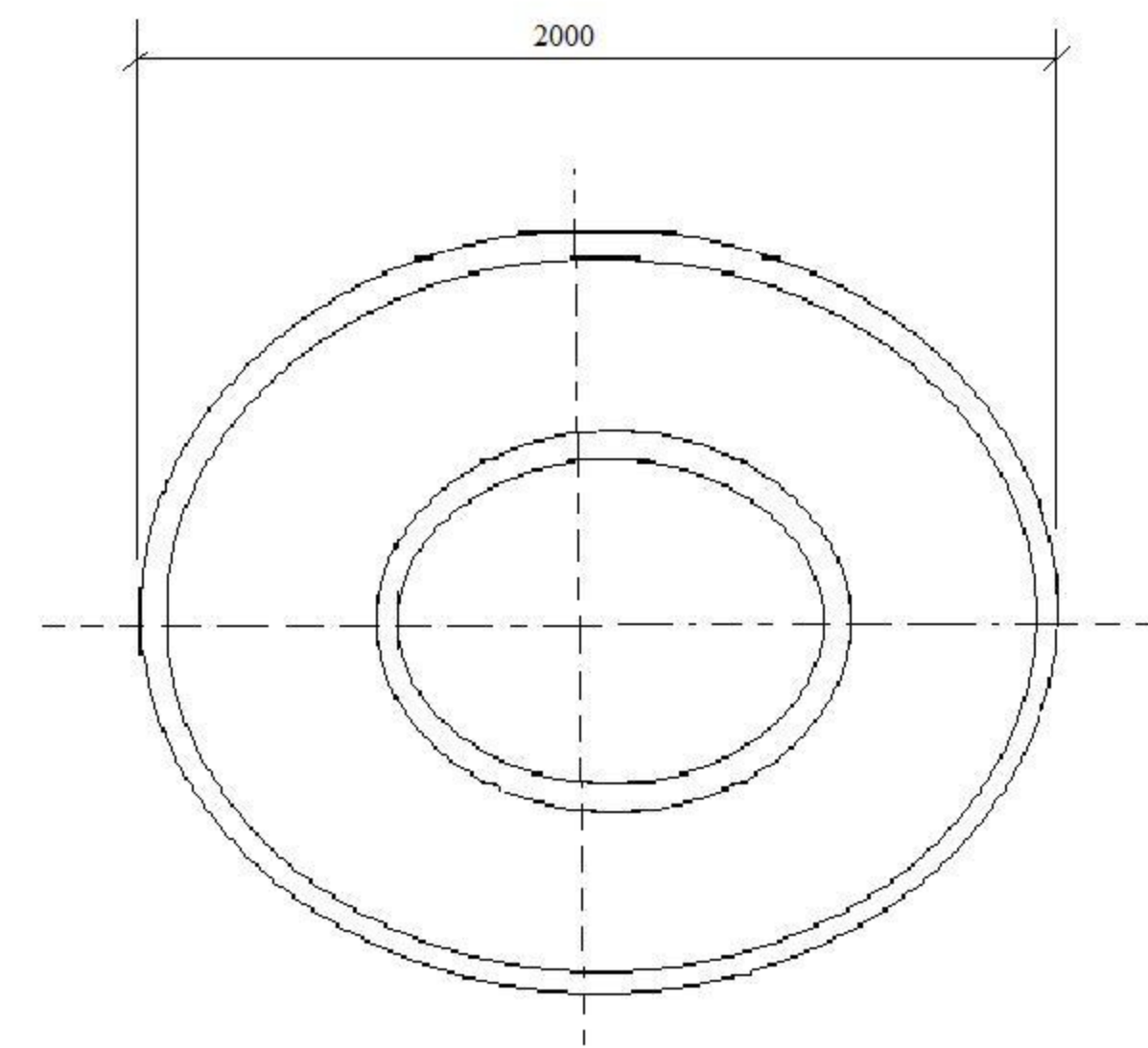
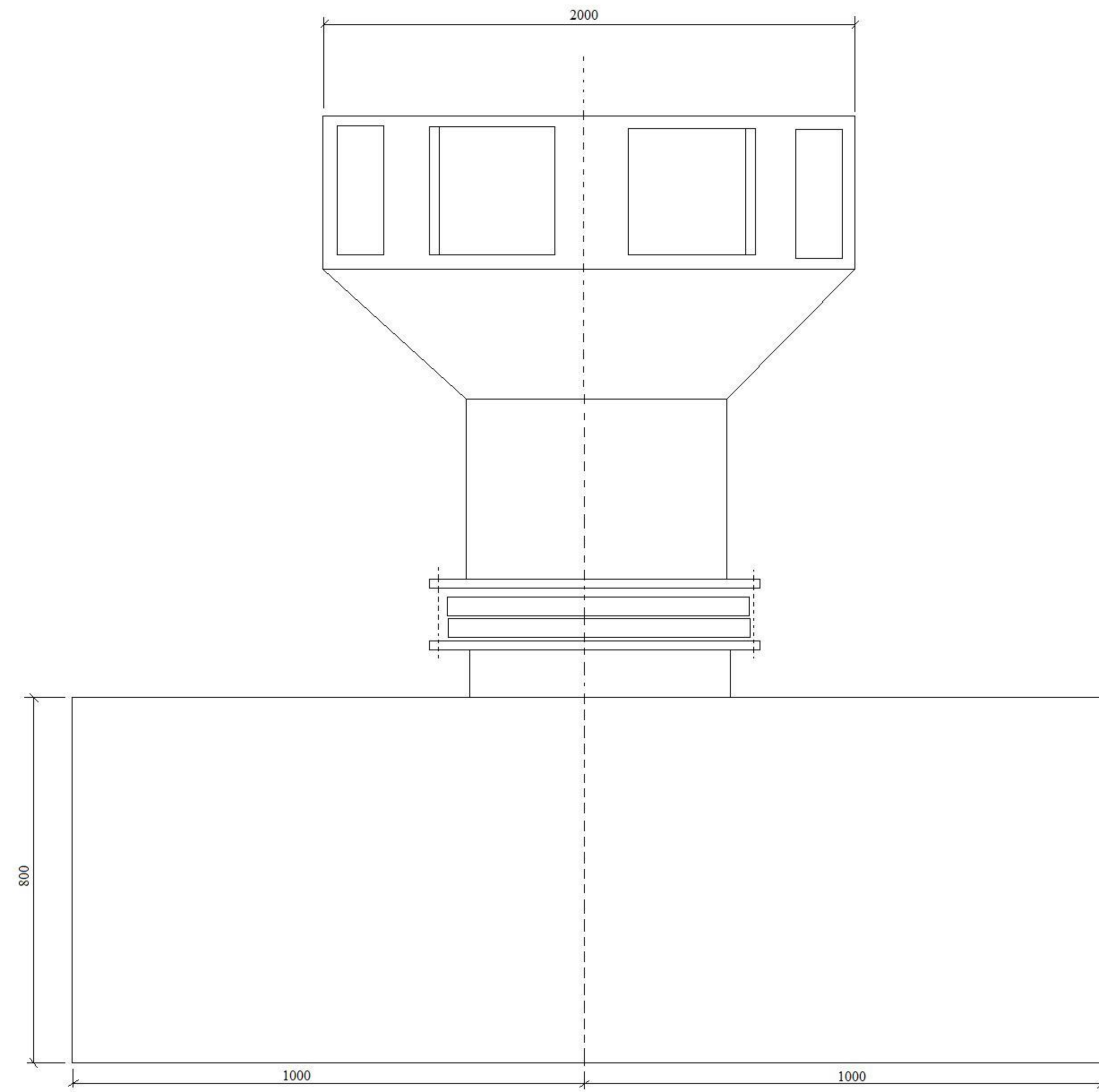


BALIZA CON DESTELLADOR DE OPTICA DE HORIZONTE BDH 220. ALCANCE 8 MILLAS.

BOYA MODELO BCP 4000

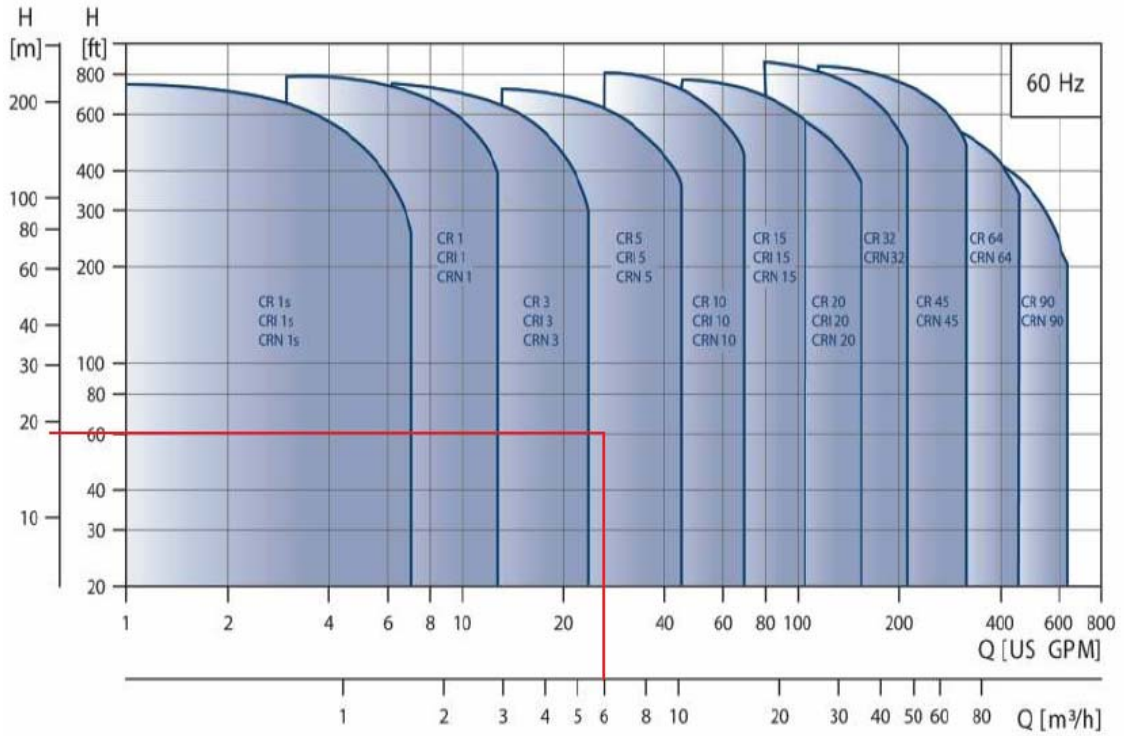
22 metros de cadena de 20,5 mm diametro grado 2.

MUERTO DE HORMIGON DE 3000 Kg.



11. ANEXOS.

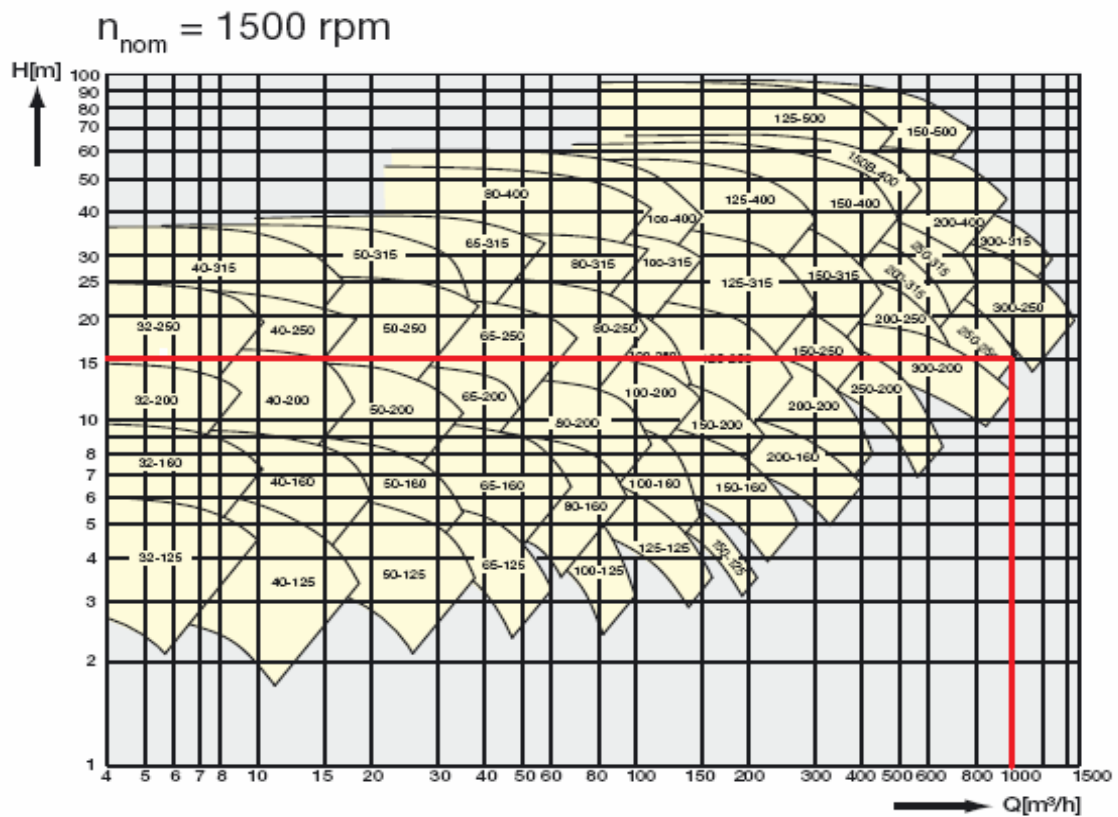
Bombas de acido sulfúrico:



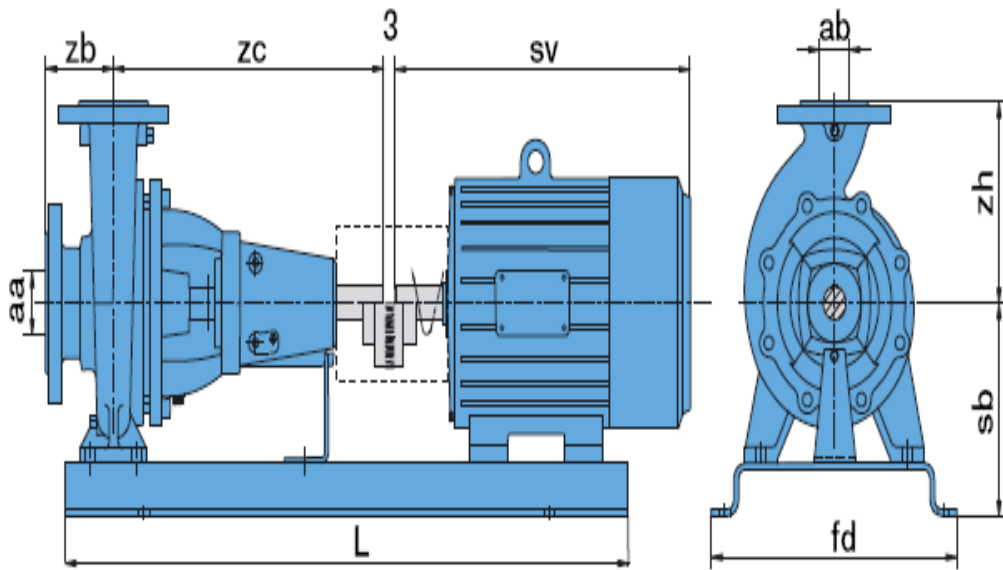
Eficiencia CR



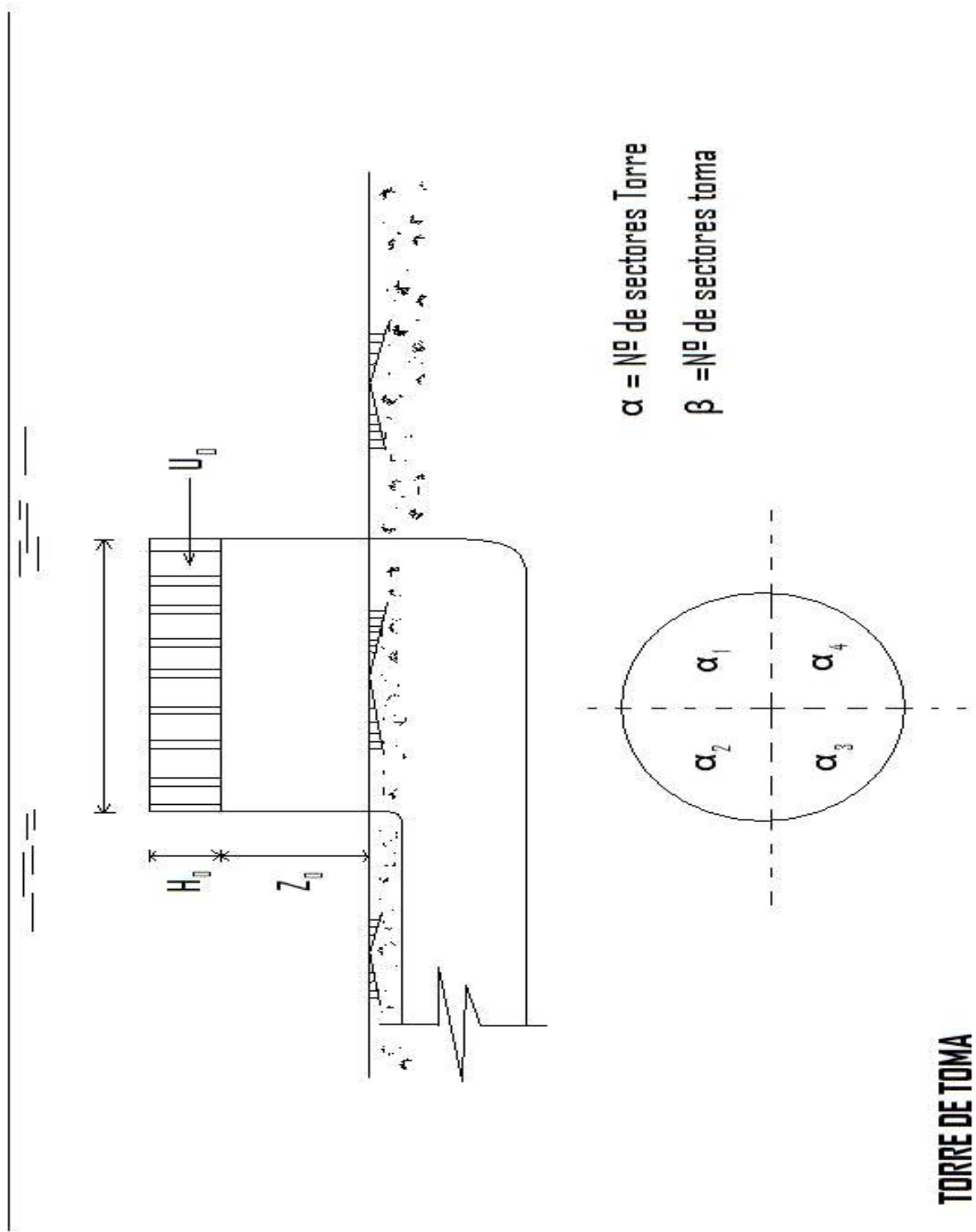
Bombas centrífugas para UV:



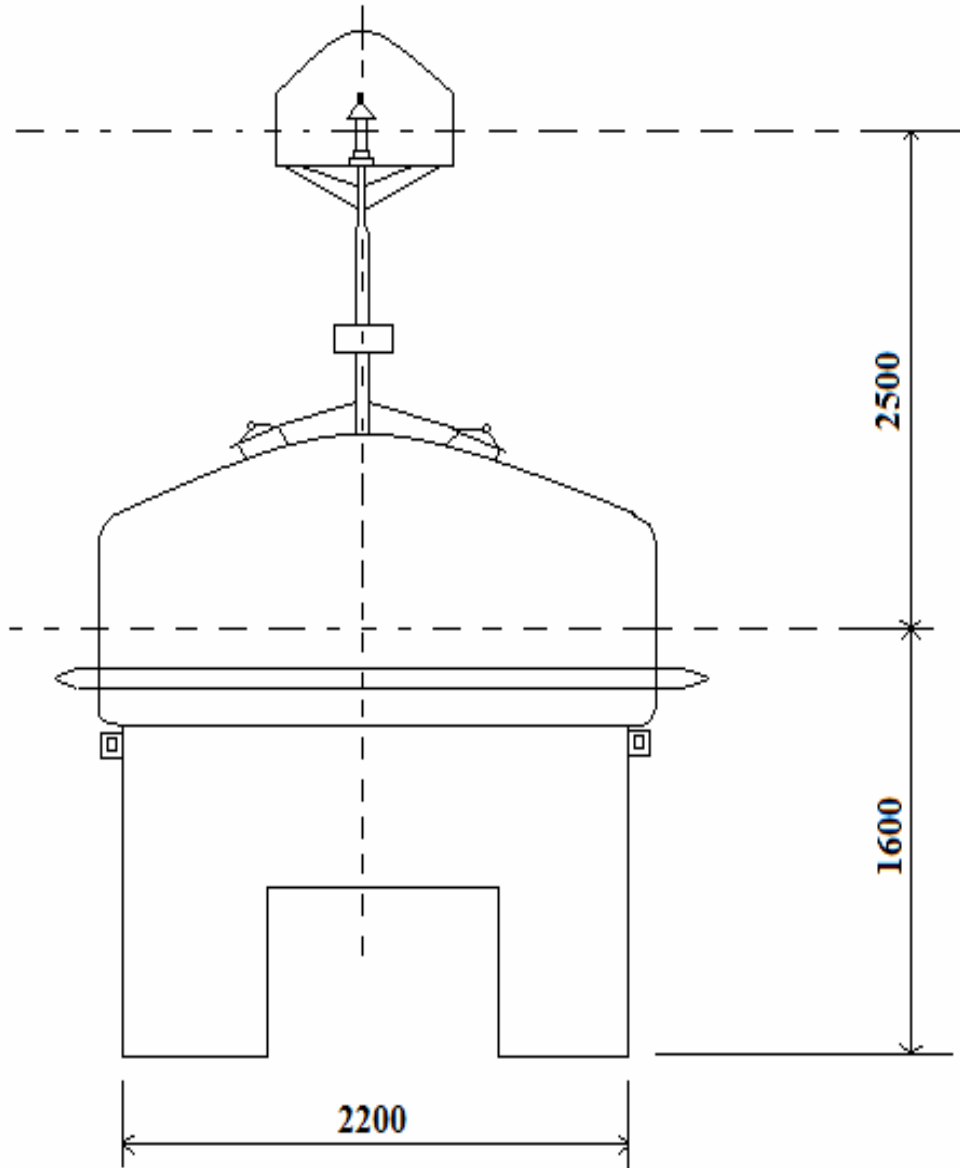
Dimensiones:



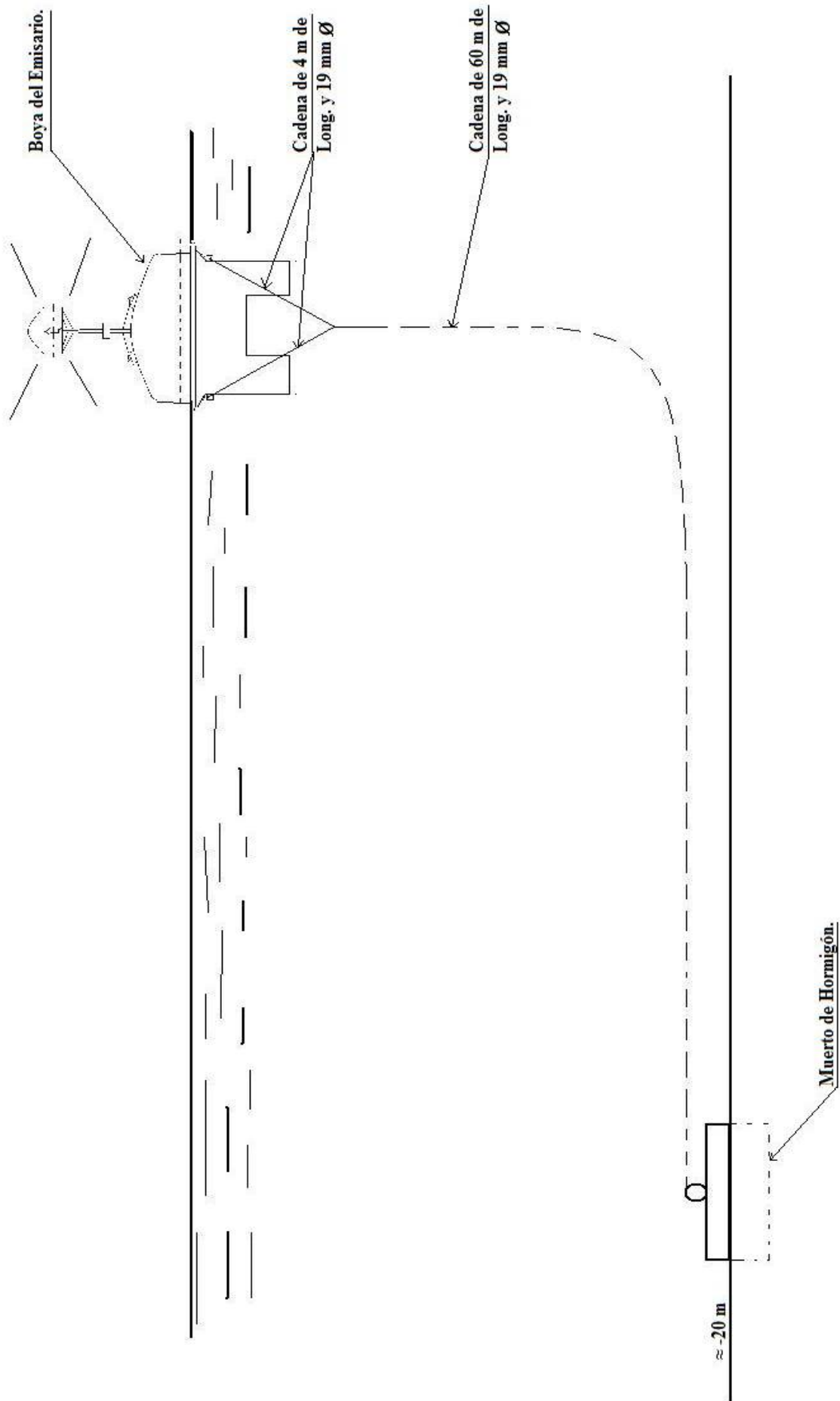
		ISO 7005 PN16							
CombiNorm	aa	ab	zb	zc	sb	fd	zh	L	
125-125	125	125	140	360	288-305	473-545	300	1000-1250	
125-250	150	125	140	470	340-350	658-678	355	1250-1600	
125-315	150	125	140	530	370-410	678-788	355	1250-1650	
125-400	150	125	140	530	405-445	678-788	400	1250-1650	
250-200	250*	250*	200	530	445	788	450	1650	
250-250	300	250	260	716	530-560	850	550	1600-2000	
250-315	300	250	230	700	505-535	850-890	500	1600-2250	
300-200	300*	300*	250	530	580	788	600	1650	
300-250	300	300	250	720	580-610	850	550	1600-2000	
300-315	300	300	230	720	580-610	850-890	550	1600-2350	



Balizamiento de Emisarios:

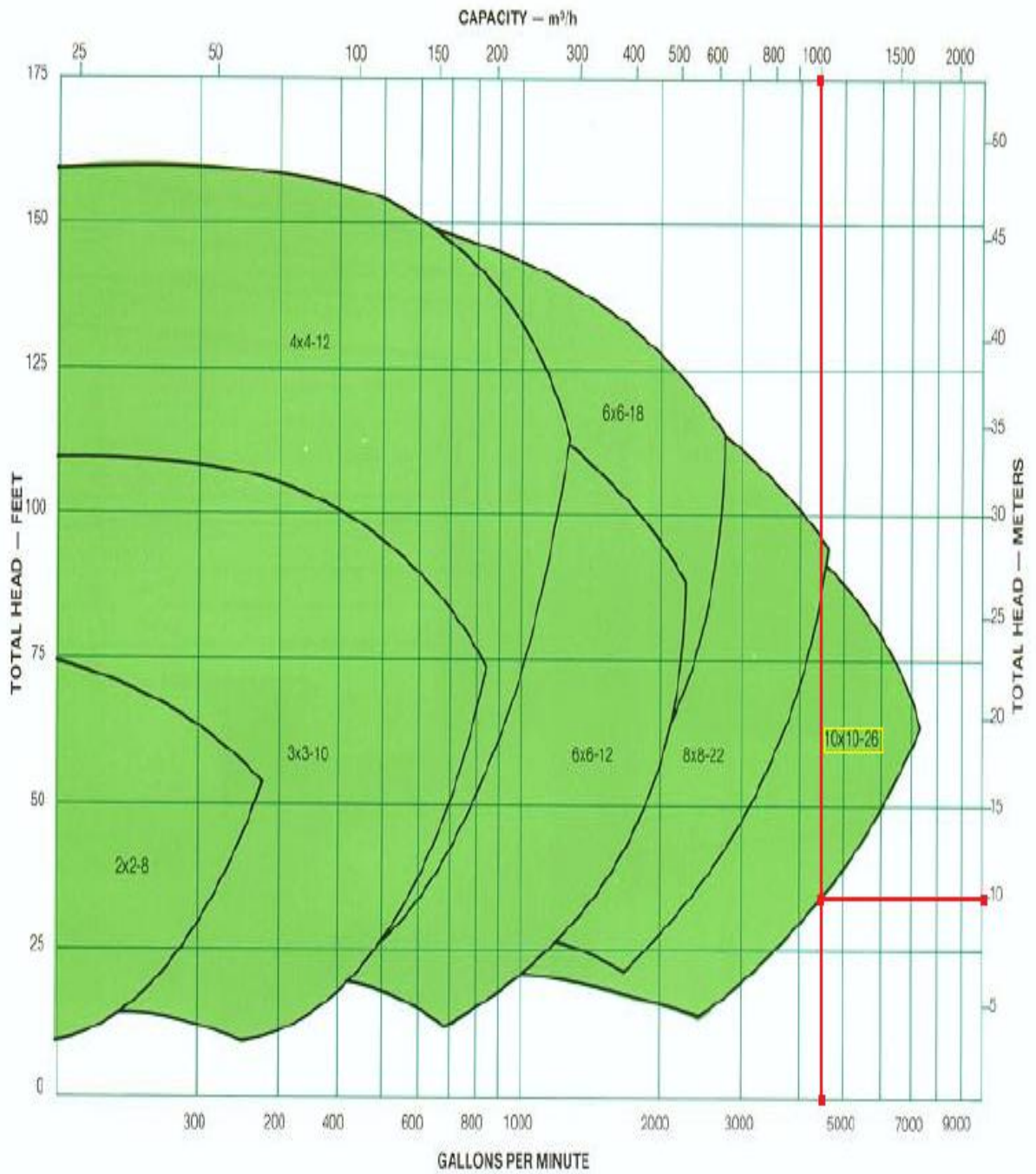


Balizamiento Boya.

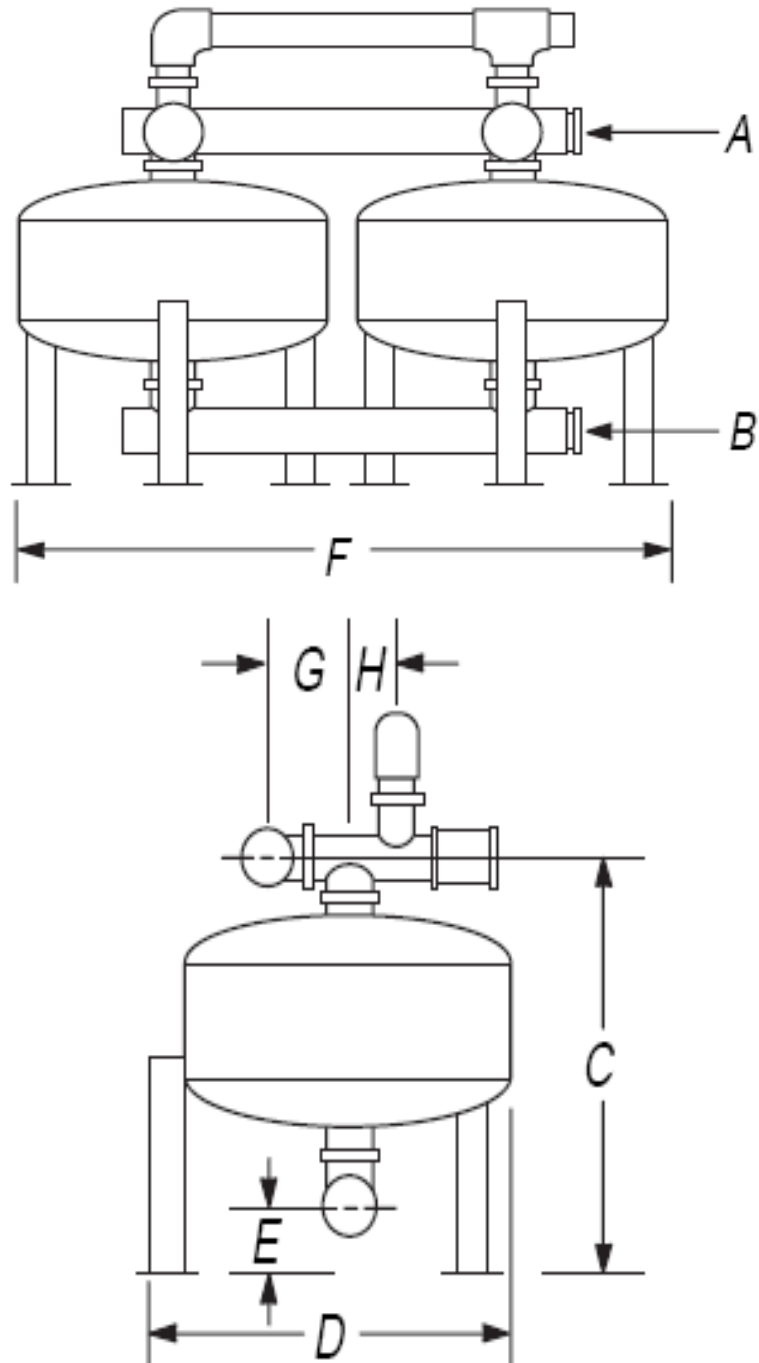


Bombas de alimentación:

Hydraulic Coverage Model VHS



Filtración grosera:



Número de Modelo	A Diámetro de entrada	B Diámetro de salida	C	D	E	F	G	H
215	2	2	42.75	18	6	33	6 3/4	2 1/4
218	3	3	43.75	21	6	39	7 1/4	2 1/4
318	3	3	43.75	21	6	51	7 1/4	2 1/4
224	3	3	44.75	27	6	51	8 1/4	2 3/8
324	4	4	44.75	27	6	78	8 3/4	2 3/8
230	4	4	52.13	33	9.75	70	8 3/4	2 3/8
330	6	6	52.13	33	8.75	110	9 7/8	2 3/8
236	4	4	53.75	39	10.75	76	8 3/4	2 3/8
336	6	6	53.75	39	9.75	116	9 7/8	2 3/8
245	6	6	53.75	48	10.5	97	10 1/8	3 1/4
345	6	6	53.75	48	10.5	149	10 1/8	3 1/4
445	8	8	53.75	48	9.5	201	11 1/8	3 1/4
445T	10	10	53.75	48	10.5	208	10 1/8	3 1/4
545	10	10	53.75	48	8.5	253	12 1/4	3 1/4
545T	10	10	53.75	48	10.5	260	10 1/8	3 1/4
645T	10	10	53.75	48	10.5	312	10 1/8	3 1/4
248	6	6	58.75	51	10.5	100	10 1/8	3 1/4
348	6	6	58.75	51	10.5	152	10 1/8	3 1/4
448	8	8	58.75	51	9.5	204	10 1/8	3 1/4
448T	10	10	58.75	51	10.5	211	10 1/8	3 1/4
548	10	10	58.75	51	8.5	256	12 1/4	3 1/4
548T	10	10	58.75	51	10.5	263	10 1/8	3 1/4
648T	10	10	58.75	51	10.5	315	10 1/8	3 1/4

Notas: Dimensiones están en pulgadas (± 1/2").
 Los tamaños de entrada y salida son tamaños de tuberías nominales.

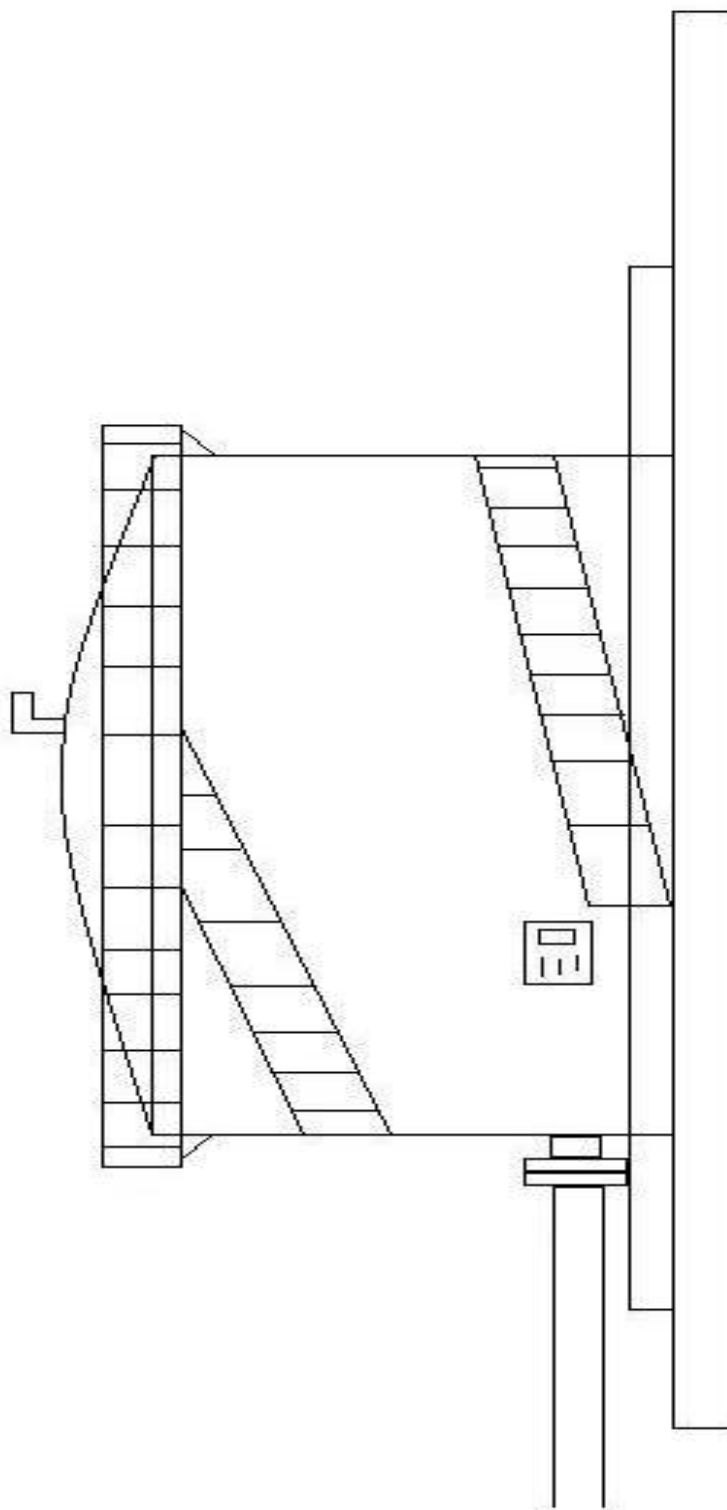
Tipo de Arena y No.	Tamaño Promedio de la arena (mm)	Coefficiente de Uniformidad de la arena	Equivalencia en Mesh
#20 Crushed Silica	0.48	1.50	190-250*
#16 Crushed Silica	0.68	1.50	130-180*
#12 Crushed Silica	1.05	1.50	90-130*

*Basado en GPM/Ft²

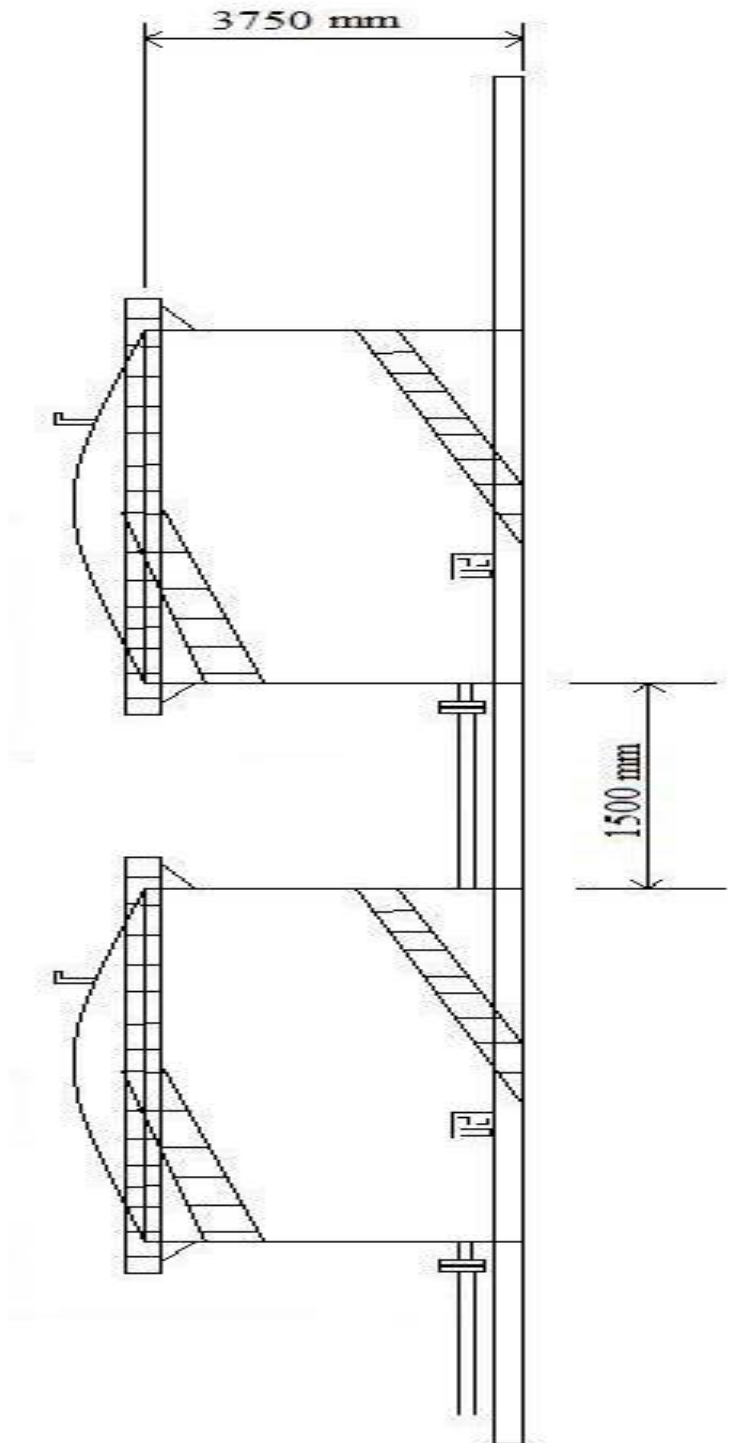
Modelo No.	Grava	Arena
	80 lb / 36 Kg bolsas	100 lb / 45 Kg bolsas
215	1	3
218	2	4
224	3	8
324	4	12
230	4	10
330	6	15
236	6	16
336	9	24
245	12	24
345	18	36
445	24	48
545	30	60

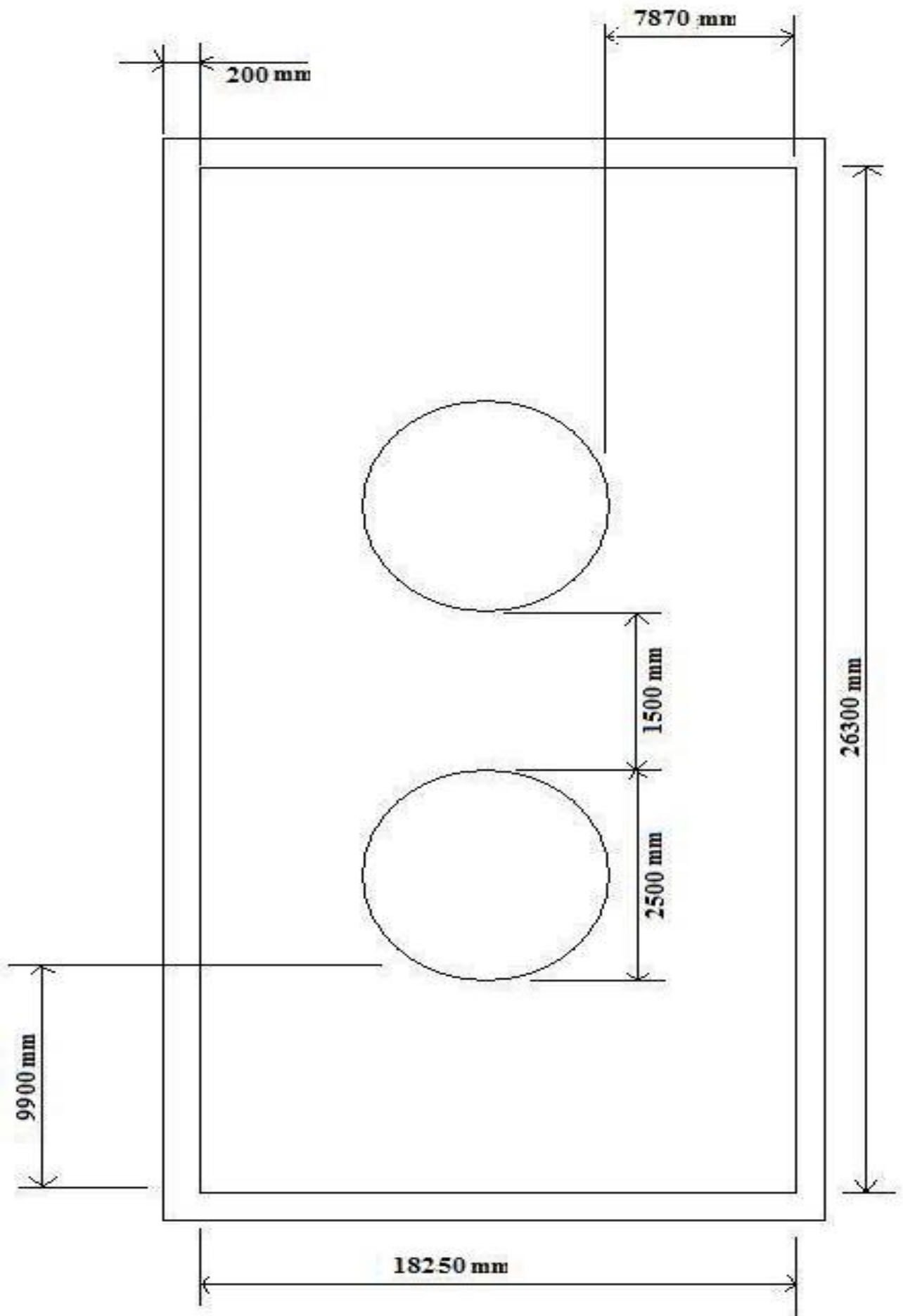
Tanques de almacenamiento de sulfúrico:

**TANQUE DE
ALMACENAMIENTO
 H_2SO_4 .**

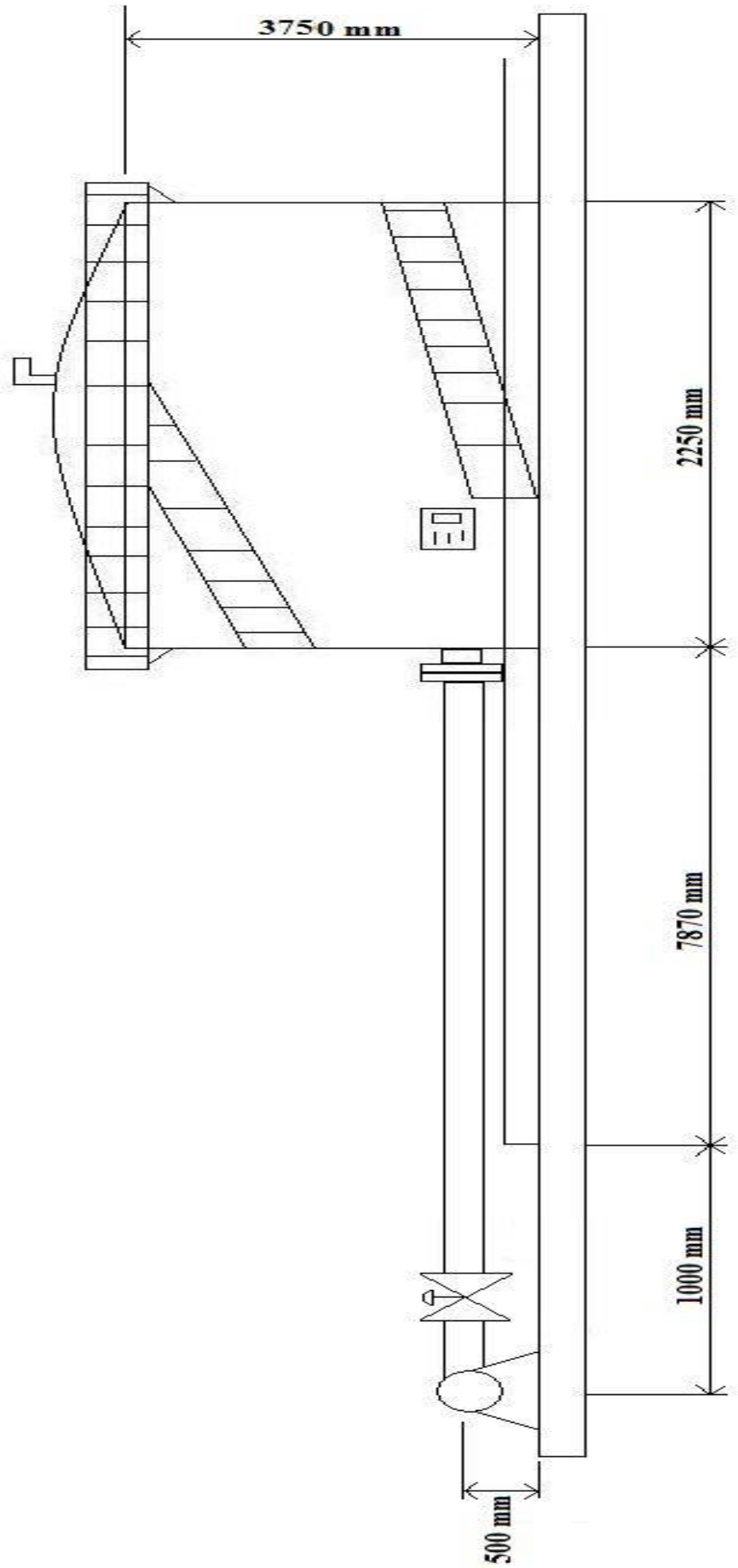


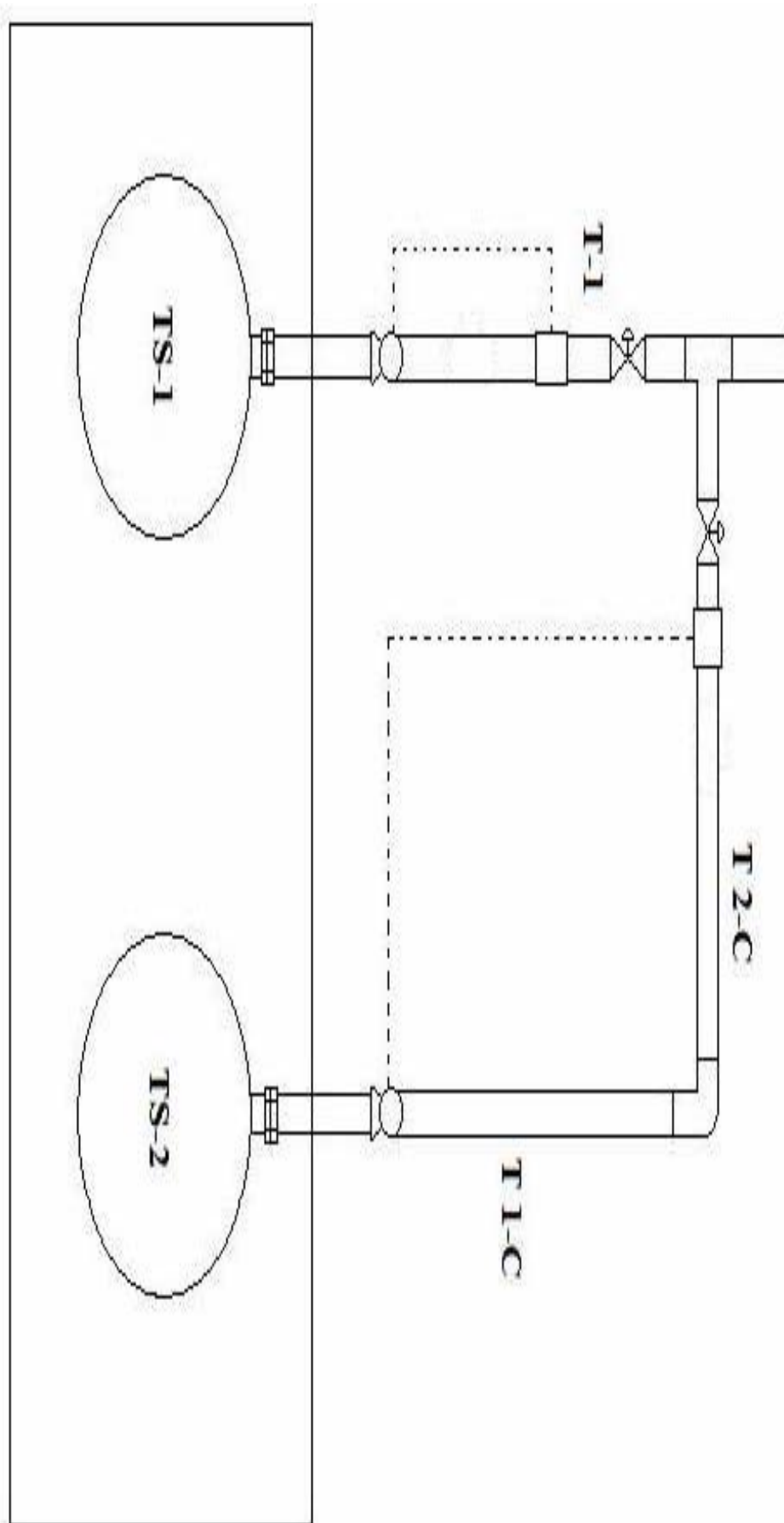
**TANQUES DE ALMACENAMIENTO
ÁCIDO SULFÚRICO**



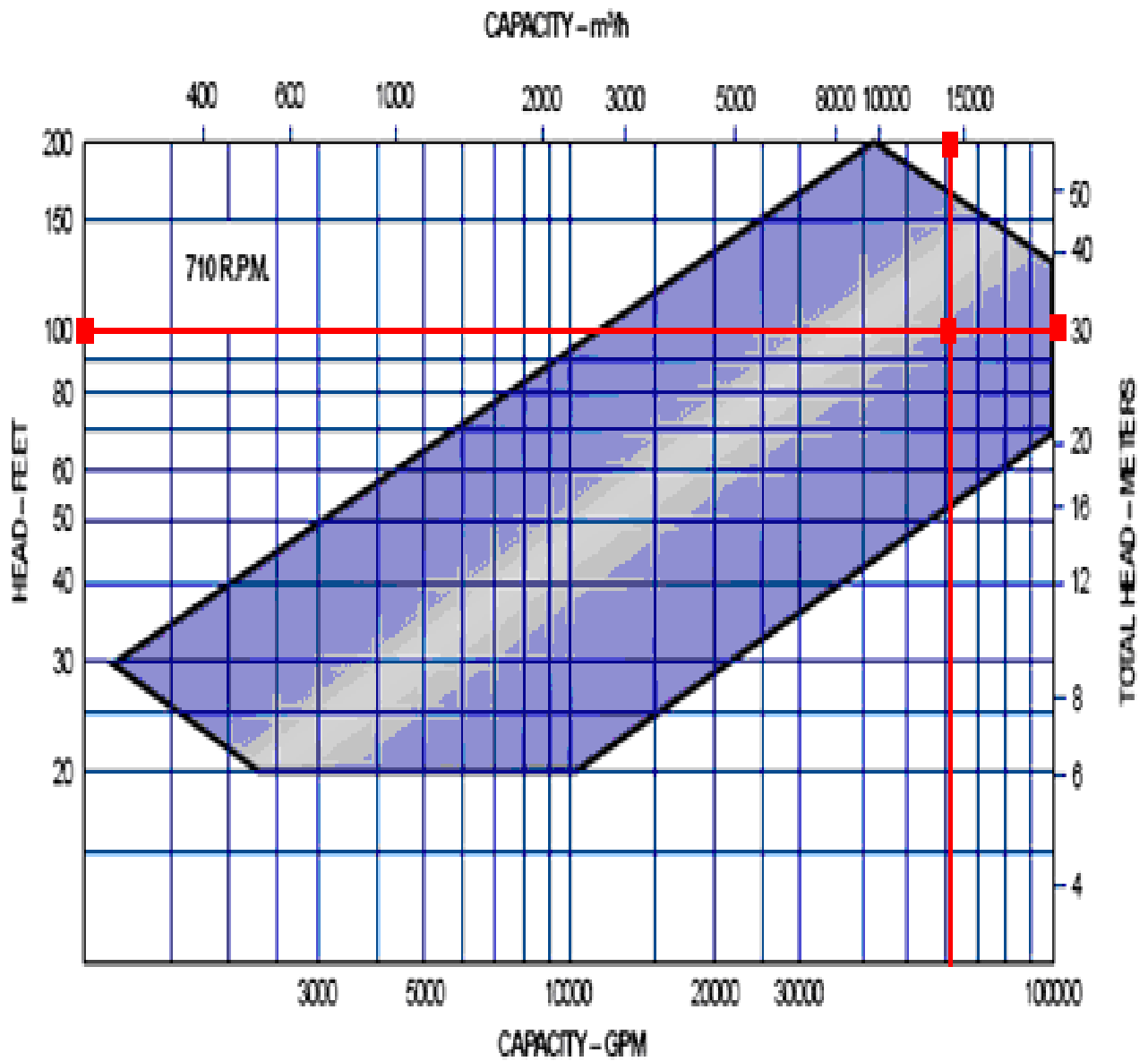


**BOMBEO DEL ÁCIDO
 H_2SO_4**

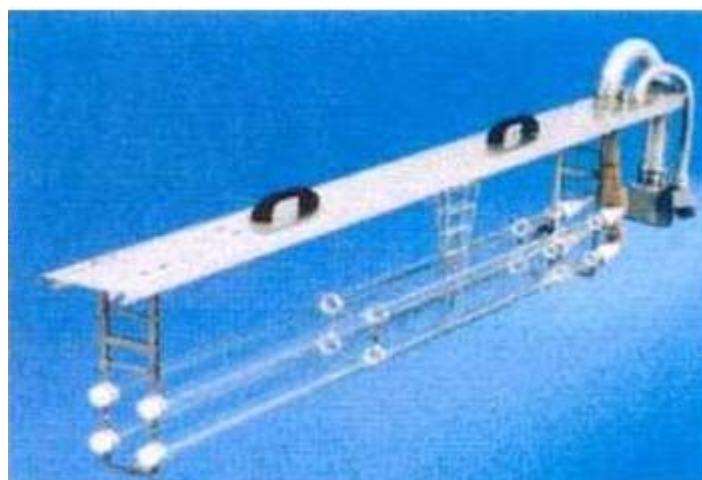
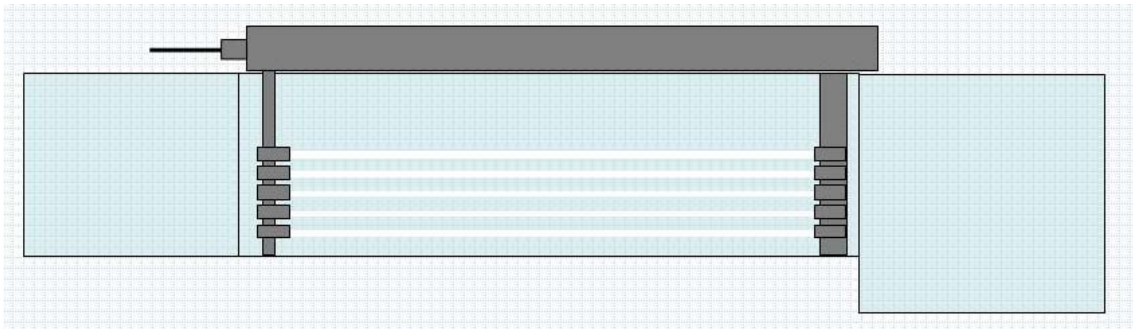




Bombas de Rechazo:



Anexo esterilizadores o canal de lámparas ultravioleta (UV)



12.

PRESUPUESTO.

INDICE DEL PRESUPUESTO:

- 1. Estado de mediciones.**
- 2. Precios unitarios.**
- 3. Precios descompuestos.**
- 4. Presupuesto.**

1. Estado de mediciones:

Emisario de Entrada a Planta.		
Código	Descripción	Nº Unidades
EC-1X	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno de grava en asiento de tubería y torre de toma en cotas inferiores a la $\pm 0,00$ m, incluso colocación.	1
EC-2X	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno en zanjas con productos resultantes de la excavación en cotas superiores a la $\pm 0,00$ m.	1
EC-3X	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno en zanjas con productos resultantes del dragado en cotas inferiores a la $\pm 0,00$ m.	1
EC-4T	Suministro e instalación de metros lineal de tubería de Polietileno (PE) de diámetro 1600 mm y espesor de 50 mm, incluso juntas y conexiones a cántara de captación y torre de toma.	1
EC-5T	Suministro e instalación de unidad de conexión entre toma y torre de entrada.	1
EC-6T	Suministro e instalación de la unidad de torre de toma, de las dimensiones indicadas en los planos, incluso muerto de anclaje y fijación, y parte proporcional de bridas y tornillos para su unión con tuberías.	1
EC-7C	Suministro e instalación de toneladas de escollera de ≈ 200 Kg de peso en protección de torre de toma.	1
EC-8L	Suministro e instalación de unidad de lastre de hormigón armado con malla electro soldada de gran resistencia.	14
EC-9B	Suministro e instalación de la unidad de boya de 2000 mm de diámetro, con destellador, completamente instalada, incluyendo macizo de anclaje, cadena de amarre totalmente colocada.	1

Cántara de Captación y Bombeo del Agua de Alimentación.		
Código	Descripción	Nº Unidades
CB-1	Suministro e instalación, metros cúbicos de hormigón de resistencia características, incluyendo encofrado para el diseño de la cántara de captación de medidas de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho.	1
CB-2	Suministro e instalación, metros cuadrados de rejilla de acero galvanizado, como medida de seguridad previa a la entrada de agua, totalmente colocada e instalada.	1
CB-3	Suministro e instalación, bombas de captación las cuales pertenecen a la empresa GOULDS PUMP, modelo VHS 10x10-26, centrífuga vertical, para impulsión de agua de mar.	9
CB-4	Suministro e instalación, metro lineal de tubo de PVC 8", cuya misión es proteger a la tubería de impulsión de la bomba de posibles movimientos del terreno.	9
CB-4	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	9
CB-4	Suministro e Instalación de transmisor de presión, suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc, clase 150.	9
CB-5	Suministro e instalación, metro lineal de tubo de PVC, diámetro nominal de 250 mm y espesor 4,9 mm, instalación y suministro.	40
CB-6	Suministro e instalación, unidades de accesorios, codos y bridas suministradas por grupo comercial Samen, constituidos de PVC, diámetro nominal de 250 mm y espesor de 4,9 mm.	18
CB-7	Suministro e instalación, unidades de medidor de pH suministrados por la empresa Hamilton, modelo Polyplast.	9
CB-8	Suministro e instalación, unidades de medidor de turbidez suministrada por la empresa Rosemount, modelo turbidimeter.	9

Instalación de acidificación agua de alimentación.		
Código	Descripción	NºUnidades
AC-1	Suministro e instalación, metros cuadrados de Acero SA-316, fabricación, instalación de tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico; de 2,5 m de diámetro y una altura de 3,75 m.	2
AC-2	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de acero SA-316, para conducción y distribución del ácido a las tuberías de entrada, diámetro nominal de 10".	43,5
AC-3	Suministro e Instalación de las bombas dosificadoras de ácido suministradas por la empresa, Grundofs de México S.A. modelo CRN-5	2
AC-4	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 500 mm.	135
AC-5	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 250 mm.	45
AC-6	Suministro e instalación de reducción de paso de 500 mm a 200 mm, con una contracción gradual bridada suministrada por la empresa Hawle, Inc DN 500-250.	9
AC-7	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m ³ /h.	9
AC-8	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0- 200.000 μ S/cm	9
AC-9	Suministro e instalación de termorresistencias ,Omega Instruments modelo TX92-1 con rango -40/49°C, y precisión 0,089°C.	9
AC-9	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro	18

	nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	
AC-10	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	9

Instalación Filtración Grosera.		
Código	Descripción	NºUnidades.
FG-1	Suministro e instalación de Corresponde al Modelo PS 445 con un área de Filtración de $44,4 \text{ ft}^2 \approx 4,14 \text{ m}^2$, empresa suministradora “ <i>FRESNO Valves &Castings, Inc</i> ”.	9
FG-2	Suministro e instalación de la arena grosera para la filtración grosera, suministrada por “ <i>FRESNO Valves &Castings, Inc</i> ”.	9
FG-3	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de $8 \text{ m}^3/\text{h}$.	9
FG-4	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0- 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.	9
FG-5	Suministro e instalación de bombas, suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255).	10
FG-6	Suministro e Instalación de uniones codos de 90° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	36

Instalación de Micro-filtración.		
Código	Descripción	NºUnidades
MF-1	Suministro e instalación de filtro suministrado por la empresa Tekleen, Automatic Filtres, Inc., modelo ABW16-LP.	10
MF-2	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	18
MF-3	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	36
MF-4	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m ³ /h.	9
MF-5	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0- 200.000 µS/cm.	9
MF-6	Suministro e instalación de bombas, suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255).	10
MF-7	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 500 mm.	9
MF-8	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 250 mm.	9
MF-9	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	9

Instalación desinfección por Ultravioletas (UV)		
Código	Descripción	NºUnidades
UV-1	Suministro e instalación de lámparas de UV suministradas por la empresa Excel Water Technologies, modelo SUV 800P High Flor.	324
UV-2	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de acero SA-316, para conducción y distribución agua para su desinfección, diámetro nominal de 250 mm.	648
UV-3	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	9
UV-4	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	18
UV-4	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	18
UV-5	Suministro e instalación bombas de impulsión, de la empresa JOHNSON PUMP Modelo Combi-Norm “ <i>Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)</i> ”.	9
UV-6	Suministro e instalación, canal de hormigón y fabricación del los mismo.	9

Instalación de Osmosis Inversa (Bastidores)		
Código	Descripción	NºUnidades
MOI-1	Suministro e instalación de las membranas de osmosis inversa, suministradas por la Empresa Hydranautics, perteneciente a la compañía Nitto Denko, del modelo SCW3+ Hydranautics, tamaño nominal de 8" Arrollamiento en Espiral.	660
MOI-11	Suministro e instalación de los tubos de presión de 7m de longitud, diseñados para contener 7 tubos de membranas, suministrados por Hydranautics.	846
MOI-2	Suministro e instalación, del sistema de distribución y conexiones suministrado por la empresa Victaulic Inc, correspondiente a los distintos bastidores de la instalación, con 94 tubos de presión, fabricados de acero AISI-316.	9
MOI-3	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	18
MOI-4	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	32
MOI-5	Suministro e instalación de las bombas-recuperador de energía, suministrada por la empresa Sulzer Pumps, capaz de suministrar una presión de 60 bares y una recuperación del 95%.	10
MOI-6	Suministro e instalación de válvulas de retención y trasmisores de presión a cada lado de las bombas, pertenecientes a la empresa Dewrance modelo F67.	18
MOI-7	Suministro e instalación de sensores de presión colocados a la entrada y salida de cada tubo de presión de 7m de longitud, suministrado por la empresa Omega Instruments, Modelo PX4200-2KGL, con rangos de medida 0-1500 psi y exactitud de 2,5 psi(+/- 0,175 bar).	1692

Emisario de Salida		
Código	Descripción	NºUnidades
ES-1	Suministro e instalación de metros lineal de tubería de Polietileno (PE) de diámetro 1600 mm y espesor de 50 mm, longitud de 2500 m.	1
ES-2	Unidad de lastre de hormigón armado con malla electro soldada de gran resistencia.	1
ES-3	Suministro e instalación, unidad de boya de 2000 mm de diámetro, con destellador, completamente instalada, incluyendo macizo de anclaje, cadena de amarre totalmente colocada.	1
ES-4	Suministro e instalación de 20 difusores separados 10 m entre ellos, que facilitan la rápida dilución de la salmuera en el medio marino.	20
ES-5	Suministro e instalación de las bombas de evacuación de salmuera al emisario, suministrado por Goulds Pumps “Vertical Turbina Pumps”, Modelo VIT-FF. Capacidad 65,000 GPM \approx 14763 m ³ /h.	1

Cántara de Salida y Bombeo del Agua de Rechazo.		
Código	Descripción	Nº Unidades
CBS-1	Suministro e instalación, metros cúbicos de hormigón de resistencia características, incluyendo encofrado para el diseño de la cantara de captación de medidas de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho.	1
CBS-2	Suministro e instalación, metros cuadrados de rejilla de acero galvanizado, como medida de seguridad previa a la entrada de agua, totalmente colocada e instalada.	1
CBS-4	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	1

Instalación sistema de Limpieza.		
Código	Descripción	Nº Unidades
LO-1	Suministro e instalación de cuba de preparación de la solución, con un volumen de 0,35 m ³ .	1
LO-2	Suministro e instalación de la bomba suministradora de la dilución limpiadora, por la empresa Grundofs de México S.A. modelo CRN-5.	1
LO-3	Suministro e instalación, tuberías de acero inoxidable AISI 316L con un diámetro nominal de 8".	1

Materias Primas.		
Código	Nº Unidad	Nombre
M-1	9,45.10 ⁷ Kg/año	Acido Sulfúrico
M-2	2,75.10 ⁵ Kg/año	Ca(OH) ₂
M-3	2,01.10 ⁵ Kg/año	CaCl ₂
M-4	5,9.10 ³ Kg/año	NaClO

2. Precios Unitarios:

Emisario de Entrada a Planta.			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
EC-1X	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno de grava en asiento de tubería y torre de toma en cotas inferiores a la $\pm 0,00$ m, incluso colocación.	M ³	391
EC-2X	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno en zanjas con productos resultantes de la excavación en cotas superiores a la $\pm 0,00$ m.	M ³	8.484
EC-3X	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno en zanjas con productos resultantes del dragado en cotas inferiores a la $\pm 0,00$ m.	M ³	9.350
EC-4T	Suministro e instalación de metros lineal de tubería de Polietileno (PE) de diámetro 1600 mm y espesor de 50 mm, incluso juntas y conexiones a cántara de captación y torre de toma.	L	815,93
EC-5T	Suministro e instalación de unidad de conexión entre toma y torre de entrada.	U	450
EC-6T	Suministro e instalación de la unidad de torre de toma, de las dimensiones indicadas en los planos, incluso muerto de anclaje y fijación, y parte proporcional de bridas y tornillos para su unión con tuberías.	L	254
EC-7C	Suministro e instalación de toneladas de escollera de ≈ 200 Kg de peso en protección de torre de toma.	M ³	644
EC-8L	Suministro e instalación de unidad de lastre de hormigón armado con malla electro soldada de gran resistencia.	U	100
EC-9B	Suministro e instalación de la unidad de boya de 2000 mm de diámetro, con destellador, completamente instalada, incluyendo macizo de anclaje, cadena de amarre totalmente colocada.	U	1785

Cántara de Captación y Bombeo del Agua de Alimentación.			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
CB-1	Suministro e instalación, metros cúbicos de hormigón de resistencia características, incluyendo encofrado para el diseño de la cántara de captación de medidas de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho.	M ³	350
CB-2	Suministro e instalación, metros cuadrados de rejilla de acero galvanizado, como medida de seguridad previa a la entrada de agua, totalmente colocada e instalada.	U	150
CB-3	Suministro e instalación, bombas de captación las cuales pertenecen a la empresa GOULDS PUMP, modelo VHS 10x10-26, centrifuga vertical, para impulsión de agua de mar.	U	18.758
CB-4	Suministro e instalación, metro lineal de tubo de PVC 8", cuya misión es proteger a la tubería de impulsión de la bomba de posibles movimientos del terreno.	L	611,95
CB-4	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68
CB-4	Suministro e Instalación de transmisor de presión, suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc, clase 150.	U	375,69
CB-5	Suministro e instalación, metro lineal de tubo de PVC, diámetro nominal de 250 mm y espesor 4,9 mm, instalación y suministro.	L	21,20
CB-6	Suministro e instalación, unidades de accesorios, codos y bridas suministradas por grupo comercial Samen, constituidos de PVC, diámetro nominal de 250 mm y espesor de 4,9 mm.	U	5,6
CB-7	Suministro e instalación, unidades de medidor de pH suministrados por la empresa Hamilton, modelo Polyplast.	U	450

CB-8	Suministro e instalación, unidades de medidor de turbidez suministrada por la empresa Rosemount, modelo turbidimeter.	U	1.670
------	---	---	-------

Instalación de acidificación agua de alimentación.			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
AC-1	Suministro e instalación, metros cuadrados de Acero SA-316, fabricación, instalación de tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico; de 2,5 m de diámetro y una altura de 3,75 m.	U	6750
AC-2	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de acero SA-316, para conducción y distribución del ácido a las tuberías de entrada, diámetro nominal de 10”.	L	33,5
AC-3	Suministro e Instalación de las bombas dosificadoras de ácido suministradas por la empresa, Grundofs de México S.A. modelo CRN-5	U	4576,35
AC-4	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 500 mm.	L	92,88
AC-5	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 250 mm.	L	21,20
AC-6	Suministro e instalación de reducción de paso de 500 mm a 200 mm, con una contracción gradual bridada suministrada por la empresa Hawle, Inc DN 500-250.	U	57,8
AC-7	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m ³ /h.	U	125,37
AC-8	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0-200.000 µS/cm	U	900
AC-9	Suministro e instalación de termorresistencias, Omega	U	135

	Instruments modelo TX92-1 con rango -40/49°C, y precisión 0,089°C.		
AC-9	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	7,8
AC-10	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68

Instalación Filtración Grosera.			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
FG-1	Suministro e instalación de Corresponde al Modelo PS 445 con un área de Filtración de $44,4 \text{ ft}^2 \approx 4,14 \text{ m}^2$, empresa suministradora " <i>FRESNO Valves & Castings, Inc</i> ".	U	27.875
FG-2	Suministro e instalación de la arena grosera para la filtración grosera, suministrada por " <i>FRESNO Valves & Castings, Inc</i> ".	Kg	3,5
FG-3	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de $8 \text{ m}^3/\text{h}$.	U	125,37
FG-4	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0-200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.	U	900
FG-5	Suministro e instalación de bombas, suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255).	U	4570,86
FG-6	Suministro e Instalación de uniones codos de 90° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	3,6

Instalación de Micro-filtración.			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
MF-1	Suministro e instalación de filtro suministrado por la empresa Tekleen, Automatic Filtres, Inc., modelo ABW16-LP.	U	39.970
MF-2	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	7,8
MF-3	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	3,6
MF-4	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m ³ /h.	U	125,37
MF-5	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0-200.000 µS/cm.	U	900
MF-6	Suministro e instalación de bombas, suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255).	U	4570,86
MF-7	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 500 mm.	L	92,88
MF-8	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 250 mm.	U	21,20
MF-9	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68

Instalación desinfección por Ultravioletas (UV)			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
UV-1	Suministro e instalación de lámparas de UV suministradas por la empresa Excel Water Technologies, modelo SUV 800P High Flor.	U	1.325
UV-2	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de acero SA-316, para conducción y distribución agua para su desinfección, diámetro nominal de 250 mm.	U	33,5
UV-3	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68
UV-4	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	U	55,75
UV-4	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	U	35,76
UV-5	Suministro e instalación bombas de impulsión, de la empresa JOHNSON PUMP Modelo Combi-Norm “ <i>Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)</i> ”.	U	4570,86
UV-6	Suministro e instalación, canal de hormigón y fabricación del los mismo.	U	92,88

Instalación de Osmosis Inversa (Bastidores)			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
MOI-1	Suministro e instalación de las membranas de osmosis inversa, suministradas por la Empresa Hydranautics, perteneciente a la compañía Nitto Denko, del modelo SCW3+ Hydranautics, tamaño nominal de 8" Arrollamiento en Espiral. Tubos de presión de 7 metros de longitud.	U	975
MOI-11	Suministro e instalación de los tubos de presión de 7m de longitud, diseñados para contener 7 tubos de membranas, suministrados por Hydranautics.	U	5.600
MOI-2	Suministro e instalación, del sistema de distribución y conexiones suministrado por la empresa Victaulic Inc, correspondiente a los distintos bastidores de la instalación, con 94 tubos de presión, fabricados de acero AISI-316.	U	1.500
MOI-3	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68
MOI-4	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	U	35,76
MOI-5	Suministro e instalación de las bombas-recuperador de energía, suministrada por la empresa Sulzer Pumps, capaz de suministrar una presión de 60 bares y una recuperación del 95%.	U	150.000
MOI-6	Suministro e instalación de válvulas de retención y transmisores de presión a cada lado de las bombas, pertenecientes a la empresa Dewrance modelo F67.	U	3.500
MOI-7	Suministro e instalación de sensores de presión colocados	U	4.798

	a la entrada y salida de cada tubo de presión de 7m de longitud, suministrado por la empresa Omega Instruments, Modelo PX4200-2KGL, con rangos de medida 0-1500 psi y exactitud de 2,5 psi(+/- 0,175 bar).		
--	--	--	--

Emisario de Salida			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
ES-1	Suministro e instalación de metros lineal de tubería de Polietileno (PE) de diámetro 1600 mm y espesor de 50 mm, longitud de 2500 m.	L	815,93
ES-2	Unidad de lastre de hormigón armado con malla electro soldada de gran resistencia.	U	100
ES-3	Suministro e instalación, unidad de boya de 2000 mm de diámetro, con destellador, completamente instalada, incluyendo macizo de anclaje, cadena de amarre totalmente colocada.	U	1.785
ES-4	Suministro e instalación de 20 difusores separados 10 m entre ellos, que facilitan la rápida dilución de la salmuera en el medio marino.	U	2.367
ES-5	Suministro e instalación de las bombas de evacuación de salmuera al emisario, suministrado por Goulds Pumps “Vertical Turbina Pumps”, Modelo VIT-FF. Capacidad 65,000 GPM \approx 14763 m ³ /h.	U	14.900

Cántara de Salida y Bombeo del Agua de Rechazo.			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
CBS-1	Suministro e instalación, metros cúbicos de hormigón de resistencia características, incluyendo encofrado para el diseño de la cántara de captación de medidas de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho.	M ³	350
CBS-2	Suministro e instalación, metros cuadrados de rejilla de acero galvanizado, como medida de seguridad previa a la entrada de agua, totalmente colocada e instalada.	M ²	150
CBS-4	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68
Instalación sistema de Limpieza.			
Código	Descripción	Unidad	Precio €
LO-1	Suministro e instalación de cuba de preparación de la solución, con un volumen de 0,35 m ³ .	U	6.253
LO-2	Suministro e instalación de la bomba suministradora de la dilución limpiadora, por la empresa Grundofs de México S.A. modelo CRN-5.	U	4576,35
LO-3	Suministro e instalación, tuberías de acero inoxidable AISI 316L con un diámetro nominal de 8".	U	55,67

Materias Primas.		
Nombre	Cantidad anual	Precio (€/Kg o l)
Acido Sulfúrico	9,45.10 ⁷ Kg/año	0,134
Ca(OH) ₂	2,75.10 ⁵ Kg/año	0,132
CaCl ₂	2,01.10 ⁵ Kg/año	0,224
NaClO	5,9.10 ³ Kg/año	0,210

3. Precios Descompuestos:

Emisario de Entrada a Planta.					
Código	Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
EC-1X	1	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno de grava en asiento de tubería y torre de toma en cotas inferiores a la $\pm 0,00$ m, incluso colocación.	M ³	391	391
EC-2X	1	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno en zanjas con productos resultantes de la excavación en cotas superiores a la $\pm 0,00$ m.	M ³	8.484	8.484
EC-3X	1	Suministro e instalación de metros cúbicos de relleno en zanjas con productos resultantes del dragado en cotas inferiores a la $\pm 0,00$ m.	M ³	9.350	9.350
EC-4T	1	Suministro e instalación de metros lineal de tubería de Polietileno (PE) de diámetro 1600 mm y espesor de 50 mm, incluso juntas y conexiones a cántara de captación y torre de toma.	L	815,93	815,93
EC-5T	1	Suministro e instalación de unidad de conexión entre toma y torre de entrada.	U	450	450
EC-6T	1	Suministro e instalación de la unidad de torre de toma, de las dimensiones indicadas en los planos, incluso muerto de anclaje y fijación, y parte proporcional de	L	254	254

		bridas y tornillos para su unión con tuberías.			
EC-7C	1	Suministro e instalación de toneladas de escollera de ≈ 200 Kg de peso en protección de torre de toma.	M ³	644	644
EC-8L	14	Suministro e instalación de unidad de lastre de hormigón armado con malla electro soldada de gran resistencia.	U	100	1400
EC-9B	1	Suministro e instalación de la unidad de boya de 2000 mm de diámetro, con destellador, completamente instalada, incluyendo macizo de anclaje, cadena de amarre totalmente colocada.	U	1785	1785
TOTAL DE LA PARTIDA:					23573,93

Cántara de Captación y Bombeo del Agua de Alimentación.					
Código	Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
CB-1	1	Suministro e instalación, metros cúbicos de hormigón de resistencia características, incluyendo encofrado para el diseño de la cántara de captación de medidas de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho.	M ³	350	350

CB-2	1	Suministro e instalación, metros cuadrados de rejilla de acero galvanizado, como medida de seguridad previa a la entrada de agua, totalmente colocada e instalada.	U	150	150
CB-3	9	Suministro e instalación, bombas de captación las cuales pertenecen a la empresa GOULDS PUMP, modelo VHS 10x10-26, centrífuga vertical, para impulsión de agua de mar.	U	18.758	168.822
CB-4	9	Suministro e instalación, metro lineal de tubo de PVC 8", cuya misión es proteger a la tubería de impulsión de la bomba de posibles movimientos del terreno.	L	611,95	5.5075,55
CB-4	9	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68	41.181,12
CB-4	9	Suministro e Instalación de transmisor de presión, suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc, clase 150.	U	375,69	3.381,21
CB-5	40	Suministro e instalación, metro lineal de tubo de PVC, diámetro nominal de 250 mm y espesor 4,9 mm, instalación y	L	21,20	848

suministro.					
CB-6	18	Suministro e instalación, unidades de accesorios, codos y bridas suministradas por grupo comercial Samen, constituidos de PVC, diámetro nominal de 250 mm y espesor de 4,9 mm.	U	5,6	100,8
CB-7	9	Suministro e instalación, unidades de medidor de pH suministrados por la empresa Hamilton, modelo Polyplast.	U	450	4050
CB-8	9	Suministro e instalación, unidades de medidor de turbidez suministrada por la empresa Rosemount, modelo turbidimeter.	U	1.670	15.030
TOTAL DE LA PARTIDA:					120.335,50

Instalación de acidificación agua de alimentación.					
Código	NºUnidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
AC-1	2	Suministro e instalación, metros cuadrados de Acero SA-316, fabricación, instalación de tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico; de 2,5 m de diámetro y una altura de 3,75 m.	U	6750	13.500
AC-2	43,5	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de acero SA-316, para conducción y distribución del ácido a las	L	33,5	1.457,25

		tuberías de entrada, diámetro nominal de 10".			
AC-3	2	Suministro e Instalación de las bombas dosificadoras de ácido suministradas por la empresa, Grundofs de México S.A. modelo CRN-5	U	4576,35	9.152,7
AC-4	135	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 500 mm.	L	92,88	12.528
AC-5	45	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 250 mm.	L	21,20	954
AC-6	9	Suministro e instalación de reducción de paso de 500 mm a 200 mm, con una contracción gradual bridada suministrada por la empresa Hawle, Inc DN 500-250.	U	57,8	520,2
AC-7	9	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m ³ /h.	U	125,37	1.128,33
AC-8	9	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes	U	900	8.100

		a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0- 200.000 μ S/cm			
AC-9	9	Suministro e instalación de termorresistencias, Omega Instruments modelo TX92-1 con rango -40/49°C, y precisión 0,089°C.	U	135	1.215
AC-9	18	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	7,8	140,4
AC-10	9	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68	41.181,12
TOTAL DE LA PARTIDA:					89.877

Instalación Filtración Grosera.					
Código	NºUnidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
FG-1	9	Suministro e instalación de Corresponde al Modelo PS 445 con un área de Filtración de 44,4 ft ² \approx 4,14 m ² , empresa suministradora " <i>FRESNO Valves &Castings, Inc</i> ".	U	27.875	250.875

FG-2	9	Suministro e instalación de la arena grosera para la filtración grosera, suministrada por “ <i>FRESNO Valves & Castings, Inc</i> ”.	Kg	3,5	31,5
FG-3	9	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m ³ /h.	U	125,37	1.128,33
FG-4	9	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0-200.000 µS/cm.	U	900	8.100
FG-5	10	Suministro e instalación de bombas, suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255).	U	4570,86	45.708,6
FG-6	36	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	3,6	129,6
TOTAL DE LA PARTIDA:					305.973,03

Instalación de Micro-filtración.

Código	NºUnidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
MF-1	10	Suministro e instalación de filtro suministrado por la empresa Tekleen, Automatic Filtres, Inc., modelo ABW16-LP.	U	39.970	399.700
MF-2	18	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	7,8	140,4
MF-3	36	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial.	U	3,6	129,6
MF-4	9	Suministro e instalación de venteos, pertenecen a la empresa Hawle, Inc, con presión máxima de 10 bar don un flujo máximo de aire que puede eliminar de 8 m ³ /h.	U	125,37	1.128,33
MF-5	9	Suministro e instalación de conductímetros pertenecientes a la empresa Hamilton Conducell 2Up con rango 1,0-200.000 µS/cm.	U	900	8.100
MF-6	10	Suministro e instalación de bombas, suministradas por la empresa JOHNSON PUMP Modelo CombiNorm, Bomba Centrifuga horizontal	U	4570,86	45.708,6

		conforme a EN 773 (DIN 24255).			
MF-7	9	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 500 mm.	L	92,88	835,92
MF-8	9	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de PVC, para conducción y distribución del agua acidificada, diámetro nominal de 250 mm.	U	21,20	190,8
MF-9	9	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68	41.181,12
TOTAL DE LA PARTIDA:					497.114,77

Instalación desinfección por Ultravioletas (UV)					
Código	NºUnidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
UV-1	324	Suministro e instalación de lámparas de UV suministradas por la empresa Excel Water Technologies, modelo SUV 800P High Flor.	U	1.324	428.976

UV-2	648	Suministro e instalación, metros lineales de tuberías de acero SA-316, para conducción y distribución agua para su desinfección, diámetro nominal de 250 mm.	U	33,5	21.708
UV-3	9	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68	41.181,12
UV-4	18	Suministro e Instalación de uniones bridadas de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	U	55,75	1.003,5
UV-4	18	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	U	35,76	643,68
UV-5	9	Suministro e instalación bombas de impulsión, de la empresa JOHNSON PUMP Modelo Combi-Norm “Bomba Centrifuga horizontal conforme a EN 773 (DIN 24255)”.	U	4570,86	41.137,74

UV-6	9	Suministro e instalación, canal de hormigón y fabricación del los mismo.	U	92,88	835,92
TOTAL DE LA PARTIDA:					535.485,96

Instalación de Osmosis Inversa (Bastidores)					
Código	NºUnidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
MOI-1	660	Suministro e instalación de las membranas de osmosis inversa, suministradas por la Empresa Hydranautics, perteneciente a la compañía Nitto Denko, del modelo SCW3+ Hydranautics, tamaño nominal de 8" Arrollamiento en Espiral. Tubos de presión de 7 metros de longitud.	U	975	643.500
MOI-11	846	Suministro e instalación de los tubos de presión de 7m de longitud, diseñados para contener 7 tubos de membranas, suministrados por Hydranautics.	U	5.600	4.737.600
MOI-2	9	Suministro e instalación, del sistema de distribución y conexiones suministrado por la empresa Victaulic Inc, correspondiente a los distintos bastidores de la	U	1.500	13.500

		instalación, con 94 tubos de presión, fabricados de acero AISI-316.			
MOI-3	18	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68	82.362,24
MOI-4	32	Suministro e Instalación de uniones codos de 90 ° de diámetro nominal 250 mm e 500 mm, suministrados por la empresa Samen Comercial. Fabricadas en acero inoxidable SA-316.	U	35,76	1.144,32
MOI-5	10	Suministro e instalación de las bombas-recuperador de energía, suministrada por la empresa Sulzer Pumps, capaz de suministrar una presión de 60 bares y una recuperación del 95%.	U	150.000	1.500.000
MOI-6	18	Suministro e instalación de válvulas de retención y transmisores de presión a cada lado de las bombas, pertenecientes a la empresa Dewrance modelo F67.	U	3.500	63.000
MOI-7	1692	Suministro e instalación de sensores de presión	U	4.798	8.118.216

		colocados a la entrada y salida de cada tubo de presión de 7m de longitud, suministrado por la empresa Omega Instruments, Modelo PX4200-2KGL, con rangos de medida 0-1500 psi y exactitud de 2,5 psi(+/- 0,175 bar).			
TOTAL DE LA PARTIDA:					15.159.322,56

Emisario de Salida					
Código	NºUnidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
ES-1	1	Suministro e instalación de metros lineal de tubería de Polietileno (PE) de diámetro 1600 mm y espesor de 50 mm, longitud de 2500 m.	L	815,93	2.039.825
ES-2	1	Unidad de lastre de hormigón armado con malla electro soldada de gran resistencia.	U	100	1000
ES-3	1	Suministro e instalación, unidad de boya de 2000 mm de diámetro, con destellador, completamente instalada, incluyendo macizo de anclaje, cadena de amarre totalmente colocada.	U	1.785	1.785

ES-4	20	Suministro e instalación de 20 difusores separados 10 m entre ellos, que facilitan la rápida dilución de la salmuera en el medio marino.	U	2.367	47.340
ES-5	1	Suministro e instalación de las bombas de evacuación de salmuera al emisario, suministrado por Goulds Pumps “Vertical Turbina Pumps”, Modelo VIT-FF. Capacidad 65,000 GPM \approx 14763 m ³ /h.	U	14.900	14.900
TOTAL DE LA PARTIDA:					2.104.850

Cántara de Salida y Bombeo del Agua de Rechazo.					
Código	Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
CBS-1	1	Suministro e instalación, metros cúbicos de hormigón de resistencia características, incluyendo encofrado para el diseño de la cántara de captación de medidas de 8,64 m de alto, 50 m de largo y 25 m de ancho.	M ³	350	350
CBS-2	1	Suministro e instalación, metros cuadrados de rejilla de acero galvanizado, como medida de seguridad previa a la entrada de agua, totalmente colocada e instalada.	M ²	150	150

CBS-4	1	Suministro e Instalación de caudalímetros suministrado por la empresa BadgerMeter, Inc. Modelo Magnetoflow Mag Meter 7500P Meter, con electrodos en AISI 316L o platino/rodio, clase 150.	U	4.575,68	4.575,68
TOTAL DE LA PARTIDA:					5.075,68
Instalación sistema de Limpieza.					
Código	Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio €	Importe €
LO-1	1	Suministro e instalación de cuba de preparación de la solución, con un volumen de 0,35 m ³ .	U	6.253	6.253
LO-2	1	Suministro e instalación de la bomba suministradora de la dilución limpiadora, por la empresa Grundofs de México S.A. modelo CRN-5.	U	4.576,35	4.576,35
LO-3	1	Suministro e instalación, tuberías de acero inoxidable AISI 316L con un diámetro nominal de 8".	U	55,67	55,67
TOTAL DE LA PARTIDA:					10.885,02

Materias Primas.			
Nombre	Cantidad anual	Precio (€/Kg o l)	Importe €
Acido Sulfúrico	$9,45 \cdot 10^7$ Kg/año	0,134	12.663.000
Ca(OH) ₂	$2,75 \cdot 10^5$ Kg/año	0,132	36.300
CaCl ₂	$2,01 \cdot 10^5$ Kg/año	0,224	45.024
NaClO	$5,9 \cdot 10^3$ Kg/año	0,210	1239
TOTAL DE LA PARTIDA:			12.745.563

4. Presupuesto:

PRESUPUESTO		
Nº	RESUMEN	IMPORTE €
1	Emisario de Entrada a Planta.	23.573,93
2	Cántara de Captación y Bombeo del Agua de Alimentación.	120.335,50
3	Instalación de acidificación agua de alimentación.	89.877
4	Instalación Filtración Grosera.	305.973,03
5	Instalación de Micro-filtración.	497.114,77
6	Instalación desinfección por Ultravioletas (UV).	535.485,96
7	Instalación de Osmosis Inversa (Bastidores).	15.159.322,56
8	Emisario de Salida.	2.104.850
9	Cántara de Salida y Bombeo del Agua de Rechazo.	5.075,68
10	Instalación sistema de Limpieza.	10.885,02
11	Materias Primas.	12.745.563
12	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	33.011.934,13
12	INGENIERIA DE PROYECTO Y DIRECCIÓN DE OBRA (6%)	1.980.716,04
13	I.V.A. (16%)	5.281.909,46
14	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	38.860.681,95

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de TREINTA Y OCHO MILLONES OCHOCIENTOS SESENTA MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y UNO CON NOVENTA Y CINCO EUROS.

13. ESTUDIO ECONÓMICO.

El objetivo del estudio económico que se realiza a continuación, es evaluar la rentabilidad de la instalación, para lo que es necesario evaluar distintas variables económicas tales como, el tiempo de retorno de la inversión inicial en años y el beneficio a lo largo de los años, una vez que se supera el periodo de amortización.

Para la realización del estudio económico es necesario el conocimiento de algunos datos económicos importantes de la instalación, tales como:

- Coste total de inversión.
- Coste de mantenimiento.
- Ingresos por las ventas del producto en el mercado.
- Nivel de volumen de ventas.
- Coste de producción.
- Coste de operación
- Etc.

Estudio Económico		
1	Inversión Total.	38.860.681,95 €
2	Producto de interés.	35478000 m ³ /año.
3	Coste producción.	0,649 €/m ³ .
4	Precio de venta.	0,846 €/m ³ .
5	Ingresos.	30.014.388 €/año.
6	Coste anual operación.	23.025.222 €/año.
7	Ganancia bruta.	6.989.166 €/año.
8	Impuestos (45%).	2.795.666,4 €/año.
9	Ganancia Neta.	8.079.567,79 €/año.
10	Retorno Inversión.	20,79 %
11	Tiempo de Pago	4,8 años.

El tiempo necesario de amortización del capital invertido en la instalación desaladora de agua de mar para el campo de Dalías, en la provincia de Almería es de 4,8 años. A partir del cual se empezara a tener un beneficio anual de 30.014.388 €/año, con una ganancia neta de 8.079.567,79 €/año.

14.

BIBLIOGRAFÍA.

- Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones. Autor: Manuel Fariñas Iglesias. Editorial McGraw-Hill (1999).
- Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa. Autor: José Antonio Medina San Juan. Editorial: Ediciones Mundi-Prensa (MP) (2000).
- Boletín Oficial del Estado (BOE) del 14 de Julio de 2006, (14/7/2006). Desalación y obras complementarias para el campo de Dalías (Almería).
- Vertidos y calidad ambiental de las aguas: regulación jurídico-administrativa. Autor: Antonio Fortes Martín. Editorial: Atelier 2005.
- Ensuciamiento de membranas en plantas de osmosis inversa. Autor: P. Susial. Editorial: Soriano.
- Reverse Osmosis Membranes. Technical Manual. Editorial: Dow Chemical Company (2004).
- Manual del Ingeniero Químico, Autores: Perry. Editorial: McGraw-Hill, Inc (1992).
- Manual de Cálculos de Ingeniería Química. Editorial: McGraw-Hill (1986).
- Pump Handbokk, Autores: I.J.Karasik, J.P.Messina, P.Cooper, C.C.Heald. Editorial: McGraw-Hill (2001).
- Handbook of industrial membrane technology. Autor: Mark C. Porter. Editorial: Noyes Publications (1990).
- Diseño de tuberías para plantas de procesos. Versión española. Autor: Juan Pérez Peces. Editorial: Blume 1979. (Madrid).
- Redes Industriales de tuberías, bombas para agua, ventiladores y compresores: diseño de construcción. Autor: Antoni Luszczewski. Editorial: Reverté, 2004.
- Selección de Bombas. Sistemas y aplicaciones. Autores: R.H. Warring, Traducción: Ramón Berga Rosell, Alberto Oliart Furellat... Editorial: Labor 1977.
- Handbook of water and waster treatment Technologies. Autor: N.P. Cheremisinoff. Editorial: Butterworth-Heinemann (2002).
- Tubos de Polietileno (PE) de gran diámetro para emisarios submarinos. Publicación: Tecnología del Agua 2006, volumen 26, numero 270, pagina 76.

- Evolución global de la capacidad instaladora de plantas desaladoras. Autor: Francisco Urrutia Gonzalez. Construcciones Especiales Y Dragados, S.A. Publicación: Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDYR), nº 1 Marzo 2001, pagina 2.
- Limpieza Bacteriológica de membranas de O.I. para aguas de mar, solamente con permeado. Autor: Cesar Catañeyra Medina, Consorcio de Abastecimiento de aguas de Fuerteventura. Publicación: Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDYR), nº 2 Junio 2001, pagina 4.
- Ensuciamiento y deterioro de las membranas. Autor: Juan M^a Sanchez Sanchez, Director Técnico de INIMA. Publicación: Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDYR), nº 2 Junio 2001, pagina 9.
- Nuevos Sistemas de desalación con recuperador de presión. Autor: Leif Diablos. Publicación: Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDYR), nº 6 Junio 2002, pagina 6.
- Análisis de los Motores eléctricos de las plantas desaladoras de agua de mar mediante ósmosis inversa. Autor: José Jaime Sadhwani Alonso y Fabián Déniz Quintana Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDYR), nº 6 Agosto 2003, pagina 11.
- El qué, por qué y cómo de la desalación. Autor: J.L. Sánchez Toribio. Publicación: Química e Industria, Junio 1998, pag 370.
- Diseño modular para grandes desaladoras por ósmosis inversa. Posibilidades técnicas y económicas. Autor: B. Blanco Mayo. Publicación: Ingeniería Química Junio 2006, pagina 179.
- Diseño de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa. Autores: M. Tena marcos, F. Estrany Codas y R. Oliver Pujol. Publicación: Ingeniería Química Abril 2003, pagina 193.
- Chemical treatments. Control of calcium fluoride scaling in industrial water systems. Autor: Z. Amjad, R. W. Zuhl. Editorial Ultrapure Water, Noviembre (2000).

