

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES



PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA QUÍMICA.PLAN 1999

**PLANTA DE DESALACIÓN DE AGUA DE MAR
MEDIANTE DESTILACIÓN POR MEMBRANAS**

AUTORA:

IRENE MÉNDEZ SÁNCHEZ

DIRECTORES:

JOSÉ ANTONIO SÁNCHEZ PÉREZ

GUILLERMO ZARAGOZA DEL ÁGUILA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

JUNIO 2014

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA Y ANEJOS

RESUMEN.....1

MEMORIA JUSTIFICATIVA.....3

MEMORIA DESCRIPTIVA.....19

ANEXOS:

ANEXO Nº 1. DIMENSIONADO MÓDULOS MD.....36

ANEXO Nº 2. DISEÑO INSTALACIÓN ENERGÍA SOLAR.....43

ANEXO Nº 3. DISEÑO DEPÓSITOS.....61

ANEXO Nº 4. INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS.....74

ANEXO Nº 5. SISTEMA DE INTERCAMBIO Y FILTRADO.....94

DOCUMENTO Nº 2: PLIEGO DE CONDICIONES.....106

DOCUMENTO Nº 3: PRESUPUESTO.....145

DOCUMENTO Nº 4: PLANOS.....152

PLANO Nº 01: PLANTA DE DESALACIÓN

PLANO Nº 02: DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS

BIBLIOGRAFÍA.....153

RESUMEN

RESUMEN

El hecho de que la falta de agua potable en zonas de sequías a menudo corresponda con las zonas donde hay mayor radiación solar, hace que el uso de la técnica de desalación acoplada con el uso de la energía solar, sea especialmente útil. Y además, teniendo en cuenta los beneficios medioambientales que producen las energías renovables, ya que no produce daños considerables al medioambiente, disminuyendo así el uso de combustibles fósiles y la contaminación.

Por tanto, en este proyecto se va a utilizar la técnica de desalación mediante destilación por membranas acoplado a un campo solar.

La instalación constará de dos circuitos:

El circuito primario es donde tiene lugar la captación de la energía solar mediante paneles solares, donde circula el agua que se calienta gracias a la radiación. La superficie total de los paneles solares será de 89 m^2 ; los paneles estarán orientados para maximizar la cantidad de energía recogida (este-oeste) con una inclinación de 37° sobre la horizontal. Este fluido será el encargado de aportar el calor a los módulos.

El circuito secundario es donde tiene lugar el proceso de desalinización del agua de mar mediante los módulos MD (abreviatura de las siglas en inglés Membrane Distillation), la instalación constará de 14 módulos con un área de 10 m^2 cada uno.

Esta instalación operará durante las horas de sol, con una producción de agua dulce de $3,33 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$.

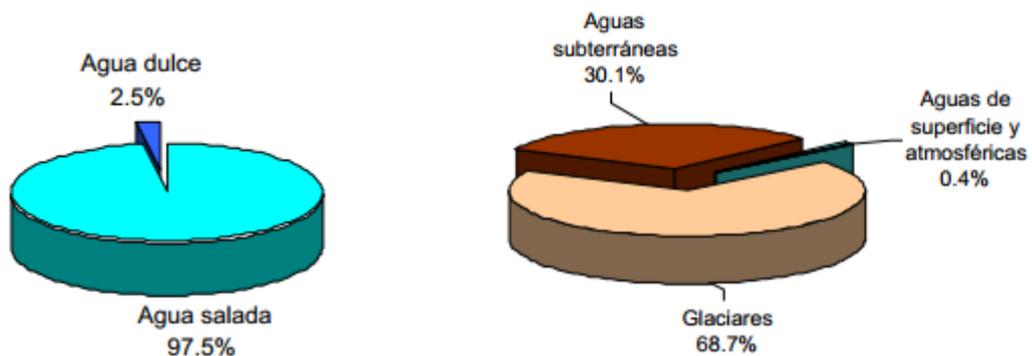
MEMORIA JUSTIFICATIVA

1. ANTECEDENTES.....	4
1.1 Importancia del agua.....	4
1.2 Historia de la desalación.....	5
1.3 Características del agua a desalar.....	7
2. TÉCNICAS DE DESALACIÓN.....	9
2.1 Proceso de desalación.....	9
2.2 Principales técnicas de desalación.....	10
2.2.1 Técnicas basadas en el cambio de fase.....	10
2.2.2 Técnicas basadas en la filtración.....	14
2.2.3 Técnicas basadas en el enlace químico.....	15
3. OBJETIVO.....	16
4. JUSTIFICACIÓN.....	16

1. ANTECEDENTES

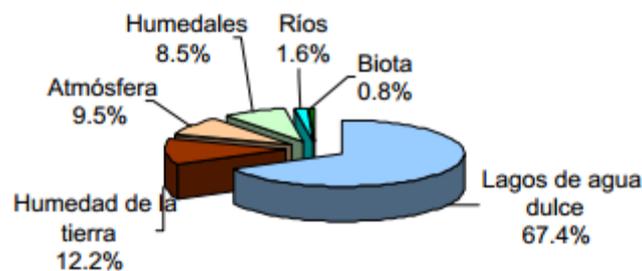
1.1 Importancia del agua

El agua es el elemento más abundante en la naturaleza y en la actualidad, la disponibilidad y calidad del agua dulce es uno de los principales problemas. Alrededor del 70% de la superficie terrestre está cubierta de agua, pero sólo un 2,5% corresponde a agua dulce, mientras que el resto es agua salada; haciendo que no sirva para usos agrícolas, industriales o humanos. Cerca del 70% de esa agua se encuentra congelada, el 30% es agua subterránea a gran profundidad y sólo el 0,3 % representa el agua dulce de ríos y lagos.



a) Distribución Agua total de la Tierra

b) Distribución agua dulce



c) Distribución de aguas superficiales y atmosféricas

Figura 1. Distribución del agua existente

Además de ser el elemento más abundante, el agua es imprescindible para el desarrollo de la vida así como para numerosas actividades humanas, y es el mayor constituyente de los mismos. Así, en el conjunto de los seres vivos, el agua constituye aproximadamente el 80 % de sus componentes.

Otro aspecto importante a considerar dentro de la distribución de los recursos hídricos, es que es muy heterogénea y no todos están disponibles, ni tienen la calidad necesaria. Existiendo regiones del mundo que están ampliamente dotadas, mientras otras zonas están sometidas a sequías.

Dado que los recursos hídricos son limitados, las tecnologías basadas en la desalinización del agua de mar pueden paliar de alguna forma la demanda de agua existente actualmente.

Por tanto una solución a este problema, además de la mejora en la gestión de los recursos tradicionales es la desalación, debida a la gran disponibilidad del agua de mar.

1.2 Historia de la desalación

El intento del hombre por desalar agua remonta a los tiempos donde ya los barcos utilizaban la desalación del agua de mar para obtener agua potable durante las travesías, evaporándola y después condensando el vapor.

Las primeras instalaciones desaladoras se construyen a principios de los años 50. Los precios bajos de los combustibles fósiles marcan la tendencia en el desarrollo de estas plantas, todas ellas de evaporación. Siendo instalaciones de gran consumo de energía aunque baratas en primera instalación.

Tras la crisis del petróleo en 1973, se produce un fenómeno muy interesante. El incremento del precio de los combustibles provoca por un parte una mejora de la economía de los países y por otra, obliga a optimizar el diseño de los evaporadores para obtener mejores rendimientos y abaratar el agua.

Los avances del diseño permiten contrarrestar la subida del precio de los combustibles, al rebajar el consumo específico, haciendo que pueda extenderse la desalación a otras zonas carentes de recursos energéticos. Tal es el caso de España e Italia entre otros.

Hasta principios de los años 60, la mayoría de las plantas eran del sistema de evaporación flash multi-etapa (MSF) y algunas de multi-efecto (ME). Ambos procesos procedentes de los destiladores que se instalaban en los barcos.

A principio de los años 70 se fueron incorporando nuevas técnicas que abarataban y facilitaban la desalación, una de ellas que se comenzó a estudiar como alternativa a la desalación por evaporación fue el uso de membranas, ya que el mundo científico tenía sus hipótesis en las propiedades osmóticas de las paredes celulares. El proceso consiste en crear una presión en el agua a tratar que supere la presión osmótica de la disolución, esto separa las sales del disolvente, por lo que se puede hacer la separación y establecer un flujo a través de la membrana, que retendrá las sales. Fue a partir de este hecho que Japón y Estados Unidos comenzaron a diseñar membranas con fines industriales, siendo la década de 80 cuando las plantas desalinizadoras comenzaron a emplear la ósmosis inversa en el proceso de desalación.

1.3 Características del agua a desalar

Para producir agua salada pueden considerarse dos orígenes: agua de mar y aguas salobres.

- Agua de mar

La composición del agua de mar varía según su origen o según las características marinas, teniendo mayor concentración de sales en lugares cálidos con poca renovación como en el Mediterráneo y menor en lugares semi-cerrados con abundantes aportes continentales como el mar Báltico.

En la tabla siguiente se muestran las concentraciones de los constituyentes químicos mayoritarios del agua marina, comprobándose que se trata de una solución con una gran cantidad de sales disueltas, pero muy pobre en nutrientes (nitrógeno, fósforo y carbono).

Tabla 1. Características agua de mar

Parámetro	Intervalo
Temperatura ,°C	15-30
pH	7,9-8,1
Sales disueltas, mg/L	30000-45000
Conductividad, $\mu S/cm$	44000-58000
Bicarbonatos, mg/L	120-170
Sulfatos, mg/L	2425-3000
Cloruros, mg/L	17500-21000
Bromuros, mg/L	59-120
Nitratos, mg/L	0,001-4,0
Fluoruros, mg/L	1
Boro, mg/L	4-6
Amonio, mg/L	0,005-0,05

Sodio, mg/L	9600-11700
Potasio, mg/L	350-500
Calcio, mg/L	375-525
Magnesio, mg/L	1025-1400
Sílice, mg/L	0,017-7,4
Carbono orgánico total, mg/L	1,2-3,0
Nitrógeno orgánico, mg/L	0,005-0,03

Los contaminantes que pueden acceder al medio marino con mayor facilidad son los siguientes:

- Hidrocarburos (barcos, plataformas petrolíferas...)
- Materia orgánica, sustancias tensioactivas (detergentes)
- Metales pesados (aguas residuales, drenaje natural...)
- Sustancias sólidas (basuras, escombros...)
- Compuestos organohalogenados (plaguicidas, plásticos...)

Las captaciones de agua salada para las plantas desaladoras están en la franja litoral o costera que con diferencia, es la que soporta la mayor parte de la contaminación marina. Por tanto al elegir el emplazamiento de la instalación hay que tener presente su calidad y los riesgos de contaminación presente en la zona.

- Aguas salobres

Se considera que el agua es salobre cuando su concentración de sales disueltas se encuentra en el intervalo de 1-10 gr/L. Aunque el agua salobre puede ser de origen superficial, generalmente procede de acuíferos costeros en contacto directo con el mar.

Las aguas salobres de procedencia subterránea tienen una elevada carga de sales minerales. Adicionalmente, puede tener elementos, como hierro, manganeso, etc.

Las aguas salobres superficiales, pueden presentar mayor cantidad de sólidos en suspensión, materia orgánica, algas, flora bacteriana variada, etc. Generalmente su composición química es más variable con el tiempo, lo que representa una dificultad añadida a la hora de la desalación.

2. TÉCNICAS DE DESALACIÓN

2.1 Proceso de desalación

Un sistema de desalación se puede definir de forma general como un proceso de separación, en el que se introduce una corriente de alimentación salina en la unidad separadora, dando lugar a dos corrientes de salida, como mínimo. Estas dos corrientes son las denominadas de producto, constituida por agua con baja salinidad, y la de rechazo o salmuera, con el concentrado restante. El proceso de separación requiere de la necesaria aportación de una determinada energía de separación.

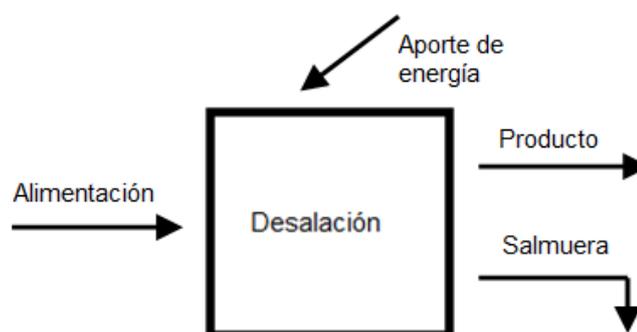


Figura 2. Proceso desalación

2.2 Principales técnicas de desalación

Las principales técnicas de desalación las podemos clasificar en tres grandes grupos según el principio que se aplica.

Tabla 2. Diferentes técnicas de desalación

CAMBIO DE FASE	Evaporación súbita multi-etapa (MSF)
	Evaporación multi-efecto (ME)
	Compresión de vapor (CV)
	Destilación solar
	Congelación
FILTRACIÓN	Ósmosis inversa (OI)
	Electrodialisis (ED)
ENLACE QUÍMICO	Intercambio iónico (IO)

2.2.1 Técnicas basadas en el cambio de fase

- Evaporación flash multi-etapa (MSF)

El agua de mar se calienta en un “calentador de salmuera” y pasa a otra etapa, donde la baja presión que hay, hace que el agua hierva inmediatamente (flash). Sólo un pequeño porcentaje de agua se evapora, de forma que la producción de la planta se logra mediante la operación de sucesivas etapas que opera a presiones y temperaturas que se van reduciendo progresivamente.

El vapor producido se condensa sobre tubos de intercambiador de calor que atraviesan cada etapa, obteniendo el agua dulce.

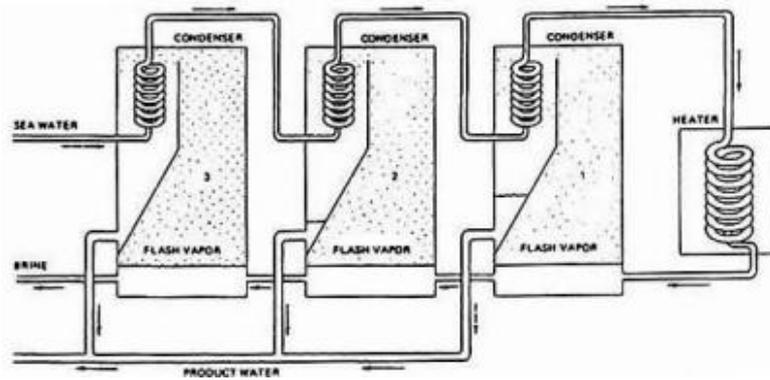


Figura 3. Esquema destilación MSF

- Evaporación multiefecto (ME)

Este proceso consiste en evaporar etapas sucesivas. Así la primera etapa es alimentada con vapor externo y en el resto de las etapas se va utilizando el calor de condensación del vapor producido en la etapa anterior. De esta forma, se va elevando la temperatura del agua de mar hasta la temperatura del vapor de alimentación. Simultáneamente, el condensado va perdiendo temperatura hasta igualar, en la salida del proceso, al agua de mar.

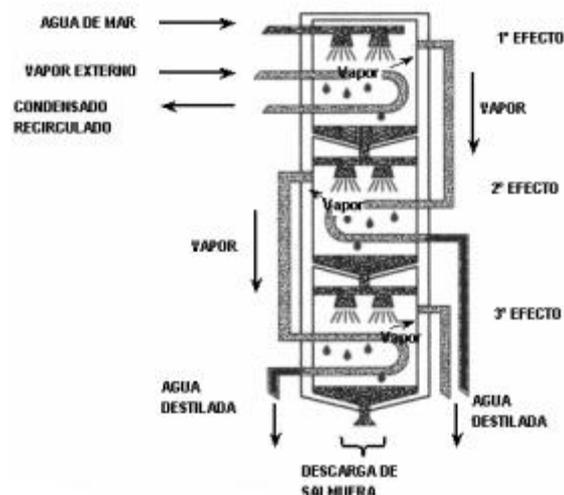


Figura 4. Esquema ME

- Compresión de vapor (CV)

La compresión térmica de vapor, obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto, pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos o termocompresores; encargados de aumentar la temperatura de condensación de vapores.

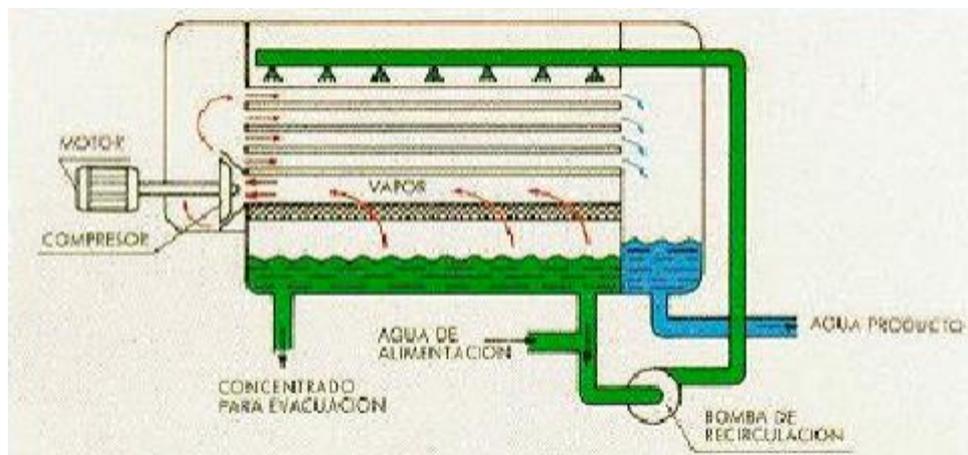


Figura 5. Esquema destilación CV

- Destilación solar

El principio básico es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara a través de un cristal transparente, donde se encuentra el agua salada. 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.

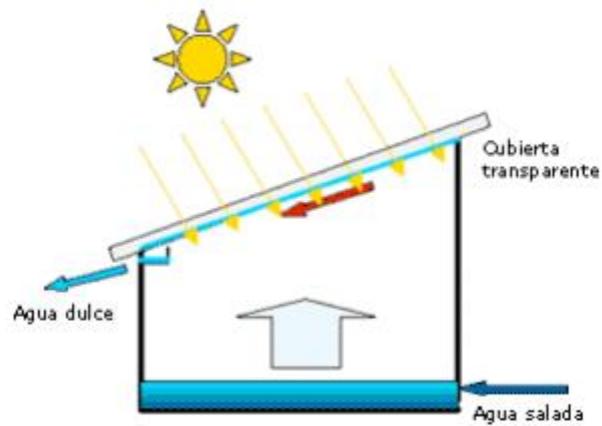


Figura 6. Esquema destilación solar

- Congelación

Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para fundirlos y obtener un agua dulce independientemente de la concentración del agua inicial.

Proceso sencillo aparentemente pero con problemas para su implantación a escala industrial

2.2.2 Técnicas basadas en la filtración

- Ósmosis inversa (OI)

El proceso de ósmosis, es un proceso natural por el cual dos soluciones de distinta concentración puestas en contacto a través de una membrana semipermeable tienen a igualar sus concentraciones, debido a la tendencia de alcanzar el equilibrio. Para ello la más diluida pasará hacia la más concentrada hasta que la presión ejercida por la columna de disolución de más

concentración iguala la presión que hace al disolvente pasar hacia la dilución. Esta presión es la denominada presión osmótica. Si invertimos el proceso aplicando una presión superior a la osmótica, la solución más concentrada pasará a la más diluida. Este proceso es el que se conoce como ósmosis inversa.

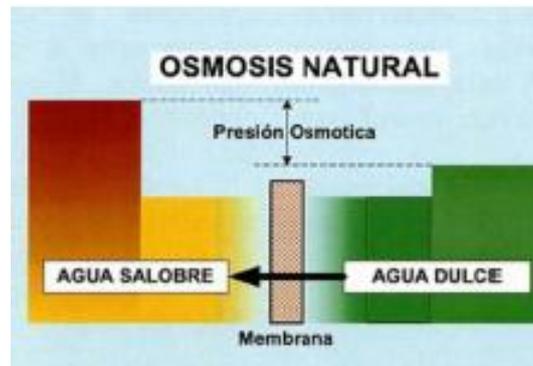


Figura 7. Ósmosis inversa

- Electrodiálisis (ED)

El proceso consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por el agua salada contenida en una cuba, siendo el efecto dividir las moléculas de las sales en iones positivos que son atraídos por un cátodo y en iones negativos que se dirigen hacia un ánodo.

Prácticamente se divide la cuba en tres, por dos membranas verticales, una de las cuales es permeable a los iones negativos y la otra a los positivos, el agua del compartimento central quedará desalada.

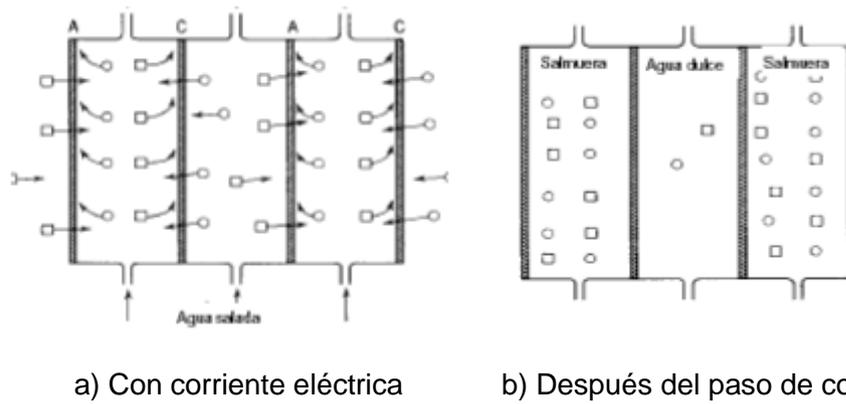


Figura 8. Esquema ED

2.2.3 Técnicas basadas en el enlace químico

- Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso que separa sales y se basa en las propiedades que presentan ciertas sustancias sólidas insolubles (resinas) que son capaces de intercambiar aniones o cationes cuando se ponen en contacto con un electrolito. Las resinas liberarán iones H^+ y OH^- y fijarán los iones de electrolito.

3. OBJETIVO

El objetivo del proyecto es diseñar una planta de desalación de agua de mar por destilación con membranas, con una producción de agua dulce al día de $3,33 \text{ m}^3$.

El sistema está diseñado para suministrar agua potable de alta calidad en áreas costeras con escasas infraestructuras, ya que a menudo la falta de agua en estas zonas corresponde a un alto índice de radiación solar, por lo que la destilación mediante esta técnica estará acoplada con el uso de energía renovable.

4. JUSTIFICACIÓN

Aunque la falta de agua dulce es un problema global, las áreas más afectadas son aquellas regiones con los niveles más altos de radiación solar anual. Por tanto lo que se persigue es el uso de la energía solar para el ahorro en la producción de agua dulce. Teniendo en cuenta que en muchas de las zonas afectadas existen poblaciones dispersas que requieren una producción media-baja descentralizada, hace que se desarrollen otras tecnologías de una producción a escala inferior a las nombradas anteriormente y que utilice la energía solar para ahorrar costes.

Por tanto, basándonos en esto vamos a tener en cuenta el uso de la destilación por membranas. Este es un proceso que combina las ventajas de la destilación térmica con las de la filtración por membranas.

- Ventajas de la destilación por membranas:
 - La principal ventaja es su simplicidad y el hecho de que se opera con pequeños diferenciales térmicos.
 - La alimentación no requiere de un pre-tratamiento tan fuerte como el requerido en la ósmosis inversa.
 - Este proceso puede ofrecer un rechazo de casi el 100% de los constituyentes no volátiles en la alimentación. Por tanto la producción obtenida es de gran calidad.
 - Opera a menor presión que otras técnicas que utilizan membranas. También las temperaturas de trabajo son inferiores que las de otros procesos convencionales, ya que no es necesario calentar el líquido por encima de su punto de ebullición.
 - La temperatura de la alimentación normalmente está en el rango de 60-90°C , por lo que permite el uso eficiente de fuentes externas de calor como es la energía solar.
 - Tiene la capacidad de tratar soluciones con un alto contenido en sales o con determinados contaminantes que, por ejemplo, la ósmosis inversa no es capaz de eliminar.
 - Este proceso puede funcionar de manera intermitente, al contrario que la OI, donde las membranas pueden dañarse.
 - Las membranas son resistentes al ensuciamiento y a las incrustaciones. Y los poros de las membranas (0,2 μm) no son tan pequeños como los de OI (0,1-3,5 nm) que se obturan fácilmente.

Por el contrario, a pesar de sus ventajas, la mayor parte de las investigaciones se han llevado a cabo a escala de laboratorio, con resultados muy prometedores pero hay pocos resultados disponibles bajo condiciones totalmente reales.

Para su aplicación a nivel industrial, se necesitaría más experimentos con estos módulos y mayores tiempos de actuación.

También hay que tener en cuenta que la eficiencia energética disminuye principalmente por:

- El efecto de polarización debido a la temperatura y concentración.
- Las pérdidas de calor a través de la membrana
- La resistencia a la transferencia de materia.

Aunque esto tiene solución dependiendo del tipo de configuración de los módulos.

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. LOCALIZACIÓN.....	20
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.....	20
2.1 Diagrama de bloques.....	20
2.2 Descripción del proceso.....	21
3. DESCRIPCIÓN CIRCUITO PRIMARIO.....	22
3.1 Captadores solares.....	22
3.2 Captador solar utilizado.....	23
4. DESCRIPCIÓN CIRCUITO SECUNDARIO.....	24
4.1 Captación agua de mar.....	24
4.2 Módulos MD.....	26
4.2.1 Configuración de los módulos.....	26
4.2.2 Configuración de las membranas.....	28
4.2.3 Características de las membranas	30
4.2.4 Características módulo utilizado.....	32
4.3 Filtro de arena.....	34

1. LOCALIZACIÓN

La planta de desalación de agua de mar mediante destilación por membranas, se instalará en zonas costeras como es la provincia de Almería, donde coincide la escasez de agua con un alto índice de radiación solar, pudiendo hacer uso de energías renovables. Teniendo en cuenta que esta tiene un impacto positivo, no produce daños considerables al medioambiente, ya que se disminuye así el uso de combustibles fósiles.

La producción total diaria será de $3,33 \frac{m^3}{día}$, para suministrar agua potable a un conjunto de 5 o 6 viviendas de aproximadamente 20 personas. Esta planta funcionará durante el día, aprovechando la luz solar.

La información de cómo se encuentran distribuidos los diferentes elementos de la planta se exponen en el PLANO N° 01.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

2.1 Diagrama de bloques

A continuación se muestra el diagrama de bloques del proceso:

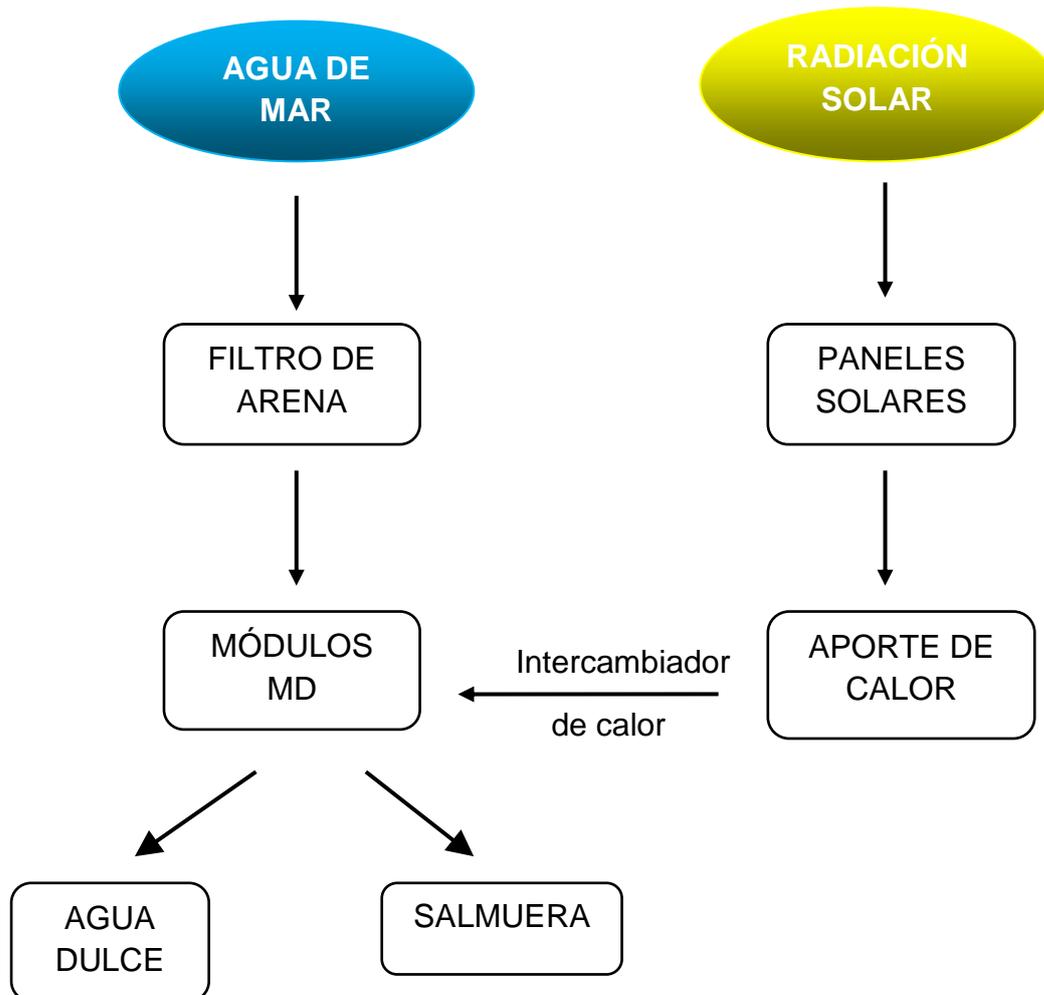


Diagrama 1. Diagrama de bloques

2.2 Descripción del proceso

En el proceso de desalación del agua de mar vamos a distinguir dos circuitos, el circuito primario donde tiene lugar la captación de la energía solar, y el circuito secundario donde tiene lugar el proceso de desalinización.

El proceso empieza con la captación de agua de mar, debido a las características de las membranas de estos módulos no es necesario un fuerte pre-tratamiento, pero se instalará un filtro de arena que se encargará de retener los contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Una vez el agua ha pasado por el filtro de arena, es bombeada hacia los módulos donde tiene lugar el proceso de destilación. El agua de mar entra a los módulos a una $T_{ci}^o=25$ °C, calentándose en el canal de condensado mediante la recuperación interna de calor hasta una $T_{co}^o=70$ °C, a esta temperatura sale de este canal y mediante aporte de calor externo, vuelve a ser recalentado hasta $T_{ei}^o=80$ °C, volviendo a entrar en el módulo y pasando a través del canal de evaporación(a contracorriente) donde el vapor pasa a través de la membrana y se condensa, obteniendo así el agua producto, que sale por el canal de destilado.

De los módulos obtenemos varios caudales: el caudal de destilado que corresponde al agua dulce que nos interesa, ésta será almacenada para su posterior distribución y por otro lado, obtenemos el caudal de salmuera (rechazo), que una pequeña parte será almacenada y la parte que exceda de la capacidad del depósito se vierte al mar. La salmuera almacenada se utilizará para el lavado del filtro de arena.

Se hará uso de un intercambiador de calor, que es el que separa ambos circuitos y el encargado de transferir el calor entre ambos medios. Mediante el uso de paneles solares, se calentará el fluido que circula por el circuito primario, siendo esta la fuente externa de calor que cede el calor al circuito secundario.

3. DESCRIPCIÓN CIRCUITO PRIMARIO

3.1 Colectores solares

Los colectores son los encargados de transformar la radiación solar en energía térmica. Para ello se hace circular el fluido por los colectores, de modo que éste se calienta a medida que avanza a través de los mismos, siendo la energía solar transformada en energía térmica.

La circulación del fluido por el captador se realizará a través de la utilización de una bomba, siendo el fluido agua o una mezcla con anticongelante. Estos captadores tienen que calentar el fluido a una temperatura de por lo menos 90 °C.

Los paneles estarán inclinados 37° sobre la horizontal (latitud aproximada de Almería), y la orientación de los colectores será tal que favorezca a la radiación solar.

3.2 Características captador utilizado

En esta instalación se van a utilizar captadores solares planos, modelo “Solaris CP1 Nova” by Solaris, con una superficie bruta de 2,25 m² y 2 m² de

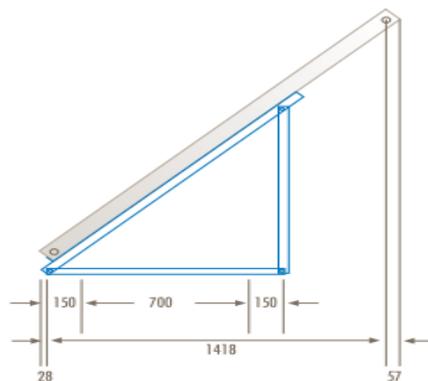
área de absorbedor. Las dimensiones totales de estos paneles son de 2082x1082x85 mm. Peso en vacío de 35 kg.



El absorbedor es de aluminio con recubrimiento selectivo de alta eficiencia "mirotherm" y parrilla de tubos 9 verticales y 2 horizontales de 8mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.

Unión con tecnología láser lo que produce una óptima transmisión entre absorbedor y tubos El aislamiento está compuesto de lana mineral de 25 mm; y vidrio templado de 3,2 mm de espesor con bajo contenido en hierro..

Se utilizarán soportes de acero galvanizado para cubierta plana con una inclinación de 37°. Resistentes a una velocidad del viento de 29 m/sg equivalente a 104,4 km/h.



Contrapeso mínimo garantizado de 100 kg/ captador.

4. DESCRIPCIÓN CIRCUITO SECUNDARIO

4.1 Captación agua de mar

Se distinguen dos procedimientos básicos de captación, con las ventajas y desventajas siguientes:

- Captación cerrada (pozos profundos, pozos playeros, cántaras, drenes horizontales...)
 - Agua limpia como consecuencia de la acción filtrante del terreno.
 - Mínima actividad orgánica y biológica.
 - Baja concentración de oxígeno disuelto.
 - Temperaturas estables.
 - Posible presencia de importantes concentraciones de hierro, manganeso, sílice y aluminio.
 - Posible contaminación por nitratos y plaguicidas.
 - Composición química bastante estable aunque sujeta a variaciones temporales o estacionales por contacto con otros acuíferos.

- Captación abierta (Captación superficial, torres sumergidas...)

Se suele utilizar cuando las condiciones del terreno no permiten otro tipo de captación y el caudal requerido es elevado.

- Contenido de sólidos en suspensión importante y variable.
- Importante actividad biológica y presencia de materia orgánica
- Mayor exposición a la contaminación
- Importante concentración de oxígeno disuelto.
- Composición química muy variable

- Posible presencia de gran variedad de contaminantes
- Temperaturas más variables

Para la captación de agua de este proyecto se hará uso de captación cerrada por sus ventajas.

4.2 Módulos MD

Los módulos de destilación por membrana son el principal componente de esta instalación, ya que es dónde tiene lugar el proceso de desalación del agua.

La destilación por membrana es un proceso de separación térmica establecido por una membrana hidrofóbica porosa que sólo puede ser atravesada por el vapor de agua y otros compuestos volátiles. Cuando se crea una diferencia de temperatura a ambos lados de la membrana, se produce una diferencia de presión parcial de vapor que constituye la fuerza impulsora del proceso. Gracias a la naturaleza hidrofóbica de la membrana, sólo el vapor pasa al otro lado y la fase líquida no penetra en los poros, siempre que la presión del líquido no exceda un límite, denominada presión de entrada de líquido (LEP).

4.2.1 Configuración de los módulos

Existen cinco configuraciones distintas de los sistemas de MD. Éstas difieren básicamente en cómo se produce la condensación del vapor una vez ha atravesado la membrana.

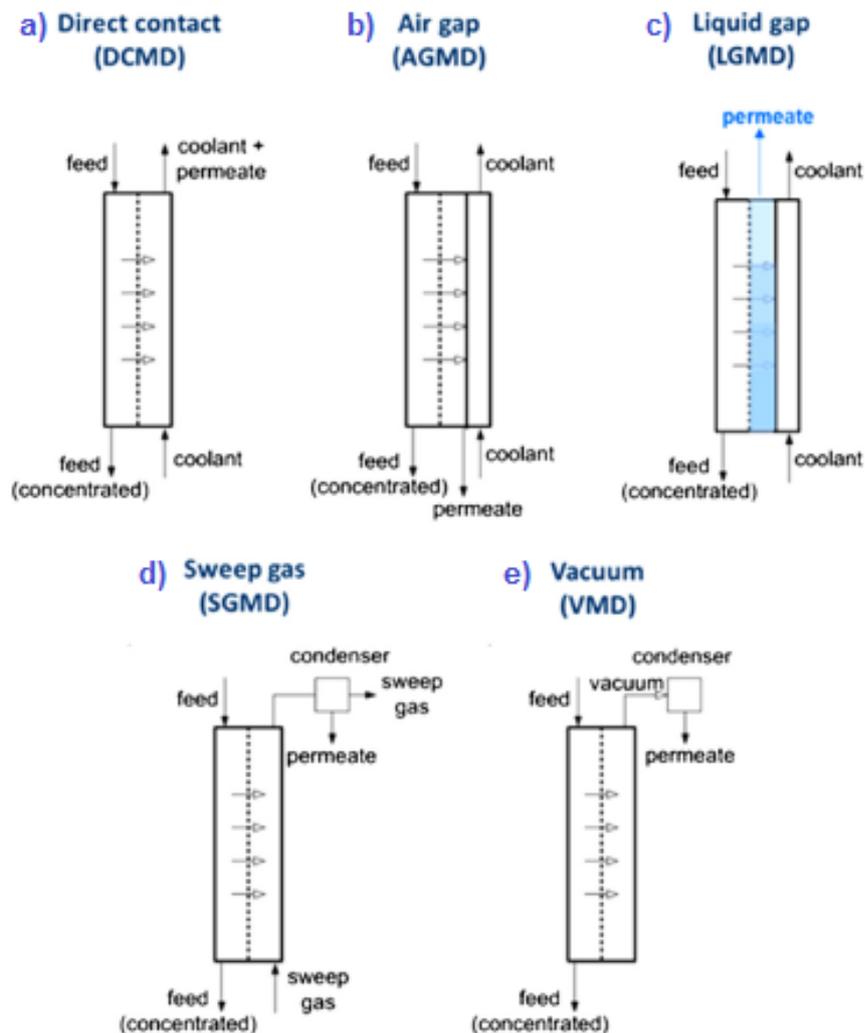


Figura 1. Configuración módulo MD

a) Direct Contact Membrane Distillation (DCMD): Es la más simple de todas; la corriente fría está en contacto directo con la membrana y el vapor creado al otro lado condensa en este flujo frío. La resistencia a la membrana es baja y por tanto se produce un flujo de destilado elevado. La principal desventaja es la pérdida de calor por conducción.

b) Air Gap Membrane Distillation (AGMD): En ésta configuración un canal de aire estancando entre la membrana y la superficie de condensación reduce las pérdidas de calor por conducción pero incrementa la resistencia a la transferencia de masa.

c) Liquid Gap Membrane Distillation (LGMD): Esta configuración es una modificación de la anterior en la cual el canal está lleno de destilado y por tanto se reducen tanto las pérdidas de calor por conducción como la resistencia a la transferencia de masa.

d) Sweeping Gap Membrane Distillation (SGMD): La condensación tiene lugar fuera del módulo. Esta configuración utiliza un gas inerte para arrastrar el vapor fuera del módulo. El inconveniente es que la cantidad de destilado obtenido es más baja que la corriente de gas, y por tanto, se requiere un condensador de grandes dimensiones, lo que encarece el proceso.

e) Vacuum Membrane Distillation (VMD): Como en el caso anterior la condensación tiene lugar fuera del módulo. En este caso el vapor es aspirado hacia el condensador externo gracias al vacío creado en el lado del permeado y se evita la separación posterior.

4.2.2 Configuración de las membranas

_Módulo tubular de fibra hueca: Posee membranas de fibra hueca agrupadas y selladas en el interior del tubo. La alimentación puede fluir por el hueco interno o por la carcasa, mientras que la corriente fría, el gas inerte o el vacío es aplicado en el otro lado de la membrana. Esta configuración tiene una

alta densidad de empaquetamiento, una gran área activa pero una mala distribución de flujo en la carcasa.

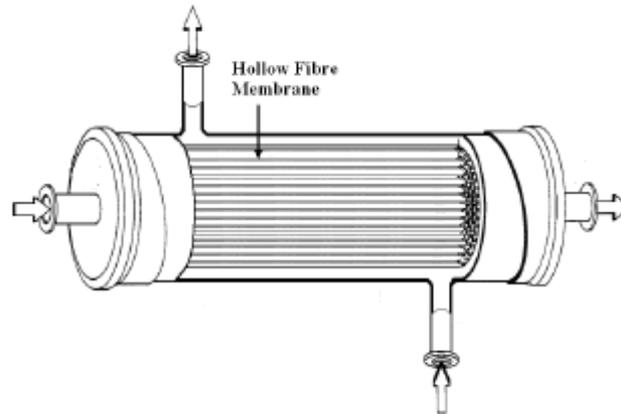


Figura 2. Módulo tubular fibra hueca

_ *Módulo de placa y marco con membranas de hoja plana:* Tiene un área efectiva menor que el módulo tubular, pero se puede solucionar incrementando el número de membranas utilizadas. El flujo puede ser mejorado también, colocando espaciadores que incrementan la turbulencia y así evitan que se reduzcan el flujo a través de la membrana por los efectos de la polarización en la superficie.

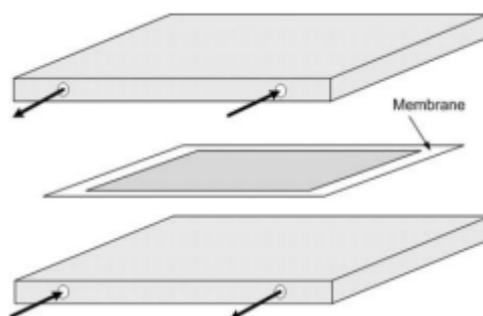


Figura 3. Módulo de placa y marco

– *Membranas planas con disposición en espiral:* Formado por membranas de hoja plana con espaciadores, ambos se encuentran enrollados. Esta configuración con gran área específica y estructura más compacta está diseñada para maximizar la recuperación de calor interno.

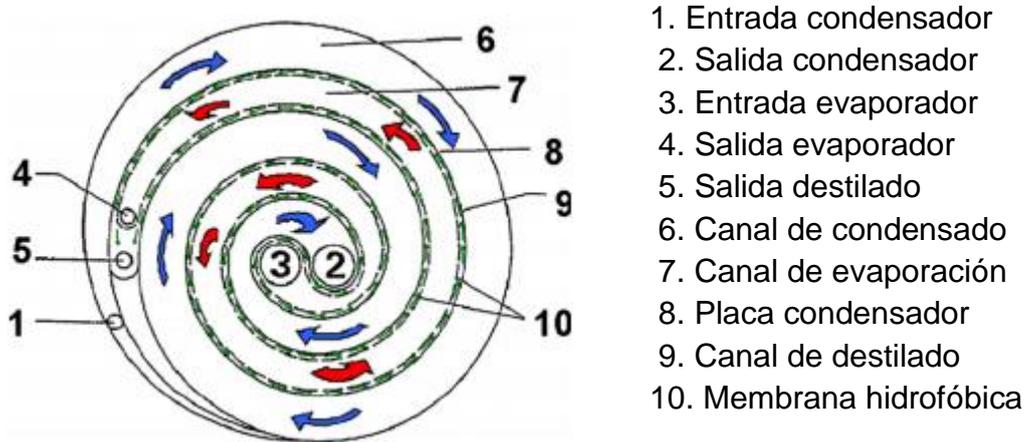


Figura 4. Módulo con membrana en espiral

El funcionamiento de este módulo es el siguiente:

El agua salada es bombeada para entrar al módulo (1), circulando a través del canal de condensación (6). Esta corriente sale del módulo (2) para ir al intercambiador de calor, el cual es conectado a una fuente de energía solar y vuelve a entrar al módulo a una temperatura mayor (3); circulando a lo largo del canal de evaporación (7) en contracorriente con la corriente fría de alimentación y deja el módulo (4). La corriente de vapor pasa a través de la membrana (10), condensando en el condensador (8) y circula por el canal de destilado (9) antes de dejar el módulo.

4.2.3 Características de la membrana

Como hemos mencionado la membrana debe ser hidrofóbica y microporosa, con baja resistencia a la transferencia de materia y baja conductividad térmica, así como tener estabilidad térmica cuando se aplican temperaturas extremas y ser resistentes a la abrasión salina.

Otra característica importante es el valor de LEP, que depende del tamaño de poro, de la concentración de la alimentación y de la presencia de compuestos orgánicos, los cuales suelen reducir este valor. Para conseguir un valor alto, los poros han de ser pequeños, la energía superficial baja de manera que no atraiga al líquido y la tensión superficial del líquido alta para evitar que este se deforme. Para membranas comerciales este valor está comprendido entre 1-4 bar.

El flujo de permeado se incrementa con la porosidad de la membrana y con el tamaño de los poros, y disminuye con el espesor de la membrana y su tortuosidad (relación entre la longitud media de los poros y el espesor de la membrana).

La porosidad de la membrana, es muy importante porque a mayor superficie de evaporación, mayor flujo de destilado y menores pérdidas por conducción. Adquiere valores en torno al 60-95%.

El tamaño típico de los poros varía entre 0,01 -1 μm . Cuanto menor sea su tamaño mayor será la resistencia a la transferencia de materia.

El espesor de la membrana incrementa la resistencia a la transferencia de materia pero también las pérdidas de calor son menores, por tanto, el valor óptimo está entre 30-60 μm de grosor.

Los materiales que reúnen estas características son en mayor medida son los polímeros, siendo los más utilizados el teflón (PTFE), el polipropileno (PP) y el polifluoruro de vinilideno (PVDF).

4.2.4 Características módulo utilizado

Los módulos utilizados en este proyecto tienen una configuración tipo LGMD por sus ventajas nombradas anteriormente. En la siguiente figura se muestra un esquema más detallado de su funcionamiento y de los canales por los que está compuesto.

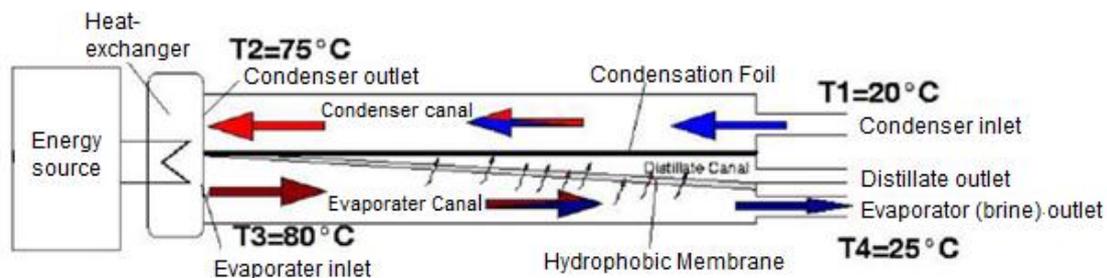


Figura 5. Esquema módulo MD

Las membranas de los módulos son planas con disposición en espiral, en la tabla siguiente se muestran datos de los diferentes diseños de los módulos con membrana en espiral.

Tabla 1. Características membrana

Design parameter	Dimension	Design 1	Design 2	Design 3
Total membrane area	m ²	5	10	14
Channel length	m	3,5	7	10
Channel height	m	0,7	0,7	0,7
Channel tickness	mm	3,2	3,2	3,2
Spiral coil diameter	m	0,25	0,28	0,35
Module structural weight	kg	35	40	70

En este proyecto se ha utilizado módulos con un área de membrana de 10 m², correspondiente a los datos del diseño 2.

Las membranas están fabricadas de teflón (politetrafluoroetileno, PTFE) con un grosor de 70 μm , un tamaño medio de poro de 0,2 μm , una porosidad del 80% y un área efectiva de 10 m².

El módulo está construido totalmente por materiales plásticos, el condensador es una lámina de etileno-tetraflúoroetileno (ETFE), los espacios separadores de los canales están fabricados de polietileno de baja densidad y la carcasa está formada por una matriz de plástico reforzada con fibras de vidrio.

Finalmente, las dimensiones del módulo son de 0,9 m de altura y 0,36 m de diámetro. En la siguiente foto se muestra el aspecto de estos.

Módulos suministrados por Solar Spring.



Figura 6. Módulos MD

4.3 Filtro de arena

El filtro de arena sirve para retener contaminantes orgánicos (algas, bacterias, restos orgánicos) e inorgánicos (arenas, limos, arcillas, precipitados químicos)

Un filtro de arena a presión consta de un tanque cerrado y hermético, generalmente cilíndrico con cabezas bombeadas y colocado verticalmente.

El interior del filtro está formado por una capa de arena u otro medio granular, de espesor variable, y soportada sobre un sistema de desagüe inferior, que recoge el agua filtrada y distribuye el agua de lavado.

Se utilizará un solo filtro, ya que al funcionar la planta solamente durante el día, cuando esta no está en funcionamiento se puede proceder a las operaciones de limpieza.

El medio filtrante se ha seleccionado para que conste de una capa filtrante de arena única y homogénea, ya que son lo más utilizados por su sencillez y eficacia. El espesor de la capa filtrante suele oscilar entre 0,5 y 1 m.

Se añadirá una segunda capa de gravilla, sin efecto filtrante, que actúe como soporte de la arena en la parte más baja del filtro para así favorecer el paso de agua hacia la salida.

ANEXO N° 1:

DIMENSIONADO DE LOS MÓDULOS DE DESTILACIÓN

POR MEMBRANAS

1. DIMENSIONADO DE LOS MÓDULOS.....	37
1.1 Procedimiento de cálculo.....	37
1.2 Parámetros de rendimiento.....	38
1.3 Resultados.....	39
1.4 Selección de alternativas.....	41

1. DIMENSIONADO DE LOS MÓDULOS

Los diferentes flujos o caudales que se generan en el proceso son:

- Caudal de alimentación (Q_e): agua que entra al sistema de módulos después de un tratamiento básico para ser desalada.
- Caudal de destilado (Q_d): agua dulce obtenida después del proceso.
- Caudal de salmuera (Q_s): Caudal de rechazo, que lleva las sales que han sido separada por la membrana.

1.1 Procedimiento de cálculo

Para el diseño de los módulos vamos a tener en cuenta que al estar acoplado a un sistema de energía solar, esta instalación va a funcionar sólo en las horas de sol, es decir va a tener un funcionamiento de 8 horas diarias.

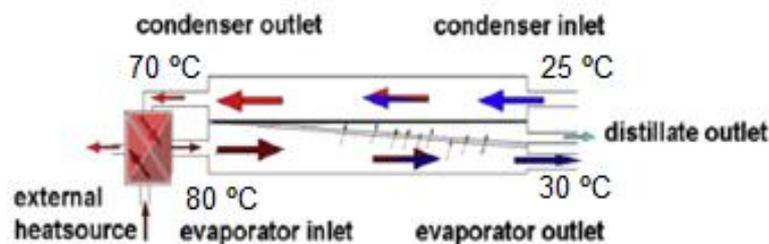


Figura 1. Canales módulo MD

Los parámetros de diseño van a ser los siguientes:

- T° entrada de la alimentación, $T_{ci} = 25^{\circ}\text{C}$
- T° salida condensador, $T_{co} = 70^{\circ}\text{C}$
- T° entrada evaporador, $T_{ei} = 80^{\circ}\text{C}$
- T° salida evaporador, $T_{eo} = 30^{\circ}\text{C}$

- Producción de agua destilada, $Q_d = 3,33 \frac{m^3}{día} = 416,7 \frac{L}{h}$

El procedimiento de cálculo seguido ha sido el siguiente:

1. Fijamos el caudal de entrada a un módulo, Q_{ie} (L/h); lo que determina el flujo de destilado.

2. Sabiendo la producción de destilado total, $Q_d (\frac{m^3}{h})$ y el flujo de destilado, $F_d (\frac{L}{m^2 \cdot h})$, vamos a obtener los m^2 totales de membrana necesarios.

$$A_T = \frac{Q_d}{F_d}$$

3. Y obtenemos el número de módulos que habrá que instalar, con el área de membrana total y el área de un módulo, siendo $A_m = 10 m^2$.

$$N_{módulos} = \frac{A_T}{A_m}$$

4. Una vez sabemos el número de módulos necesarios, podemos calcular el caudal total de alimentación, Q_e (L/h) y el caudal de destilado de cada módulo, Q_{id} (L/h). Y a partir de un balance de materia global sabemos el caudal de salmuera.

1.2 Parámetros de rendimiento

- Eficiencia térmica “Gained output ratio” (GOR): La eficiencia térmica se calcula como el cociente del calor latente necesario de evaporación del agua desalada y la energía suministrada al sistema.

$$\text{GOR} = \frac{\Delta h_{\text{evap}} \cdot m_{\text{dest}}}{Q_{\text{input}}}$$

- Calor aportado al sistema, Q_{input} (W)

$$Q_{\text{input}} = m_{\text{feed}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{ei}} - T_{\text{co}})$$

- Calor térmico a través de la membrana, Q_{trans} (W)

$$Q_{\text{trans}} = m_{\text{feed}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{co}} - T_{\text{ci}})$$

- Consumo de energía térmica, $q_{\text{spec},t}$ (kWh/m³), requerida para producir 1m³ de destilado.

$$q_{\text{spec},t} = \frac{Q_{\text{input}}}{V_{\text{desti}}}$$

- Eficiencia térmica, η_{th} : Este factor nos da una relación entre el calor latente de vaporización y la cantidad total de energía recuperada.

$$\eta_{th} = \frac{\Delta h_{\text{evap}} \cdot m_{\text{dest}}}{Q_{\text{trans}}}$$

- Performance ratio, PR (kg/MJ): Son los kg de destilado por MJ de calor consumidos.

$$\text{PR} = \frac{m_{\text{dest}}}{Q_{\text{input}}}$$

- Recuperación de destilado (%), RR: Nos indica el porcentaje de alimentación que es convertido a destilado.

$$\text{RR} = \frac{Q_d}{Q_e}$$

1.3 Resultados obtenidos

Vamos a considerar dos alternativas y seleccionaremos una de las dos con el objetivo de minimizar los costes.

La relación entre los datos siguientes ha sido obtenida del artículo: D.Winter, J.Koschikowski, S. Ripperger “ Desalination using membrane distillation: Flux enhancement by feed water deaeration on spiral-wound modules” Journal of Membrane Science 423-424 (2012).

1º Alternativa: Máxima eficiencia térmica y menor producción de destilado, tenemos como datos.

$$\text{Caudal de entrada, } Q_{ie} = 300 \frac{kg}{h} = 292,6 \frac{L}{h}$$

$$\text{Flujo de destilado, } Fd = 2 \frac{L}{m^2 \cdot h}$$

$$\text{GOR} = 3,5$$

2º Alternativa: Máxima producción y menor eficiencia térmica, tenemos como datos:

$$\text{Caudal de entrada, } Q_{ie} = 615,18 \frac{kg}{h} = 600 \frac{L}{h}$$

$$\text{Flujo de destilado, } Fd = 3 \frac{L}{m^2 \cdot h}$$

$$\text{GOR} = 2,5$$

En las siguientes tablas mostramos los resultados obtenidos:

Tabla 1. Datos de los caudales y módulos obtenidos

	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
	Total	Por módulo	Total	Por Módulo
Caudal destilado,(L/h)	416,7	19,8	416,7	29,8
Caudal de entrada,(L/h)	6144,5	292,6	8400	600
Caudal salmuera,(L/h)	5727,9	272,8	7983,3	570,2
Número módulos	21		14	
Recuperación destilado (%)	6,8		5	

Tabla 2. Datos de los parámetros de rendimiento

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
GOR	3,5	2,5
Q_{input} (kW)	3,3	6,8
Q_{trans} (kW)	15	30,7
$q_{spec,t}$ (kJ/MJ)	168	230
η_{th}	0,87	0,64
PR	1,65	1,2

1.4 Selección de alternativas

Se va a seleccionar la alternativa más económica para el diseño de la instalación, teniendo en cuenta los metros cuadrados de panel solar necesarios (Cálculos anejo 2) y el número de módulos.

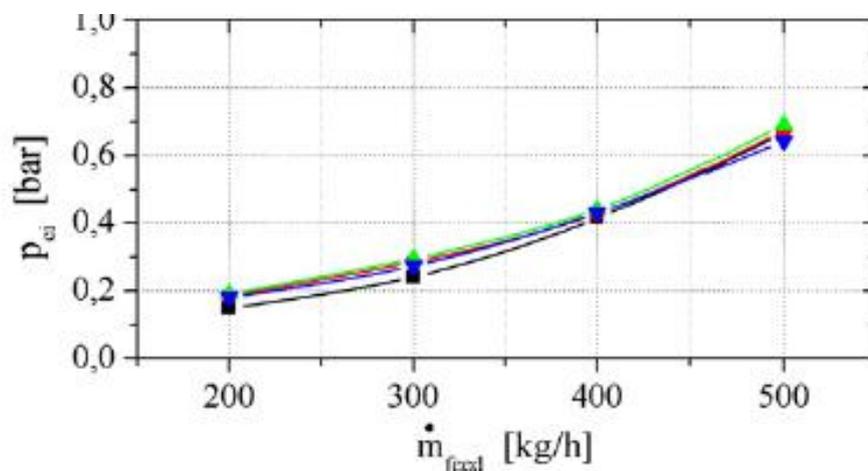
Tabla 3. Costes totales de las alternativas

	COSTE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Campo solar	150 €/m ²	65 m ²	89 m ²
Módulos MD	2450 €/módulo	21	14
COSTE TOTAL		61200 €	47650 €

Por tanto, la alternativa seleccionada será la segunda, utilizándose un número mayor de colectores solares pero menor de módulos.

Para el cálculo de los demás equipos, tendremos en cuenta los caudales de la alternativa elegida.

Tenemos que tener en cuenta la caída de presión de los módulos para los requerimientos de la bomba (anejo 3), esta variará según el caudal de alimentación de entrada como muestra la gráfica siguiente, obtenido del artículo D.Winter, J.Koschikowski, M.Wieghaus “Desalination using membrane distillation: Experimental studies on full scale spiral wound modules” Journal of Membrane Science 375 (2011) .

**Gráfico 1.** Variación de la caída de presión

ANEXO N° 2:**CRITERIOS DE DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA
INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR**

1. INTRODUCCIÓN.....	44
1.1 Selección de alternativas.....	44
2. RENDIMIENTO DEL CAPTADOR.....	45
3. DISEÑO DEL CAMPO SOLAR.....	45
3.1 Cálculo de la cantidad de energía necesaria.....	47
3.2 Cálculo de la energía solar disponible.....	48
3.2.1 Variación de la radiación.....	49
3.2.2 Radiación aprovechada por el captador....	50
3.2.3 Fracción solar.....	51
3.4 Cálculo de la superficie de captación.....	53
3.5 Cálculo del vaso de expansión.....	54
4. DISTRIBUCIÓN DE LOS PANELES SOLARES.....	57

1. INTRODUCCIÓN

Acoplar el sistema de destilación con membranas con la utilización de energía renovable tiene una gran importancia, ya que a menudo la falta de agua se corresponde con zonas que presentan un alto índice de radiación solar.

El sistema de captación solar térmica convierte la radiación solar en calor útil, siendo el objetivo de esta instalación conseguir el mayor ahorro posible en energía convencional.

Se va a hacer la instalación del campo solar con el fin de aprovechar la mayor cantidad de energía que proviene de la radiación solar para calentar el agua necesaria que va al intercambiador de calor, el agua calentada mediante estos colectores solares se encarga de ceder el calor necesario al agua salada que vuelve a entrar en los módulos para ser destilada.

El dimensionamiento de esta instalación se inicia con una evaluación energética del consumo requerido, después se analiza la radiación solar disponible, se aplicarán los rendimientos oportunos y se toman las decisiones en función de criterios de diseño como la fracción solar, el coste, etc.

1.1 Selección de alternativas

Como hemos mencionado en el anejo anterior, se ha hecho un estudio de dos alternativas, y se ha elegido la más económica según el número de módulos y los m^2 de superficie de captadores solares.

A partir de un balance de energía obtenemos el caudal de agua que hay que calentar, que entrará al circuito solar a una temperatura de $T_{si} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$. Según el caudal de entrada de agua salada a los módulos necesitaremos más o menos energía para calentar el agua necesaria.

Los datos obtenidos de las dos alternativas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Resultados de las diferentes alternativas

	Alternativa 1	Alternativa 2
Potencia (kW)	34,6	47,4
Caudal agua a calentar, m_a (kg/s)	0,83	1,13
Demanda energética anual, (kWh/año)	101036	138055
Energía aprovechada por el sistema, (kWh/m ² año)	931,8	931,8
Superficie total, m ²	65	89
Nº paneles solares	33	45

A continuación se detallan los cálculos seguidos para obtener el número de colectores necesarios para la alternativa seleccionada.

2. RENDIMIENTO DEL CAPTADOR SOLAR

El rendimiento de estos colectores lo proporciona el fabricante y lo podemos obtener mediante una curva de rendimiento o mediante el uso de su ecuación correspondiente.

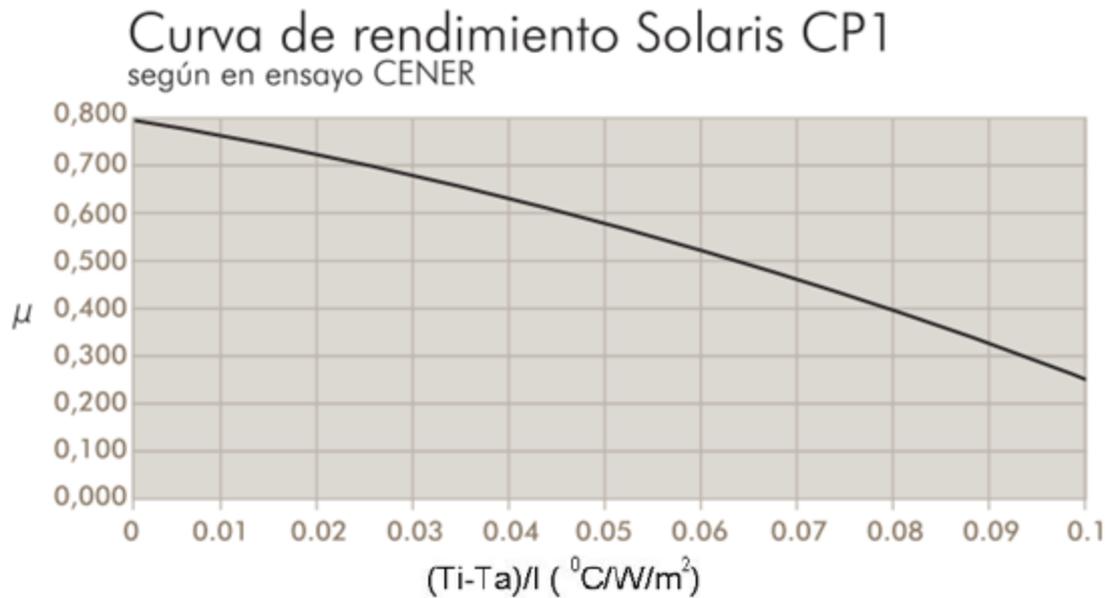


Gráfico 1: Curva de rendimiento.

Donde I es la radiación solar (W/m^2) y T_i y T_a son la temperatura a la entrada y salida del colector solar respectivamente.

También podemos calcular el rendimiento del captador solar de una forma más exacta mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \eta_0 - \alpha \cdot \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right)$$

Dónde:

η_0 , Factor eficiencia del captador = 0.776

α , Coeficiente global de pérdida = $3,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$

T_m : Temperatura del agua a la salida del colector (90°C)

T_a : Temperatura del agua a la entrada del colector (80°C)

I : Radiación solar (W/m^2)

Gráfico y curva de rendimiento obtenidos de www.solaris.es

Para los siguientes cálculos se ha utilizado la ecuación anterior, obteniendo un rendimiento del 48%

3. DISEÑO DEL CAMPO SOLAR

3.1 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE ENERGÍA NECESARIA

Una vez que tenemos la cantidad de agua que se debe calentar, en nuestro caso en la alternativa 2, el caudal de agua 1,13kg/s; hay que obtener la energía que se tiene que aportar para conseguir aumentar la temperatura de la red hasta los 90°C que se requieren.

Calculamos la energía necesaria mediante la siguiente expresión:

$$Q=m_a \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Donde:

Q: Cantidad de calor necesaria (kcal)

m_a : Caudal másico de agua que se va a calentar (kg/s)

C_p : Calor específico del agua (kcal/kg.°C)= 1kcal/kg.°C

ΔT : Salto térmico (°C). Diferencia entre la temperatura a la que llega el agua fría de la red y la temperatura de salida a la que se calienta.

A partir de los datos y fórmulas anteriores obtenemos que la cantidad de calor necesaria es de Q= 378 kWh/día; teniendo en cuenta los días que tiene cada mes obtenemos la demanda energética mensual.

Tabla 2: Demanda energética mensual

Mes	Días/mes	Qe (kWh/mes)
Enero	31	11725
Febrero	28	10590
Marzo	31	11725
Abril	30	11347

Mayo	31	11725
Junio	30	11347
Julio	31	11725
Agosto	31	11725
Septiembre	30	11374
Octubre	31	11725
Noviembre	30	11347
Diciembre	31	11725
Total		138055 kWh/año

Por tanto la demanda de energía anual es de **$Q_e=138055$ kWh**

3.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE

Una vez realizado los cálculos de necesidades energéticas de la instalación, es necesario conocer la cantidad de energía solar que nos aporta el sol, para poder conocer la cobertura solar generada frente a nuestra demanda energética.

La energía disponible en un emplazamiento determinado se puede evaluar a partir de medidas de radiación en el lugar de la instalación, evaluando la radiación a partir de otras instalaciones próximas, haciendo valores estadísticos basados en medidas de estaciones meteorológicas.

Los datos utilizados en este apartado son obtenidos a partir de la Agencia Andaluza de la Energía y el Instituto Nacional de estadística.

La Agencia Andaluza de la Energía ofrece datos de irradiación global diaria o por mes sobre superficies horizontales o inclinadas. Los datos

seleccionados han sido de radiación global diaria en kWh/día sobre superficies inclinadas.

Para obtener una máxima eficiencia, multitud de estudios consideran que los colectores deben tener una inclinación igual a la latitud del lugar. El lugar elegido de Almería en este proyecto tiene una latitud de $37,98^\circ$. Por tanto, la inclinación de los colectores será de 37° .

3.2.1 Variación de la radiación

La intensidad de radiación media durante las horas de sol, se calcula dividiendo la radiación solar global entre la cantidad de horas de sol diarias.

Tabla 3: Horas de luz solar en Almería (Instituto Nacional de Estadística)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
H	6,2	6,8	7,4	8,3	9,6	10,7	10,9	10,1	8,6	7,1	6,5	5,7

Con los datos de la radiación efectiva (kWh/mes) y los días que tiene cada mes tenemos la radiación efectiva diaria, que dividiendo por las horas de sol obtenemos la intensidad de radiación.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4: Intensidad de radiación media mensual durante las horas de sol

Mes	R_{efectiva} (kWh/m ² .mes)	Días/mes	H_{sol} /día	I (w/m ²)
Enero	147,4	31	6,2	766,9
Febrero	156,1	28	6,8	819,9
Marzo	187,7	31	7,4	812,2
Abril	197,6	30	8,3	793,6

Mayo	201,6	31	9,6	677,4
Junio	206,2	30	10,7	642,4
Julio	215,3	31	10,9	637,2
Agosto	213,3	31	10,1	681,3
Septiembre	190,8	30	8,6	739,5
Octubre	160,5	31	7,1	729,2
Noviembre	129,3	30	6,5	663,1
Diciembre	123,3	31	5,7	697,8

3.2.2 Radiación aprovechada en el sistema

Del total de radiación que puede absorber el captador sólo una parte es aprovechada, el resto se pierde en forma de calor residual a través de las paredes del acumulador, las tuberías, válvulas y el resto de accesorios del circuito.

Primero vamos a calcular la radiación aprovechada en el captador, teniendo en cuenta la radiación incidente y el rendimiento del captador. Para determinar el rendimiento del colector lo calculamos con la expresión de rendimiento mostrada anteriormente. Obteniendo un rendimiento medio del captador del 48%.

Después, obtenemos la radiación aprovechada en el sistema, que será la que además de la radiación incidente y el rendimiento tiene en cuenta las pérdidas generales en la instalación. Se va a establecer un valor de pérdidas generales del sistema del 10-5% de la energía obtenida en el captador. El factor de pérdida considerado en este diseño será de 0,90.

En la siguiente tabla se muestran los resultados,

Tabla 5. Radiación aprovechada en el sistema

Mes	Eficiencia captador (%)	Energía captador (kWh/m².mes)	Energía aprovechada (kWh/m².mes)
Enero	47,5	69,9	62,9
Febrero	48,7	76,01	68,4
Marzo	50,1	94,1	84,7
Abril	49,6	97,7	88,2
Mayo	47,2	95,1	85,6
Junio	47,7	98,4	88,5
Julio	48,2	103,7	93,4
Agosto	50,4	107,4	96,7
Septiembre	51,8	98,4	89,1
Octubre	49,6	79,7	71,7
Noviembre	45,1	58,3	52,5
Diciembre	45,3	55,9	50,3
Total	48%	1035,4	931,8

Obtenemos que la energía aprovechada es igual a, **Qa=931,8 kWh/año**

3.2.3 Fracción solar

La fracción solar es la fracción del consumo energético que se satisface mediante la energía solar del campo instalado.

La energía disponible que suministra la instalación se ha calculado teniendo en cuenta los m² totales de superficie de colectores y la energía aprovechada en el sistema.

La fracción del consumo energético que se satisface mediante energía solar es el cociente de la energía disponible y las necesidades energéticas.

Por último, tenemos el déficit energético es la energía auxiliar que habría que aportar en los meses en que la energía solar no es suficiente por sí sola.

Tabla 6. Fracción solar

Mes	Energía disponible (kWh/mes)	Fracción solar (%)	Déficit energético
Enero	5665	48,3	6059
Febrero	6157	58,1	4433
Marzo	7622	65,0	4103
Abril	7936	69,9	3411
Mayo	7705	65,71	4020
Junio	7966	70,20	3381
Julio	8405	71,69	3320
Agosto	8699	74,19	3026
Septiembre	8013	70,6	3333
Octubre	6451	55,1	5274
Noviembre	4722	41,6	6624
Diciembre	4523	38,6	7201

Por tanto, tenemos que se satisface aproximadamente un 60% de la demanda total de energía. Tendríamos que hacer uso de una fuente energética auxiliar que cubra el porcentaje restante, por ejemplo, mediante una caldera. Si no, la producción de agua sería menor.

3.3 Cálculo de la superficie de captación

La superficie de captación para cubrir la totalidad de la demanda prevista la calculamos de la siguiente manera:

$$A_T = C_s \cdot \frac{Q_e}{Q_a} = 0,6 * \frac{138055}{931,8} = 88,9 \text{ m}^2$$

Donde:

Cs: Contribución solar mínima, del 60% debido a que Almería corresponde a la zona climática V.

Qe: Cantidad de calor necesario (kWh/año)

Qa: Energía aprovechada por el sistema (kWh/m².año)

El número de captadores necesarios a instalar, sabiendo que la superficie de cada captador es de 2m² será:

$$N^{\circ}\text{captadores} = \frac{A_T}{A_{\text{colector}}} = 44,4$$

Por tanto, el número de paneles solares para este diseño será de 45.

3.4 CÁLCULO DEL VASO DE EXPANSIÓN

El vaso de expansión tiene que ser capaz de recoger toda la expansión que se produce en el líquido solar durante un estancamiento donde se puede producir la formación de vapor de los captadores.

El vaso de expansión debe ser capaz de recoger en su interior:

- El volumen de la dilatación del fluido primario hasta las máximas temperaturas de funcionamiento.
- Tendrá un volumen de reserva, que cubrirá una posible contracción del líquido en caso de heladas.
- Recogerá el volumen desplazado por la formación de vapor durante un estancamiento en los colectores solares.

Volumen útil de un vaso de expansión

$$V_{\text{útil}} = V_{\text{dilatado}} + V_{\text{reserva}} + V_{\text{vapor}}$$

- Cálculo del volumen dilatado

Primero hay que calcular el coeficiente de expansión (C_e) del líquido, que depende de la temperatura máxima de la instalación y del porcentaje de propilenglicol.

$$C_e = (-33,48 + 0,738 \cdot T) \cdot 10^{-3}$$

donde T es la temperatura en °C.

Este valor es válido para agua. Como utilizamos glicol, debemos multiplicar por el siguiente factor de corrección.

$$f_c = a. (1,8.T + 32)^b$$

Dónde a y b son factores que dependen del porcentaje en volumen del glicol, G

$$a = -0,0134. (G^2 - 143,8.G + 1918,2) = -24,94$$

$$b = 3,5. 10^{-4}. (G^2 - 94,57.G + 500) = 0,162$$

Para un porcentaje del 40% de glicol en agua, tendremos un valor aproximado de $C_e = 0,085$.

El volumen dilatado será: $V_{\text{dilatado}} = V_{\text{total}} \cdot C_e = 13,04 \text{ L}$

El volumen total, es la suma de los volúmenes de los colectores, del intercambiador y de las tuberías; siendo $V_{\text{total}} = 153,4 \text{ L}$.

- Cálculo del volumen de reserva

Debemos de tener cierto volumen de reserva para poder purgar la instalación y tener un volumen disponible para entregar al circuito en caso de tener una helada.

$$V_{\text{reserva}} = 0,029.V_{\text{total}} = 4,4 \text{ L}, \text{ pero tomaremos un mínimo de } 8 \text{ L.}$$

- Cálculo del volumen vaporizado

Consideraremos que se puede vaporizar todo el volumen de los colectores solares más un 10%.

$$V_{\text{vaporizado}} = V_{\text{colectores}} + 1,10 = 73,26 \text{ L}$$

- Cálculo del volumen útil que deberá disponer el vaso de expansión

Será la suma de los volúmenes anteriores

$$V_{\text{útil}} = 13,04 + 5 + 73,26 = 91,3 \text{ L}$$

Coeficiente de presión

Se tienen que considerar las presiones de trabajo de la instalación:

$$C_P = \frac{P_M}{P_M - P_m}$$

- P_M , presión máxima que puede alcanzar la instalación. Se va a considerar la presión máxima de trabajo en los colectores, la presión atmosférica y un pequeño margen de seguridad.

El fabricante de los colectores que hemos seleccionado para nuestra instalación, Solaris, nos indica una presión máxima de trabajo de 10bar, por lo que la presión de las válvulas de seguridad colocada a la entrada de cada una de las baterías de colectores será de 10bar.

Para el cálculo de la presión máxima en el vaso se elegirá el menor de los siguientes valores:

$$P_M = 0,9 \cdot P_{vs} + 1 = 10\text{bar}$$

$$P_M = P_{vs} + 0,65 = 10,65\text{bar}$$

La presión máxima elegida es de 10bar.

- P_m , la presión mínima de funcionamiento se calculará mediante la expresión: $P_m = 1,5\text{bar} + 0,1 \cdot h$, donde h es la altura estática de la instalación.

$$P_m = 1,6 \text{ bar}$$

Por tanto, el coeficiente de presión $C_P = 1,19$.

Finalmente, obtenemos el volumen del vaso de expansión:

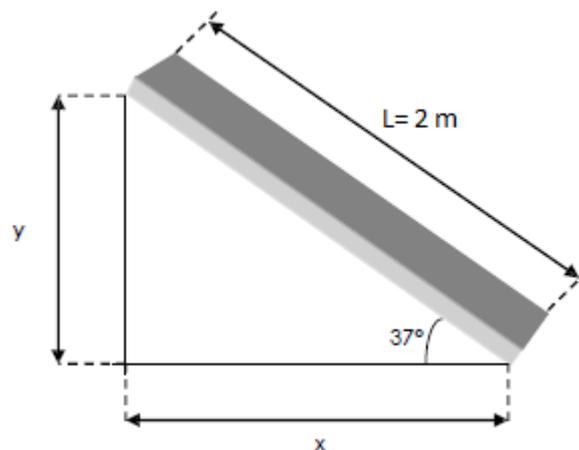
$$V_{\text{vaso}} = V_{\text{útil}} \cdot C_e \cdot C_P = 9,5 \text{ L}$$

4. DISTRIBUCIÓN DE LOS PANELES SOLARES Y DEL CAMPO

SOLAR

Tenemos 45 paneles solares, los cuales los tenemos que distribuir de forma que nos ocupe el menor espacio posible. Así que lo primero que hay que hacer es el cálculo de la distancia mínima entre colectores para evitar que uno proyecte sombra sobre el otro y los metros cuadrados que nos ocupará de terreno el campo solar.

Sabemos las medidas de cada panel que son 2082 mm de largo, 1082 mm de ancho y 80mm de grosor, aportadas por el fabricante.



Obtenemos x e y mediante las siguientes relaciones trigonométricas:

$$y = L \cdot \sin \beta = 2,082 \cdot \sin (36,98) = 1,25 \text{ m}$$

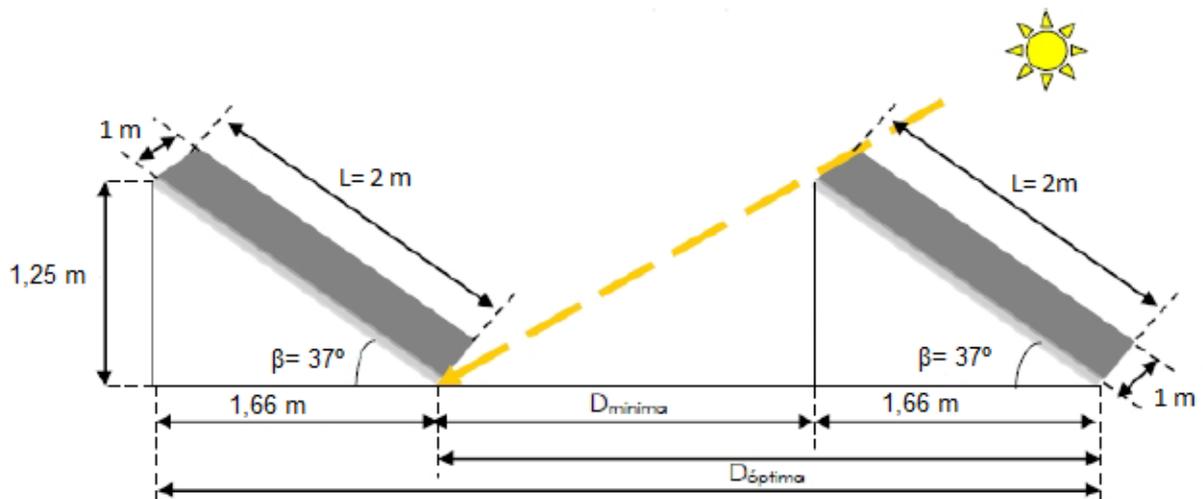
$$x = L \cdot \cos \beta = 2,082 \cdot \cos (36,98) = 1,66 \text{ m}$$

Siendo:

L: longitud del panel solar

β : inclinación del captador

Para determinar la distancia mínima entre colectores tenemos que hacerlo para el caso en el que la altura solar anual sea mínima para obtener un valor de distancia óptima para que no se produzcan sombras en ningún momento. Se cogerá el valor correspondiente al mes más frío del año a la hora de mayor radiación solar, este valor es de $\theta = 23,45^\circ$ el 21 de Diciembre aproximadamente a mediodía.



Luego, agrupando las dos expresiones anteriores obtenemos la distancia óptima entre colectores:

$$d_{\text{óptima}} = L \cos \beta + \frac{L \operatorname{sen} \beta}{\operatorname{tg} \theta} = 4,54 \text{ m}$$

Por tanto, la distancia mínima será:

$$d_{\text{mín}} = d_{\text{óptima}} - 1,66 = 2,88 \text{ m}$$

Con los datos obtenidos podemos calcular la superficie total del terreno que nos va a ocupar el campo solar.

La conexión entre captadores y entre las filas o baterías de los captadores se realizará de manera que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente y teniendo en cuenta también el salto térmico.

Según el fabricante el caudal nominal será de $50 \frac{L}{h.m^2}$ y se agruparán en 5 captadores en serie para un salto térmico de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por tanto, la distribución será de 9 filas de 5 captadores en serie en cada una.

Para favorecer el equilibrio hidráulico se diseña un retorno invertido que garantiza que el recorrido hidráulico que se realiza por cada uno de los colectores o baterías debe ser igual para todos. Si el recorrido es igual, las pérdidas de carga también lo serán, y en consecuencia el caudal que pasa por cada colector, de modo que se asegura un salto de T^a homogéneo en todo el campo de colectores.

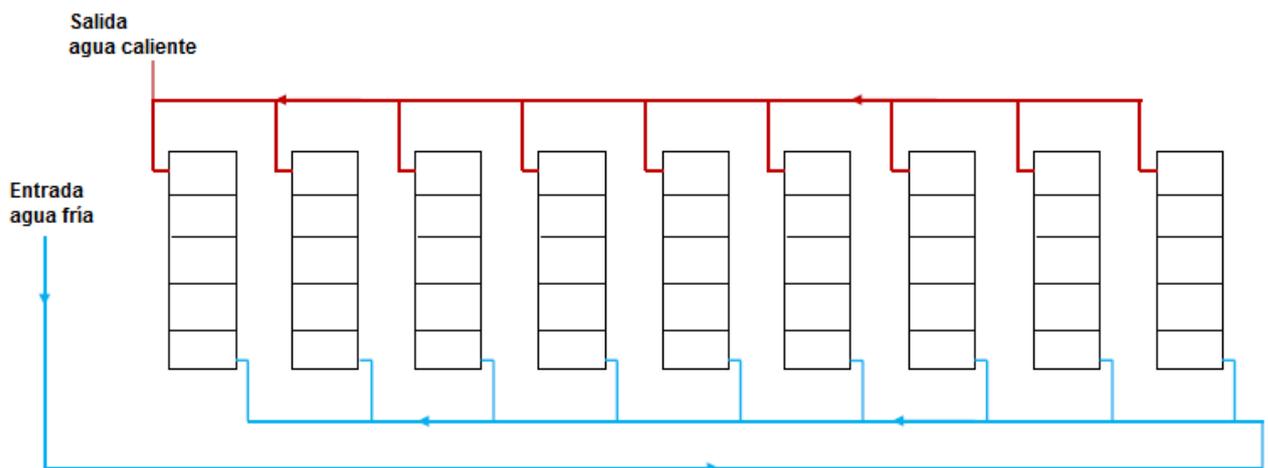
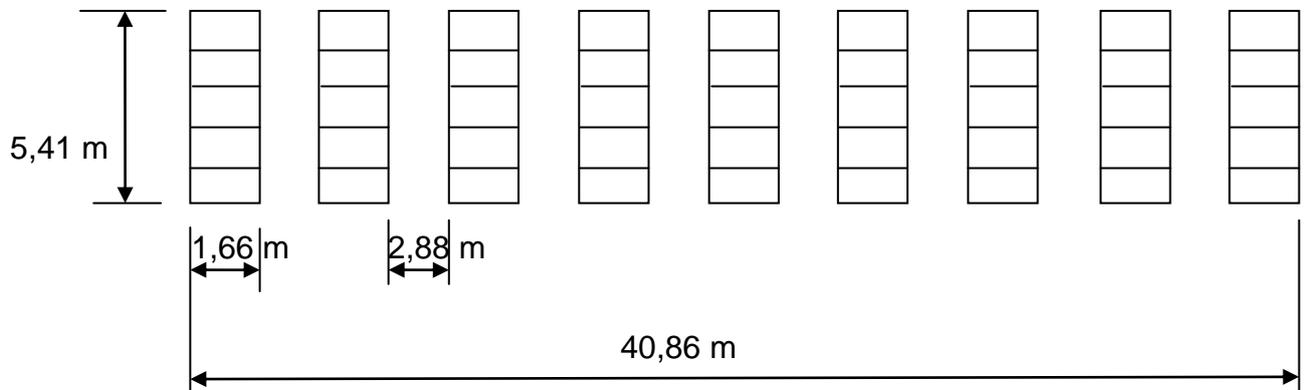


Figura 1. Esquema de conexionado de colectores con retorno invertido

Ahora vamos a calcular los m^2 que ocupará el campo.



Si el ancho de un panel es de 1,082 m y en cada fila tenemos 5 paneles, multiplicando obtenemos que la longitud de un lateral del campo solar será de 5,41 m. Por otro lado, sabiendo que el espacio entre colector y colector para evitar sombras es de 2,88 m tenemos que la longitud del otro lateral es de 40,86 m.

Finalmente, el campo ocupará $A_{total} = 221,05 m^2$:

El volumen de cada colector solar proporcionado por el fabricante, es de $V = 1,48 L / captador$. En nuestro caso tenemos un volumen total de $V = 66,6 L$ que será necesario en el siguiente anejo.

ANEXO N° 3:**DISEÑO DE LOS DEPÓSITOS**

1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	62
1.1 Secuencia de cálculo	63
1.2 Tanque de llenado del circuito primario.....	68
1.3 Tanque de almacenamiento agua a tratar.....	69
1.4 Tanque de almacenamiento del agua desalada.....	71
2. DISPOSITIVOS DE APOYO.....	71

1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Los tanques de almacenamiento se usan como depósitos para contener una reserva suficiente de algún producto para su posterior uso y/o comercialización. Los tanques de almacenamiento se clasifican en:

- Cilíndricos horizontales
- Cilíndricos verticales

Los tanques horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos y los tanques cilíndricos verticales nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitación de que se pueden usar a presión atmosférica o a una presión interna baja.

Los recipientes están formados por una carcasa, techo fondo, dispositivos de apoyo, conexiones y dispositivos en su interior y exterior.

- Carcasa: La forma más común y la que vamos a utilizar en este proyecto, es la cilíndrica por su fácil construcción y requerir menores espesores que otras geometrías para resistir una misma presión.
- Techo: Se pueden diferenciar tanques con o sin techo. Los tanques con techo fijo se emplean para contener productos no volátiles como son agua, petróleo... Los tanques sin techo se utilizan cuando no importa que se contamine o se evapore.
- Fondos: En este caso se van a utilizar fondos semi-elípticos, ya que son lo más comunes y los más utilizados para medias y bajas presiones.

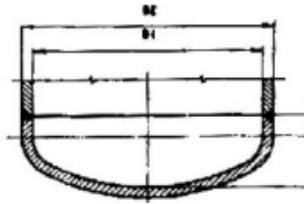


Figura 1. Fondo tanques

1.1 Secuencia de cálculo

1. Volumen del recipiente

Hay que diferenciar entre volumen útil y volumen real. El volumen útil es el mínimo necesario y el volumen real es el que consideramos en exceso teniendo en cuenta las posibles variaciones de caudal suministrado o pequeños movimientos del líquido dentro del tanque en el momento de carga y descarga.

Por tanto, tenemos que tener en cuenta que por seguridad, los recipientes estarán llenos como máximo al 90%, por lo que lo tenemos en cuenta a la hora de establecer sus dimensiones. Tendremos que el volumen nominal será:

$$V_N = \frac{V}{0.9}$$

$$V_N = S.H$$

$$V_N = \frac{\pi}{4}.D^2.H$$

Y el volumen tanto del fondo como de la cabeza se calcula como:

$$V_{cabeza} = \frac{\pi.D^2.hcab}{6}$$

Siendo el volumen total del tanque:

$$V_{tanque} = V_{cabeza} + V_{cilindro}$$

2. Altura y diámetro del tanque

En función del volumen necesario del tanque se establecerá el valor del diámetro, D, y en función de éste la altura, H. En este caso la relación entre la altura y el diámetro del tanque es de $\frac{H}{D}=2$.

$$V_N = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot 2}{4}$$

El diámetro del tanque lo obtenemos despejando de la ecuación anterior, donde ha introducido la razón entre la altura y diámetro del tanque.

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot V_N}{\pi}}$$

La altura total del tanque será la suma de las longitudes de las tres partes que lo forman, cilindro, carcasa y fondo. La altura total será:

$$H_T = H + 2h_{cabeza}$$

Siendo:

$h_{cabeza} = D/4$, referido a la altura tanto del fondo como de la cabeza.

3. Cálculo de la presión

La presión para el diseño de los recipientes debe ser mayor que la máxima de:

$$P > 1,1 \text{ Presión máxima de operación}$$

$$P > \text{Presión máxima de operación} + 1 \frac{kg}{cm^2}$$

Considerándose esto una normativa de seguridad para el diseño.

4. Espesor de los recipientes

Para recipientes cilíndricos que contienen líquidos la norma ASME (VIII.1) aconseja los espesores siguientes:

- Espesor del cilindro:

$$t_{cilindro} = \frac{\delta \cdot d \cdot r}{\theta t \cdot ES}$$

- Espesor de la cabeza y fondo:

$$t_{cabeza} = \frac{P \cdot be}{2 \cdot \theta t \cdot ES} + 1,8P$$

Donde:

δ : Peso específico del producto almacenado, kg/m^3 .

d: nivel máximo de producto almacenado, m.

r: radio del cilindro y cabeza, m.

θt : tensión máxima admisible del material, kg/m^2 .

P: presión externa, kg/m^2 .

D: diámetro externo, m.

A este espesor le tenemos que sumar el espesor que vamos a perder por corrosión a lo largo de la vida útil del material.

$$t_{corrosión} = 0,02 \frac{pulg}{año} \cdot 15 \text{ años} = 0,3 \text{ pulg} = 0,76 \text{ cm}$$

5. Material de construcción

La elección del material del recipiente que vamos a utilizar en la construcción de éste se hace en base a los siguientes factores:

- La temperatura del diseño
- La presión del diseño
- Las características corrosivas del fluido a almacenar
- El coste y la disponibilidad en el mercado de medidas estándares

El material de los recipientes que vamos a utilizar es de poliéster con fibra de vidrio. La tensión máxima admisible de este material es de 700 kg/cm^2 , considerando una eficacia de las soldaduras del 80%

Para el cálculo de los espesores de almacenamiento, es necesario utilizar la tensión máxima admisible del material, que es el resultado de dividir la tensión admisible del material por el coeficiente de seguridad aplicado en cada caso.

$$\theta t = \frac{\theta a(\text{tensión admisible})}{n(\text{coef. seguridad})}$$

El coeficiente de seguridad varía según el material, para aceros entre 2,5-5; para fundiciones entre 6-7 y para maderas entre 7-10.

6. Temperatura del proyecto

La temperatura del proyecto será la Temperatura de trabajo más la suma de la temperatura ambiente.

$$T_{\text{proyecto}} = T_{\text{trabajo}} + T_{\text{ambiente}}$$

7. Prueba hidráulica

Antes de su puesta en operación, todos los recipientes deben ser comprobados sometiéndolos a una prueba hidráulica a una presión mayor que la del proyecto.

La presión de prueba hidráulica será:

$$P_{hidráulica} = \frac{1,5 \cdot P \cdot \theta t}{\theta amb}$$

Donde:

P: Presión del proyecto

θt : Tensión máxima admisible a la T^a del proyecto

θamb : Tensión máxima admisible a T^a ambiente

En nuestro caso, $\theta t = \theta amb$ por lo tanto calcularemos la presión hidráulica como $P_{hidráulica} = 1,5P$

8. Peso del equipo

8.1 Peso del equipo vacío

- Cálculo superficie cilindro: $S_{cilindro} = \pi \cdot De \cdot H$
- Volumen acero cilindro: $V_{cilindro} = S_{cilindro} \cdot t_{cilindro}$
- Cálculo superficie cabeza: $S_{cabeza} = \frac{\pi}{2} Dp^2 + De(De - 2 \cdot Dp)$, siendo $Dp = 0,2 \cdot De$
- Volumen acero cabeza: $V_{cabeza} = S_{cabeza} \cdot t_{cabeza}$
- Volumen total acero del recipiente: $V_{acero} = V_{cilindro} + 2 \cdot V_{cabeza}$
- Cálculo peso recipiente vacío: $P_{vacío} = V_{acero} \cdot \rho_{acero} (7860 \text{ kg/m}^3)$

8.2 Peso del equipo con el líquido almacenado

- Cálculo peso recipiente lleno: $P_{lleno} = P_{vacío} + V_{líquido} \cdot \rho_{agua}$

1.2 Tanque de llenado del circuito primario

El volumen de agua a almacenar en este tanque es el correspondiente a la suma del volumen de las tuberías, volumen de los colectores solares y volumen del intercambiador de calor. Será un volumen suficiente para almacenar el líquido en caso de avería en el circuito y donde tendrá lugar el tratamiento o mezcla del agua con anticongelante (glicol) cuando sea necesario para evitar heladas.

Volumen tuberías (Cálculos anejo 4): $V_{tuberías} = 85$ L

Volumen colector solar, $V_{colector} = 66.6$ L

Volumen intercambiador de calor, $V_{IC} = 2,34$ L

Volumen total necesario, $V_T = 150$ L

Siguiendo la secuencia de cálculo anterior obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 1. Datos de diseño del depósito de llenado circuito primario

DEPÓSITO 1	
Volumen (m^3)	0,14
Volumen nominal (m^3)	0,15
Diámetro (m)	0,38
Radio (m)	0,19

Altura cilindro (m)	0,76
Altura cabeza (m)	0,095
Altura total (m)	0,95
Volumen cilindro (m^3)	0,086
Volumen fondo (m^3)	0,036
Presión máxima de operación (kg/m ²)	11363
Espesor por corrosión (mm)	7,6
Espesor del cilindro (mm)	4,7
Espesor final (mm)	12,4
Espesor fondo (mm)	4,7
Espesor final (mm)	12,4
Temperatura máxima (°C)	115
Prueba hidráulica (N/m ²)	151995
Peso equipo vacío (kg)	1394,6
Peso equipo lleno (kg)	1546

1.3 Tanque almacenamiento con salmuera

Este tanque almacena la salmuera rechazo de los distintos módulos, no se almacenará toda la salmuera resultante, sino que se va a aprovechar la salmuera necesaria que se utilizará para el lavado de los filtros. La salmuera que exceda la capacidad del depósito se vierte al mar directamente a través de una conducción de desagüe de salmuera; ya que no está muy concentrada y la diferencia de temperatura es pequeña, lo que no ocasionaría un gran problema medioambiental.

Tabla 2. Datos de diseño del depósito salmuera

DEPÓSITO 2	
Volumen (m^3)	5
Volumen nominal (m^3)	5,5
Diámetro (m)	1,5
Radio (m)	0,75
Altura cilindro (m)	3
Altura cabeza (m)	0,4
Altura total (m)	3,4
Volumen cilindro (m^3)	5,3
Volumen fondo (m^3)	0.7
Presión máxima de operación (kg/m ²)	11363
Espesor por corrosión (mm)	7,6
Espesor del cilindro (mm)	4,7
Espesor final (mm)	12,3
Espesor fondo (mm)	4,7
Espesor final (mm)	12,3
Temperatura máxima (°C)	115
Prueba hidráulica (N/m ²)	151995
Peso equipo vacío (kg)	951
Peso equipo lleno (kg)	6354

1.4 Tanque de almacenamiento del agua tratada

La producción diaria de agua desalada es de $3,33 m^3$, el tanque de almacenamiento se diseñará para cubrir 2 días de producción, por tanto su capacidad será de $6,6 m^3$. De aquí será bombeada a depósitos de distribución.

Tabla 3. Datos diseño depósito agua tratada

DEPÓSITO 3	
Volumen (m^3)	6,6
Volumen nominal (m^3)	7,3
Diámetro (m)	1,6
Radio (m)	0,8
Altura cilindro (m)	3,2
Altura cabeza (m)	0,4
Altura total (m)	4
Volumen cilindro (m^3)	6,4
Volumen fondo (m^3)	0,6
Presión máxima de operación (kg/m ²)	11636
Espesor por corrosión (mm)	7,6
Espesor del cilindro (mm)	4,7
Espesor final (mm)	12,3
Espesor fondo (mm)	4,7
Espesor final (mm)	12,3
Temperatura máxima (°C)	115
Prueba hidráulica (N/m ²)	151995
Peso equipo vacío (kg)	1123
Peso equipo lleno (kg)	8255

2. DISPOSITIVOS DE APOYO

Los sistemas de apoyo de los recipientes no están sometidos ni a presión interna ni externa, y por lo tanto, normalmente no se incluyen en los códigos o normas que regulan los recipientes. No obstante, es muy importante determinar

los espesores necesarios de estos elementos para garantizar la estabilidad mecánica de los recipientes.

Todos los recipientes van a tener una disposición vertical. Dentro de los verticales nos encontramos los faldones, las patas, y las ménsulas:

- ❖ Faldón: Son para recipientes que no pueden ser soportados por patas.

El recipiente va soldado a todo el contorno del faldón. Con este tipo de apoyo la carga se reparte uniformemente a lo largo del perímetro de la circunferencia de soldadura, evitando concentraciones de esfuerzos en la envolvente y disminuyendo la presión transmitida al suelo.

El diámetro medio del faldón y del recipiente tienen el mismo valor.

El espesor mínimo del faldón será 6 mm, en caso de que el recipiente tenga un espesor igual o superior a dichos 6 mm.

El anillo base tendrá una anchura de 250 mm y un espesor mínimo de 20 mm.

El número de pernos será múltiplo de 4, la distancia entre ellos no será menor de 400 mm, ni mayor de 600 mm, y su diámetro estará comprendido entre 16 y 60 mm.

- ❖ Patas: Se usan en recipientes pequeños. Normalmente recipientes con un diámetro, $D < 2,5$ m y una altura, $H < 5$ m; siempre y cuando el peso y los esfuerzos no sean excesivos, sino se utilizara un faldón. Son perfiles con distintas secciones transversales que se sueldan al recipiente por encima de la línea de soldadura del fondo de la carcasa. Se fijan al suelo soldándose a una placa base atornillada al suelo.

El número de patas será de 3 o 4. Serán construidas con perfiles comerciales, normalmente en forma de L, y habitualmente de acero al carbono, salvo la placa de refuerzo soldada directamente al equipo, que será del mismo material que éste.

- ❖ **Ménsulas:** Se usan en los recipientes verticales que deben soportarse en estructuras portantes, cuando las dimensiones y cargas no son muy grandes. Se sueldan en chapas que, a su vez, van soldadas al recipiente. Las ménsulas se apoyan en una estructura de sujeción.

Su número deberá ser 2,4 u 8, raramente mayor.

El depósito 1 y 3 llevará 4 patas y el 2 de un volumen mayor faldón.

ANEXO Nº 4:**DISEÑO DE BOMBAS Y TUBERÍAS**

1. DISEÑO DE LA RED DE TUBERÍAS.....	75
1.1 Tuberías.....	75
1.1.1 Velocidad de flujo	76
1.1.2 Diámetro de tubería.....	77
1.1.3 Coste de las tuberías.....	77
1.2 Válvulas, juntas y accesorios.....	77
2. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	78
2.1 Cálculo de la caída de presión.....	78
2.2 Cálculo de la potencia necesaria de la bomba.....	82
3. BOMBAS, VÁLVULAS Y TUBERÍAS DEL PROCESO.....	83
3.1 Circuito primario.....	83
3.1.1 Diseño Bomba 1.....	83
3.2 Circuito secundario.....	88
3.2.1 Bomba 2.....	88

1. DISEÑO DE LAS TUBERÍAS

Para obtener la potencia de las bombas necesarias, primero habrá que dimensionar las tuberías. Los sistemas de tuberías se componen de tres elementos principales, la propia tubería, las válvulas para controlar o detener el flujo y los accesorios (codos, bridas...)

1.1 Tuberías

Los códigos de diseño internacionales más usados para las tuberías de presión son aquellos reunidos por el Comité ASME B31. La mayoría de las tuberías de las plantas químicas y las refinerías de petróleo están diseñadas de acuerdo con este código, que se utilizará como referencia en los cálculos de este proyecto.

1.1.1 Velocidad de flujo en las tuberías de proceso

Las velocidades típicas y la caída de presión permisible que se pueden usar para estimar el tamaño de la tubería se muestran a continuación:

Tabla 1. Velocidad y caídas de presión típicas

	Velocidad, m/s	ΔP , kPa/m
Líquidos, bombeados (no viscosos)	1-3	0,5
Líquidos, circulación gravitacional	-	0,05
Gases y vapores	15-30	0,02% de la presión de la línea
Vapor de agua a elevada presión, > 8 bar	30-60	-

1.1.2 Diámetro y espesor de tuberías

El coste de una tubería aumenta con el diámetro, mientras que el coste del bombeo disminuye con el aumento del diámetro. El diámetro más económico será aquel que ofrece el coste anual más bajo.

El diámetro óptimo para las tuberías de cobre lo obtenemos mediante la ecuación:

$$d_{\text{óptimo}} = 366 \cdot G^{0,53} \cdot \mu^{0,03} \cdot \rho^{-0,37}$$

Siendo:

G, flujo másico (kg/s)

μ , viscosidad del fluido (mPa.s)

ρ , densidad del fluido (kg/m^3)

El espesor de la pared de la tubería se selecciona para resistir la presión interna. Las tuberías del proceso normalmente pueden considerarse como cilindros finos. Calcularemos el espesor de las tuberías como,

$$t = \frac{P \cdot d}{20 \cdot \sigma_d + P}$$

P, presión interna (bar)

D, diámetro externo de la tubería (mm)

σ_d , stress de diseño a la T° de operación (N/mm^2)

1.1.3 Coste de las tuberías

El precio de las tuberías está relacionado con el material de construcción y el diámetro de la tubería. Las ecuaciones que nos dan esta relación son:

$$\text{Coste} = B \cdot d^N$$

- Tuberías de acero inoxidable:

$$\text{Coste} = 31 \cdot d^{0,62} \frac{\$}{m}$$

- Tuberías de acero al carbón:

$$\text{Coste} = 27 \cdot d^{0,55} \frac{\$}{m}$$

1.2 Válvulas, juntas y accesorios

Toda la red de tuberías esta conexas por válvulas que regulan el funcionamiento de la instalación. Las válvulas utilizadas para una planta de procesos químicos se pueden dividir en dos grandes clases, dependiendo de su función primaria:

- Válvulas de cierre (válvulas de bloqueo o aislamiento), cuyo objetivo es cerrar la circulación.
- Válvulas de control, tanto manuales como automáticas, utilizadas para regular el caudal.

A continuación se nombran los tipos más básicos que se emplearan en el proyecto.

- *Válvulas de retención:* para evitar la circulación en sentido inverso

- *Válvulas de seguridad*: Todos los circuitos irán provistos de válvulas de seguridad a una presión que garantice que en cualquier punto no se superará la presión máxima de trabajo del elemento más delicado de la instalación, es decir la presión de diseño. Estas válvulas irán situadas en el campo solar, intercambiador y módulos.
- *Válvula de corte*: Se incluyen a la entrada y salida de todos los componentes, de tal modo que permitan una fácil sustitución o reparación sin necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación. Se instalarán en la entrada y salida a depósitos, al intercambiador, en la impulsión y retorno del campo de colectores y en la aspiración e impulsión de la bomba.
- *Válvula de bola*: También conocida como de esfera, permiten regular el flujo de un fluido y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. Según el número de conexiones que posee la válvula puede ser de dos o tres vías.

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

Las bombas que vamos a utilizar son bombas centrífugas para la impulsión de agua por las tuberías, por su bajo coste, fácil diseño, operación y mantenimiento.

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética potencial. El líquido entra por el eje hueco del rodete, aspirado como consecuencia de la disminución inicial de presión que producen sus álabes al

girar. Este líquido es proyectado radialmente a lo largo de los álabes por la acción de la fuerza centrífuga, aumentando considerablemente su energía cinética. A la salida del rodete, esta energía cinética adquirida se transforma en energía de presión, de acuerdo con la ecuación de Bernoulli, a costa de un ensanchamiento paulatino en la sección de paso.

2.1 Cálculo de la caída de presión en las tuberías de distribución

Aplicando Bernoulli entre dos puntos, obtenemos a partir de un balance de energía mecánica a fluidos que circulan por una conducción la siguiente ecuación,

$$g \cdot (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_2} - \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha_1} - \frac{\Delta P_f}{\rho} - W = 0 \text{ (J/kg)}$$

Dónde,

$(z_2 - z_1)$, Diferencia de elevación en la conducción (m)

$(P_2 - P_1)$, Diferencia de presión en la conducción (kPa)

ΔP_f , Caída de presión por fricción en la conducción incluyendo las pérdidas menores (kPa)

ρ , densidad del fluido (kg/m^3)

g , Aceleración por gravedad (m/s^2)

$\frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_2} - \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha_1}$, carga de velocidad

W , Potencia necesaria

_Pérdida de presión por fricción

La caída de presión en una tubería debido a la fricción es función del caudal, la densidad y viscosidad del fluido, el diámetro de la tubería, la rugosidad de la superficie de la tubería, y la longitud de ésta.

$$\Delta P_{f1} = 8.f. \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \frac{\rho.v^2}{2}$$

ΔP_{f1} , Caída de presión (N/m^2)

F, factor de fricción

L, longitud de la tubería (m)

d_i , diámetro interno de la tubería (m)

V, velocidad del fluido (m/s)

El factor de fricción se puede calcular:

- Para flujos turbulentos y de transición, mediante la ecuación de Chen (1979) que depende del número de Reynold y de la rugosidad de la tubería.

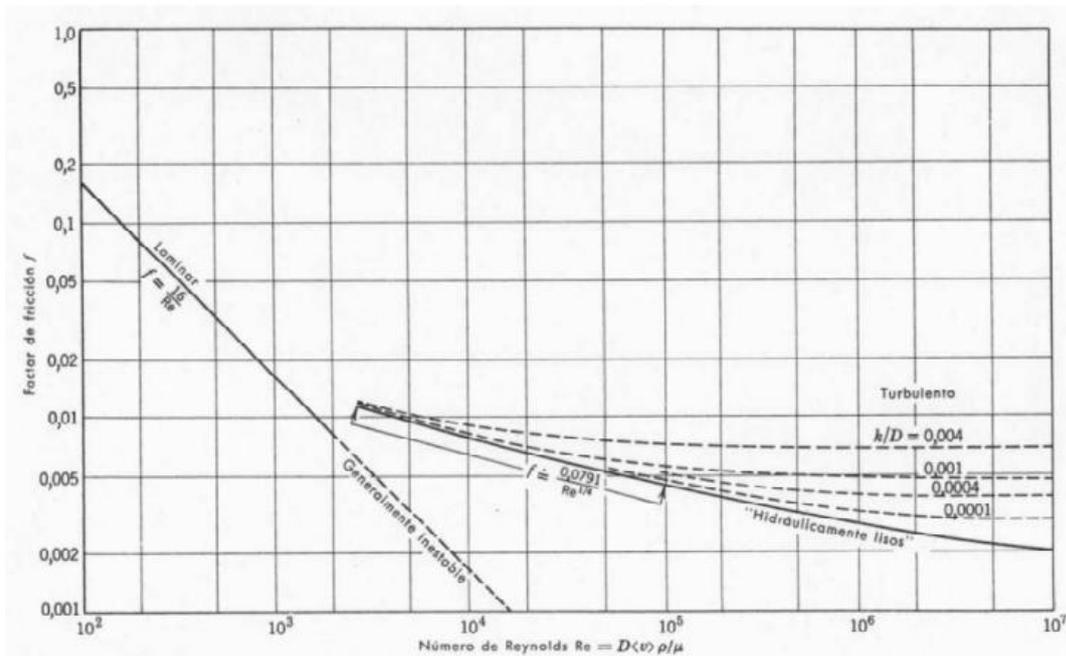
$$f = \left[-4 \log \left[\frac{1}{3.7065} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{d_i} \right) - \frac{5.0452}{N_{Re}} \cdot \log \left[\frac{1}{2.8257} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{d_i} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{N_{Re}^{0.8981}} \right] \right] \right]^{-2}$$

Dónde,

ε , La rugosidad del material de la conducción

N_{Re} , Número de Reynold = $\frac{\rho.v.d_i}{\mu}$

O mediante el gráfico de Moody:



- Para flujo laminar: $f = \frac{16}{N_{Re}}$

En la siguiente tabla se dan los valores de la rugosidad superficial absoluta de las tuberías usadas comúnmente, obteniendo la rugosidad relativa como:

$$e = \frac{\text{rugosidad absoluta}}{\text{diámetro interno de la tubería}}$$

Tabla 2. Rugosidad de las tuberías

Material	Rugosidad absoluta (mm)
Tubería estirada	0,0015
Tubo comercial de acero	0,046
Tubo de hierro fundido	0,26
Tubería de hormigón	0,3 a 3,0

_Pérdidas de presión diversas

Hay que tener en cuenta los accesorios de las tuberías, tales como curvas, codos, la reducción o ampliación de secciones y las uniones en T, ya que aumentarán la caída de presión en una tubería de distribución.

$$\Delta P_{f2} = K \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$$

Siendo K el número de cargas de velocidad perdido en cada accesorio o válvula.

Por tanto, vamos a calcular la caída de presión total como,

$$\Delta P_T = v^2 \cdot \rho \left(4.f. \frac{L}{di} + 0,5.K \right)$$

2.2 Cálculo de la potencia requerida de la bomba

Una vez obtenidos todos los parámetros anteriores, de la ecuación de Bernoulli obtenemos la potencia de accionamiento de la bomba, Na. Y la potencia de ésta la determinamos con la ecuación:

$$Na = \frac{m \cdot W}{\eta}$$

Dónde,

m, caudal másico (kg/s)

W, trabajo realizado por la bomba (J/kg)

η , eficiencia de la bomba

La energía que se debe suministrar para el bombeo de líquidos tiene que superar las pérdidas por fricción en las tuberías, superar las pérdidas diversas en los accesorios de la tubería, superar las pérdidas en el equipo del proceso, superar cualquier diferencia en la elevación de extremo a extremos de la tubería y cualquier diferencia en la presión entre los depósitos en cada extremo de la tubería de distribución.

3. BOMBAS, VÁLVULAS Y TUBERÍAS DEL PROCESO

3.1 Circuito primario

3.1.1 Diseño bomba circuito primario

La bomba del circuito primario debe elegirse a partir de las condiciones de trabajo, definidas por el caudal de circulación y la pérdida de carga total del circuito. La pérdida de carga total del circuito que tiene que vencer, engloba la caída de presión en las tuberías, la pérdida de presión en el lado caliente del intercambiador de calor y la pérdida de presión en los colectores solares. Esta última es proporcionada por el fabricante.

- Pérdida de presión en los colectores solares

$$\Delta P_{cs} = 900 \text{ Pa}$$

- Pérdida de presión lado caliente del intercambiador de calor (Cálculos anejo 5)

$$\Delta P_{IC} = 1116 \text{ Pa}$$

- Pérdida de presión en las tuberías

$$\Delta P_{Tub} = 201697 \text{ Pa}$$

Más adelante se muestran los cálculos dónde se obtienen la caída de presión en la red de tuberías.

En la figura 1 mostramos un diagrama con la red de tuberías correspondiente al circuito primario donde se encuentran, los paneles solares, la bomba que impulsa el fluido, que será una mezcla de agua y anticongelante (glicol) , el intercambiador de calor y el tanque de almacenamiento.

En la figura se distinguen las siguientes tuberías:

———— Tubería de agua fría

———— Tubería de agua caliente

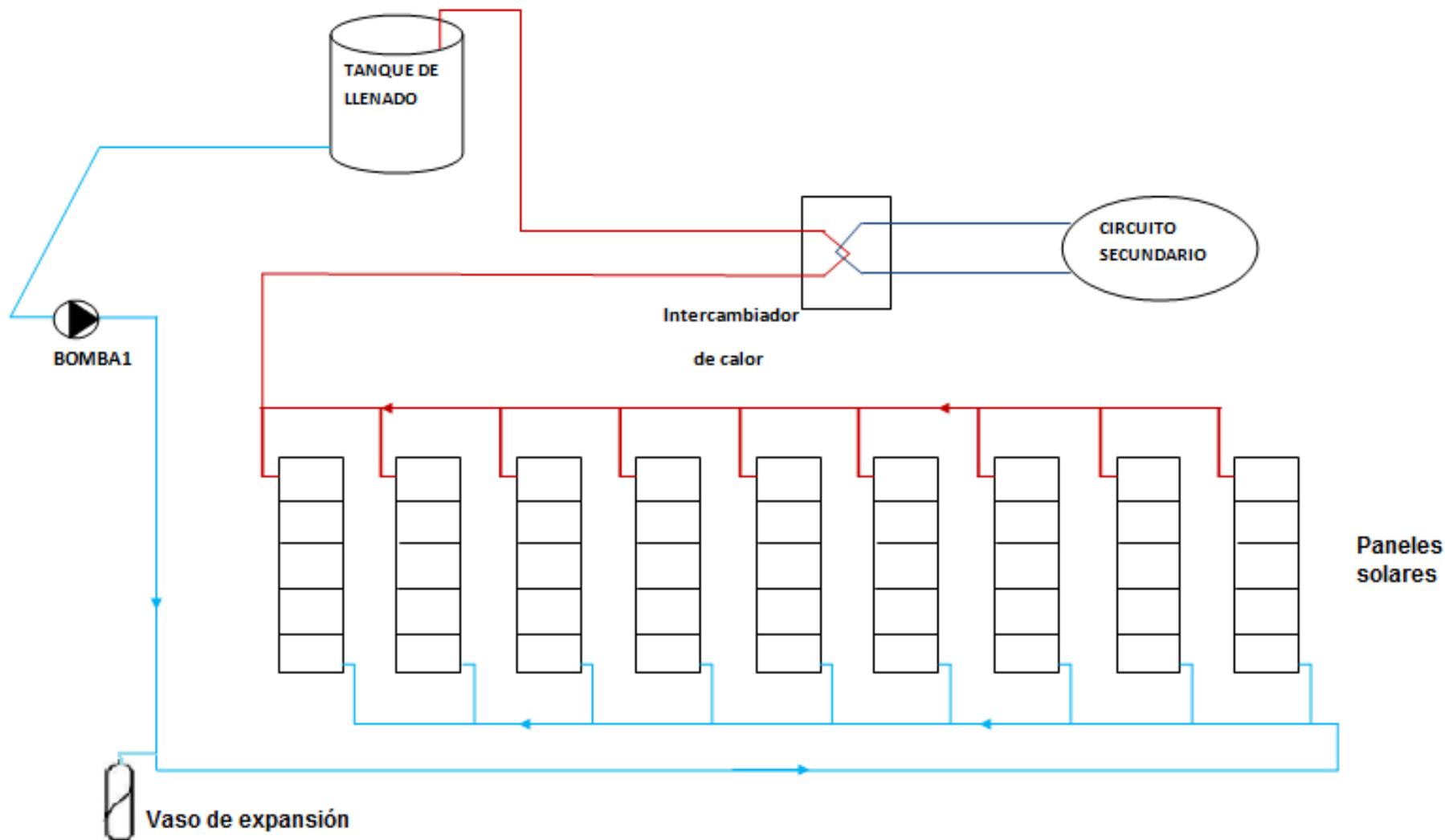


Figura 1. Circuito primario

En la siguiente tabla exponemos los datos de los distintos tramos de la tubería y del fluido, siendo el volumen de la tubería necesario para obtener la capacidad del tanque de almacenamiento de este circuito.

Tabla 3. Características tubería

	TRAMO 1	TRAMO 2
Caudal (L/h)	4194,4	466
Velocidad del fluido (m/s)	1,64	1,7
Sección de tubería (m²)	7.10^{-4}	$7,9.10^{-5}$
Diámetro interno (m)	0,04	0,02
Longitud tubería (m)	120	3,6
Volumen (m³)	0,084	0,00028

Con los datos anteriores obtenemos el factor de fricción a partir del número de Reynold y la rugosidad relativa para así obtener las pérdidas de presión; teniendo en cuenta también las pérdida por los accesorios. Los accesorios utilizados en este circuito son los siguientes:

- Campo solar
 - 1 válvula de seguridad por fila de captadores
 - 2 válvulas de cierre, a la entrada y salida de cada captador, con el fin de aislarlos para poder efectuar tareas de mantenimiento o reparación cuando sea necesario.
 - 1 grifo de vaciado
 - 1 purgador de aire por cada colector

- Bomba
 - 2 válvulas de cierre
 - 2 válvulas de antiretorno más manómetro
 - 1 válvula de seguridad
- Intercambiador (lado frío)
 - 2 válvulas de cierre
 - 2 termómetros
- Tanque de almacenamiento
 - Sistema de llenado y vaciado
 - Válvula de seguridad

Tabla 4. Caídas de presión en la tubería

TRAMO	Nº Reynold	Rugosidad,e	Factor de fricción,f	Longitud equivalente accesorios,K	ΔP_f
1	119916	0,0015	0,004	5	174810
2	39968	0,0046	0,045	7,2	26886

Finalmente, las características de la bomba necesaria para este circuito.

Tabla 5. Característica bomba 1

Bomba 1	
Tipo de bomba	Centrífuga
Rendimiento de la bomba, (%)	80
Trabajo a realizar, (J/kg)	198,5

Potencia, (W)	279,9
----------------------	-------

3.2 Circuito secundario

En el segundo circuito, donde tiene lugar la desalación del agua es necesaria otra bomba, encargada de bombear el agua salada que pasa por un filtro y llega hasta los módulos.

3.2.1 BOMBA 2

La pérdida de carga total que tiene que vencer esta bomba, engloba la caída de presión en las tuberías, la pérdida de presión en el lado frío del intercambiador de calor, la pérdida de presión en los módulos y la pérdida de presión en el filtro. Esta última es proporcionada por el fabricante.

- Pérdida de presión en los módulos

$$\Delta P_{módulos} = 1.10^5 \text{ Pa}$$

- Pérdida de presión frío caliente del intercambiador de calor (Cálculos anejo 5)

$$\Delta P_{IC} = 4107 \text{ Pa}$$

- Pérdida de presión en las tuberías

$$\Delta P_{Tub} = 229689 \text{ Pa}$$

- Pérdida de presión en el filtro

$$\Delta P_{filtro} = 8829 \text{ Pa}$$

Para estos cálculos vamos a diferenciar las tuberías por donde circula

-Agua salada del caudal de alimentación: AB-BC-CD

_ -Agua salada que entra y sale del intercambiador: DE-EF-FG-GH-HI

- Agua dulce: JK-KL-LM

-Caudal de salmuera o rechazo: NÑ-ÑO-OP

En la figura 2 mostramos la disposición de las tuberías, y se distinguen por colores las siguientes:

-  Tubería de agua salada
-  Tubería entrada al intercambiador de calor
-  Tubería salida del intercambiador de calor
-  Tubería de agua dulce
-  Tubería salmuera o rechazo

Las tuberías serán de Policloruro de vinilo (PVC), se caracterizan por su alta resistencia a la corrosión, a los ataques químicos debido a soluciones salinas y no transmiten ningún olor ni sabor. Teniendo en cuenta que es un material barato y fácil de instalar.

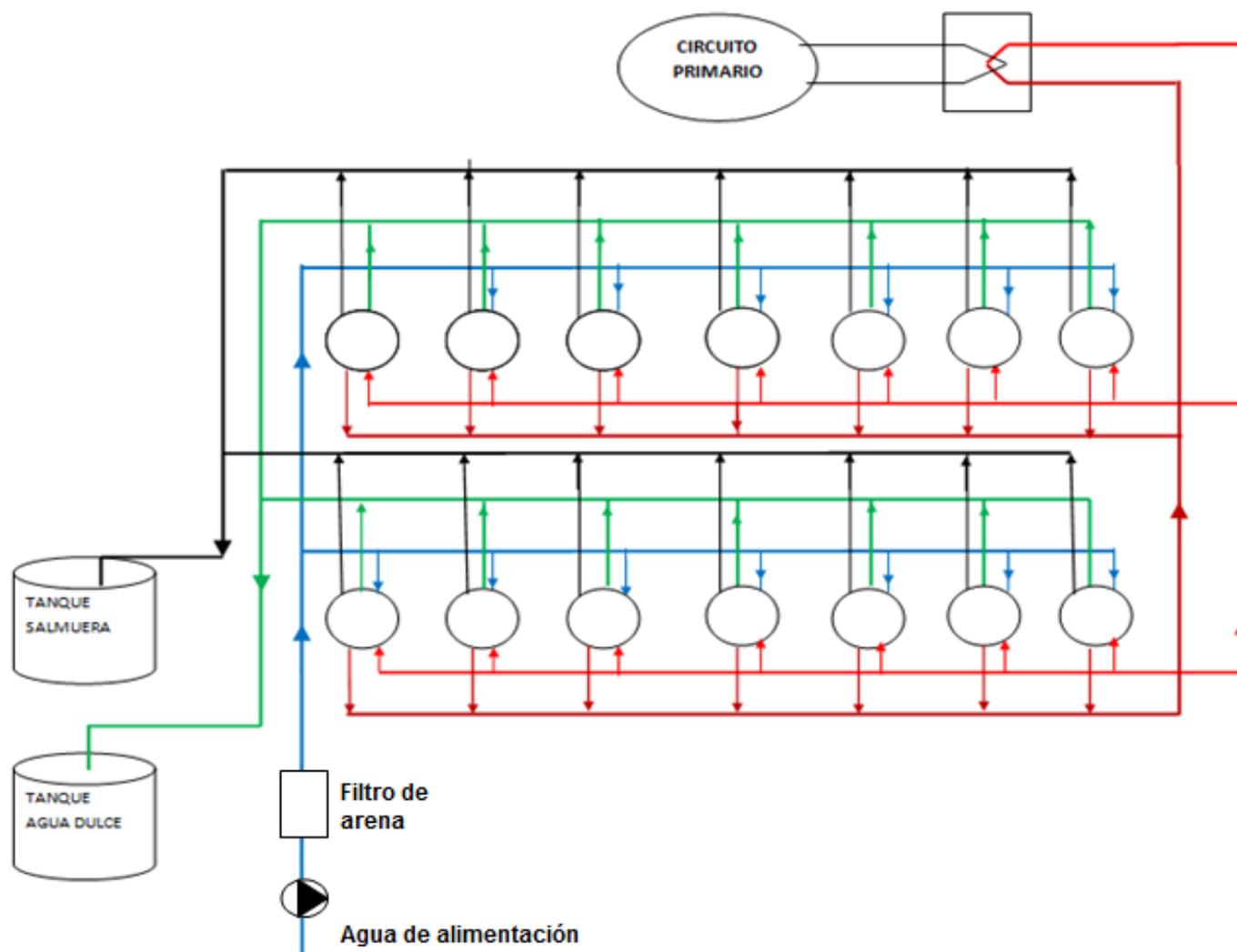


Figura 2. Circuito secundario

Tabla 8. Características de la tubería

TRAMO	Longitud, L(m)	Caudal volumétrico, Q(L/s)	Diámetro interno, di(m)	Velocidad, v(m/s)
AB	2,2	8400	0,05	1,18
BC	17,4	4200	0,04	0,93
CD	2,8	600	0,015	0,94
DE	2,8	600	0,015	0,94
EF	18,7	4200	0,04	0,93
FG	3	8400	0,05	1,18
GH	12,2	4200	0,04	0,93
HI	5,6	600	0,015	0,94
JK	5,6	29,7	0,005	0,42
KL	18,6	208,3	0,01	0,74
LM	3,4	416,7	0,01	1,5
NÑ	8,4	570,2	0,015	0,89
ÑO	18,6	3991,7	0,04	0,88
OP	2,1	7983,4	0,05	1,13

Como se ha hecho en el apartado anterior vamos a ver los accesorios utilizados en este segundo circuito.

- Módulos
 - Válvula de seguridad por fila de módulos

- 2 válvulas de corte por modulo, a la entrada y salida, con el fin de aislarlos para poder efectuar tareas de mantenimiento o reparación cuando sea necesario
- 112 uniones y acoplamientos
- Intercambiador de calor (lado frío)
 - 2 válvulas de corte
 - 2 termómetros
- Tanques de almacenamiento
 - Sistema de llenado y vaciado
 - Válvula de seguridad
- Bomba
 - 2 válvulas de corte
 - 2 válvulas antiretorno más manómetro
 - Válvula de seguridad

Con un total de 14 codos de 90° y 40 de 180°.

Tabla 9. Caídas de presión en la tubería

TRAMO	Nº Reynold	Rugosidad,e	Factor de fricción,f	Longitud equivalente accesorios,K	ΔP_f
AB	7634	$9,2 \cdot 10^{-4}$	0,004	6,1	5435
BC	4771	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,0045	21	16198
CD	1817	$8,8 \cdot 10^{-3}$	0,0015	21,2	19720
DE	1817	$8,8 \cdot 10^{-3}$	0,0015	0,56	10469
EF	4771	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,0045	9,8	11766
FG	7634	$9,2 \cdot 10^{-4}$	0,0042	1,2	2328

GH	4771	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,0045	21	14130
HI	1817	$8,8 \cdot 10^{-3}$	0,015	2,1	21386
JK	270	$6 \cdot 10^{-3}$	0,006	21	6742
KL	946	$1,7 \cdot 10^{-3}$	0,007	1,2	29334
LM	1893	$8,5 \cdot 10^{-3}$	0,015	2,2	47870
NÑ	1727	$9,3 \cdot 10^{-3}$	0,005	3,3	11507
ÑO	4534	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,0045	21	15062
OP	7255	$9,2 \cdot 10^{-4}$	0,004	2,2	2317

Finalmente, las características de la bomba necesaria para este circuito son,

Tabla 10. Características bomba2 necesaria

Bomba 2	
Caída de presión total (Pa)	327327
Diferencia de altura,(m)	0,9
Rendimiento de la bomba, (%)	80
Trabajo a realizar, (J/kg)	327
Potencia, (W)	982

ANEXO N° 5:
SISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR Y DE
FILTRADO

1. INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	95
1.1 Datos de las placas del intercambiador de calor.....	95
1.2 Procedimiento de diseño.....	96
2. SISTEMA DE FILTRACIÓN.....	101
2.1 Diseño filtro de arena.....	101
2.2 Limpieza del equipo.....	104

1. INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se va a utilizar un intercambiador de calor de placas, elegido por sus principales ventajas que son las siguientes:

- Alto coeficiente de transferencia de calor.
- Menor área de transferencia, lo que reduce el coste.
- Tamaño compacto, lo que hace que ocupe un espacio menos en la instalación.
- Posibilidad de baja diferencia de temperaturas entre los fluidos.

El intercambiador de calor es el que divide el circuito primario del secundario, su objetivo es ceder calor al agua salada que tiene que volver a entrar a los módulos a una temperatura mayor para que se produzca el proceso de evaporación dentro de los módulos.

1.1 Datos del intercambiador de calor

Tabla 1. Características de las placas del intercambiador

INTERCAMBIADOR DE PLACAS	
Área de intercambio por placa	$A_p = 0,064 \text{ m}^2$
Distancia entre placas	$b = 0,0025 \text{ m}$
Altura de placa	$L = 0,357 \text{ m}$
Ancho de placa	$W = 0,18 \text{ m}$
Espesor placa	$E = 0,0005 \text{ m}$
Coeficiente conductividad térmica del material	$K_m = 16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$
Longitud característica	$L_c = 2 \cdot b = 0,005 \text{ m}^2$
Área placa	$A_{\text{placa}} = L \cdot W = 0,064 \text{ m}^2$

Área canal	$A_{\text{canal}} = b \cdot W = 0,00045 \text{ m}^2$
------------	--

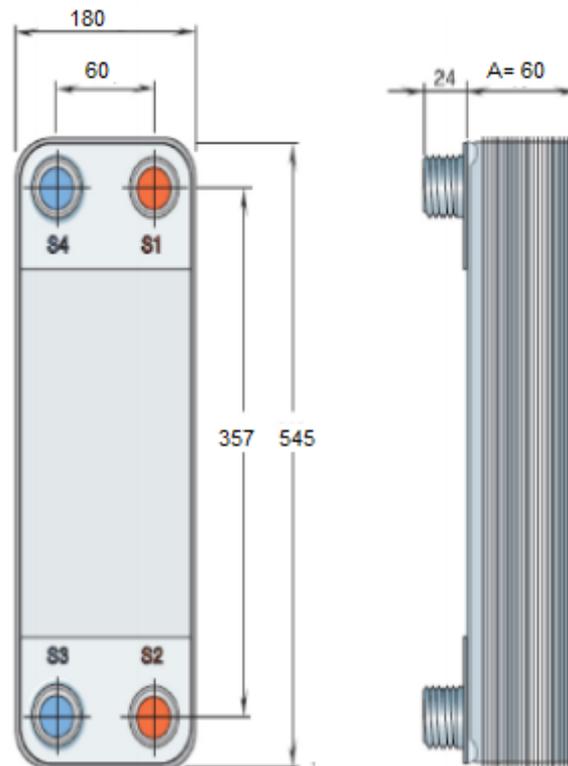


Figura 1. Intercambiador de placas

1.2 Procedimiento de diseño

1. Primero se van a recoger las *propiedades físicas* tanto de la corriente caliente como de la corriente fría, y si es necesario se hará un balance de energía para calcular los caudales o temperaturas no especificadas.

Tabla 2. Datos fluido caliente

FLUIDO CIRCUITO PRIMARIO	Entrada	Salida	Promedio
Temperatura (°C)	90	80	85
Calor específico (J/kg.°C)	4180	4170	4175
Conductividad térmica (W/ m .°C)	0,680	0,643	0,663
Densidad (kg/m ³)	956	990,1	972,5
Viscosidad (Pa.s)			0,0004

Tabla 3. Datos fluido frío

FLUIDO CIRCUITO SECUNDARIO	Entrada	Salida	Promedio
Temperatura (°C)	75	80	77,5
Calor específico (J/kg.°C)	4000	4100	4000
Conductividad térmica (W/ m .°C)	0,680	0,643	0,663
Densidad (kg/m ³)	1025,3	998,9	1015
Viscosidad (Pa.s)			0,0055

El caudal de agua fría que pasa por el intercambiador de calor, es el agua que entra a los módulos, su caudal másico es de $m_2=2,37$ kg/s .

Y a partir de un balance de energía, obtenemos el caudal de agua necesario para el circuito primario, el que pasa por los paneles solares, su caudal másico es de $m_1=1,13$ kg/s.

2. Suponemos *coeficiente global de transferencia*, $U_{supuesto}$.

3. En el intercambiador de calor, la diferencia de temperaturas entre ambos fluidos no es constante. Por tanto, para el cálculo de la diferencia se hace uso de la *diferencia media logarítmica*, ΔT_{ml} ; expresada en función de las temperaturas de entrada y salida de los fluidos.

Teniendo en cuenta que los fluidos van a contracorriente la ecuación queda como:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} = 7,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Siendo,

T_1 y T_2 : Temperatura de entrada y salida del fluido caliente (°C).

t_1 y t_2 : Temperatura de entrada y salida del fluido frío (°C).

Es necesario introducir un factor de corrección de temperatura, Ft; quedando:

$$\Delta T_m = Ft. \Delta T_{ml} = 7,07 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. Eficiencia del intercambiador

$$\varepsilon = \frac{m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_1 - T_2)}{C_{\min} \cdot (t_1 - t_2)} = 70\%$$

Siendo $C_{\min} = \text{mínimo}(m_1 \cdot C_{p1}, m_2 \cdot C_{p2})$

5. Área de transferencia

El área de transferencia se calcula despejándolo de la ecuación que nos indica el flujo de calor.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \rightarrow A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_m} = 1,27 \text{ m}^2$$

6. Número de placas

Con el área de transferencia anterior, y el área de transferencia de una placa, obtenemos el número de placas que formará el intercambiador de calor.

$$N = \frac{A}{A_p} = 20$$

El número de veces que el fluido pasa por las placas del intercambiador será:

$$n = \frac{N+1}{2} = 9$$

7. Cálculo de la velocidad de masa del fluido

- Primero se calcula la cantidad de flujo que atraviesa cada lado del intercambiador:

$$W = m/n$$

Dónde, m es el caudal másico (kg/s)

- Una vez que sabemos W , se tiene la velocidad del fluido, $G = W / A_c$;
 dónde A_c , es el área de la sección transversal, obtenida a partir de $A_c = a \cdot c$.

Siendo, a : ancho efectivo de la placa y c : espesor espacios vacíos.

Obteniendo en cada lado las siguientes velocidades de flujo:

Fluido caliente (circuito primario): $G_1 = 0,28$ m/s

Fluido frío (circuito secundario): $G_2 = 0,55$ m/s

8. Cálculo del coeficiente de convección del lado caliente y frío

El coeficiente de convección es función de las propiedades del fluido y de la geometría de las placas, se puede calcular a partir de correlaciones o bien gráficamente. Aquí se va a calcular gráficamente ya que es más exacto. Es necesario calcular previamente los valores de,

$$\text{Número de Reynold, } N_{re} = \frac{v \cdot \rho \cdot l_c}{\mu}$$

$$\text{Número de Prandt, } Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{K}$$

$$\text{Número de Nusselt, } Nu = 0,4 \cdot Pr^{0,4} \cdot Re^{0,64}$$

Siendo,

l_c , longitud característica del canal (m)

v , velocidad del fluido (m/s)

μ , viscosidad del fluido $\frac{N \cdot s}{m^2}$

ρ , densidad del fluido, $\frac{kg}{m^3}$

En función del Nusselt vamos a obtener los coeficientes de convección de ambos fluidos.

$$Nu = \frac{h \cdot l_c}{K} \rightarrow h = \frac{Nu \cdot K}{l_c}$$

Tabla 4. Coeficientes de convección

	Fluido caliente(circuito primario)	Fluido frío (circuito secundario)
Nre	3363	5121
Pr	2,5	3,3
Nu	104,7	152,8
$h \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$	13880	11658

9. Coeficiente global de transferencia, $U_{calculado}$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_h} + \frac{e}{K_m} + \frac{1}{h_c} + ff_h + ff_c} = 5300 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Donde, h_h y h_c , son los coeficientes de convección de los fluidos caliente y frío, e es el espesor de la placa, K_m , es la conductividad térmica del material y $ff_h + ff_c$, son los factores de ensuciamiento de los fluidos caliente y frío.

10. Caída de presión

Por último, se calcula la caída de presión en ambos lados del intercambiador, esta determina la potencia y el consumo de energía de las bombas que impulsan los fluidos, y por tanto influyendo en la inversión y los costes de operación.

$$\Delta P = 8 * j_f * \left(\frac{\mu_w}{\mu} \right)^{0.14} \frac{L * \rho * V^2}{d_e * 2}$$

Las caídas de presión obtenidas son:

$$\Delta P_1 = 1116 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_2 = 4107 \text{ Pa}$$

Donde,

ΔP =caída de presión (Pa)

L, longitud (m)

D_e , diámetro equivalente (m)

V, velocidad del fluido (m/s)

j_f , factor de fricción, determinado mediante tablas.

El material del intercambiador será de titanio para ser resistente a la corrosión, de la firma ALFA-NAVAL, modelo base-3.

2. SISTEMA DE FILTRADO

2.1 Diseño del filtro de arena

Los filtros de arena o también denominados filtros de grava, corresponden a un recipiente o tanques, normalmente circulares que llevan en su interior arena o grava de un determinado tamaño. Son muy utilizados cuando se dispone de agua con niveles altos y medios de partículas orgánicas e inorgánicas, ya que tienen retienen niveles importantes de sustancias sin aumentar significativamente la pérdida de carga.

Los filtros de arena consisten en dos o más depósitos conectados en paralelo con una entrada y salida de agua común. El agua se incorpora por la parte de arriba del depósito, pasa a través de la grava que actúa como medio filtrante y sale limpia por la parte inferior.

Lo normal es la instalación de dos o más depósitos ya que mientras uno está en funcionamiento el otro estará en operación de limpieza. En el presente proyecto se utilizará una unidad, ya que el funcionamiento de la instalación

será durante el día, y por la noche se podrá llevar a cabo el mantenimiento de estos.

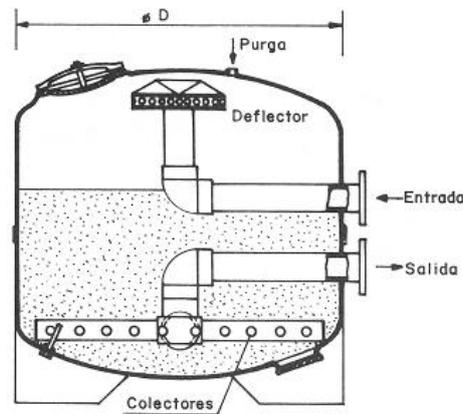


Figura 2. Filtro de arena

La capacidad de flujo de un filtro de arena está determinado por el diámetro (m) y la tasa de filtrado ($\frac{m^3}{h.m^2}$). Los diámetros de cilindro más comunes son: 18, 24, 30, 36 y 48 pulgadas. Las tasas de filtración más utilizadas son:

Tabla 5. Relación diámetro-tasa de filtración

Diámetro (m)	Tasa de filtración ($m^3 / h.m^2$)
0,46	36,67
0,61	48,89
0,76	61,11
0,91	73,34

La calidad del agua puede clasificarse de acuerdo al tipo, tamaño y concentración de partículas presentes. La tasa de filtración es seleccionada en base a los parámetros de calidad como vemos en la tabla 6.

Tabla 6. Relación concentración-tasa de filtrado

Niveles de sólidos en suspensión	Concentración (mg/mL)	Tasa de filtración ($m^3/h.m^2$)
Leve	0-10	61,11-73,34
Moderado	10-100	48,89-61,11
Severo	100-400	36,67-48,89

Fijándonos en esta tabla y según el agua que vamos a tratar en este proyecto, el nivel de sólidos se considera de un nivel moderado y por tanto, la tasa de filtración será de $61,11 m^3/h.m^2$ y por tanto, el diámetro de filtro de 0,76 m.

La siguiente tabla muestra los caudales de trabajo por filtro en función del diámetro y la tasa de filtración.

Tabla 7. Caudales de trabajo (m^3/h)

Tasa de filtración ($m^3/h.m^2$)	Diámetro de filtro (m)			
	0,46	0,61	0,76	0,91
36,67	6,13	10,67	16,81	24,08
48,89	7,95	14,31	22,26	32,02
61,11	9,99	17,94	27,94	40,20
73,34	12,04	21,35	33,39	48,15

El caudal de filtrado que obtenemos para un filtro que tiene de diámetro 0,76 m y un tasa de $61,11 m^3/h.m^2$ es de $27,94 m^3/h$

Un diámetro menor a lo recomendado puede producir una serie de problemas, como un aumento de la pérdida de carga de filtro a niveles superiores del máximo permitid; necesidad de limpieza frecuente del filtro, ya que se saturan con más rapidez y la calidad del filtrado no sería buena ya que no se lograrían retener todas las partículas.

Un diámetro mayor implicaría una disminución de la tasa de filtración, reduciendo la pérdida de carga, disminuyendo la frecuencia de limpieza del filtro pero aumentando el coste de implementación de los filtros, ya que se requerirán filtros más grandes.

En los filtros de arena no es posible medir el tamaño de los orificios, pero se puede asociar la calidad del filtrado a unidades mesh.

La arena o grava se clasifica según la granulometría del material y del tamaño de los poros. El diámetro de los poros incide en el tamaño mínimo de partículas que serán retenidas, mientras que la tasa de trabajo es función del caudal de trabajo, el diámetro de los filtros y del número de unidades.

La tabla 8 proporciona información acerca del diámetro de poros y la equivalencia en unidades mesh de diferentes tipos de grava.

Tabla 8. Equivalencia unidad mesh

Material	Clase	Ø efectivo(mm)	Ø poros(mm)	Mesh
Granito molido	Nº 8	1,50	0,214	70
Granito molido	Nº 11	0,78	0,111	140
Arena sílice	Nº 16	0,66	0,094	170
Arena sílice	Nº 20	0,46	0,066	230
Arena sílice	Nº 30	0,27	0,039	400

El número mesh 170 nos asegurará un filtrado suficiente para nuestro objetivo.

2.2 Limpieza del equipo

Para limpiar el filtro de arena se invierte el sentido de la circulación del agua, para lo cual se prevé de antemano las correspondientes derivaciones en las tuberías de entrada y salida.

El caudal necesario para el lavado está relacionado con la granulometría y debe permitir una expansión de la altura del lecho del 15 al 20 %.

Es necesario utilizar el caudal adecuado que garantice la suspensión adecuada de la arena y la separación de las partículas de suciedad. Un caudal insuficiente, no permite la expansión de la arena y por tanto no permite la adecuada eliminación de la suciedad, mientras que un caudal excesivo produce una expansión en volumen de la grava hasta un punto que se produce un arrastre de material fuera del filtro

El tiempo de limpieza de los filtros depende de la calidad del agua tratada y del grado de suciedad de estos. Estos se deben lavar tan pronto como la pérdida de presión haya alcanzado el umbral máximo de diseño (6-7 m.c.a)

La siguiente tabla nos muestra los caudales mínimos que deben ser utilizados en función del diámetro de filtro y del tipo de grava utilizada para asegurar una buena limpieza.

Tabla 9. Caudal mínimo de lavado (L/min)

TIPO DE ARENA	Diámetro de filtro (m)			
	0,46	0,61	0,76	0,91
Nº 8	193	344	534	761
Nº 11	98	182	280	397
Nº 16	121	216	337	477
Nº20	98	182	280	397

En nuestro caso el caudal mínimo de lavado será de 337 L/min.

PLIEGO DE CONDICIONES

1. DISPOSICIONES GENERALES.....	107
2. CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA.....	110
3. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA.....	120
4. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA.....	130
5. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL.....	140

1. DISPOSICIONES GENERALES

1.1 Obras objeto del presente estudio

Se consideran sujetas a las condiciones de este Pliego, todas las obras cuyas características, planos y presupuestos, se adjuntan en las partes correspondientes del presente proyecto, así como todas las obras necesarias para dejar completamente terminados los edificios e instalaciones con arreglo a los planos y documentos adjuntos.

Se entiende por obras accesorias, aquellas que por su naturaleza, no puedan ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos.

Las obras accesorias, se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando la importancia lo exija se construirán en base a los proyectos adicionales que se redacten. En los casos de menor importancia se llevaran a cabo conforme a la propuesta que formule el Ingeniero director de la Obra.

1.2 Obras accesorias no específicas

Si en el transcurso de los trabajos se hiciese necesario ejecutar cualquier clase de obras o instalaciones que no se encuentran descritas en este Pliego de Condiciones, el Adjudicatario estará obligado a realizarlas con estricta sujeción a las órdenes que, al efecto, reciba del Ingeniero Director de Obra.

El Ingeniero director de Obra tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados, los cuales estarán expuestos para su aprobación de forma que, a su juicio, las obras o instalaciones que resulten

defectuosas totalmente o parcialmente, deberán ser demolidas, desmontadas o recibidas en su totalidad o en parte, sin que ello de derecho a ningún tipo de reclamación por parte del Adjudicatario.

1.3 Documentos que definen la obra

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entregue al contratista pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los planos, pliego de condiciones, cuadros de precios y presupuestos parcial y total, que se incluyen en el presente proyecto.

Los datos incluidos en la memoria y anejos, así como la justificación de precios tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio en el planteamiento de la obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la dirección técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

1.4 Compatibilidad y relación entre documentos

En caso de contradicción entre los planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último. Lo mencionado en los planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

1.5 Dirección en las obras

El contratista deberá seguir las instrucciones del director de la obra en todo lo referente a calidad y acopio de materiales, ejecución de la obra, modificaciones del Proyecto, programa de trabajo y precauciones a adoptar.

La propiedad nombrará en su representación a un Ingeniero Químico, en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto. El Contratista proporcionará toda clase de facilidades para que el Ingeniero Director o sus subalternos puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

No será responsable ante la propiedad de la tardanza de los Organismos competentes en la tramitación del Proyecto. La tramitación es ajena al Ingeniero Director quien una vez conseguido todos los permisos, dará la orden de comenzar la obra.

1.6 Disposiciones a tener en cuenta

- Pliegos de Prescripciones Técnicas Generales vigentes del M.O.P.U.
- Normas Tecnologías de la Edificación (NTE).
- Instrucción EP-80 para el proyecto y la ejecución de obras en hormigón pretensado.
- Métodos y Normas de Ensayo del Laboratorio General del M.O.P.U.
- Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas MIBT complementarias.
- Normativa MIE-APQ-1 sobre Almacenamiento de Líquidos inflamables y combustibles.
- Reglamento sobre recipientes y aparatos a presión.

2. CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

La obra civil proyectada cumplirá las condiciones prescritas en:

- Instrucción EH-91 y EF-96.
- Pliego General de Condiciones de la Edificación.
- Normas Tecnológicas de la Edificación.
- Pliego de P.T. Para la recepción de cementos
- Ordenanza de Trabajos para las industrias de la Construcción.
- Norma Sismorresistente (NCSR-02)

2.1 Replanteo

Antes de dar comienzo a las obras, el ingeniero director auxiliado del personal subalterno necesarios y con presencia del contratista o de 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 llevaran a cabo de acuerdo con las instrucciones y órdenes del ingeniero director de la obra, quien realizara las comprobaciones necesarias en presencia del contratista o de su representante.

El contratista se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo.

2.2 Movimiento de tierras

Se refiere el presente artículo a los desmontes y terraplenes para dar al terreno la rasante de explanación, la excavación a cielo abierto realizada con medios manuales y/o mecánicos y a la excavación de zanjas y pozos.

Antes de comenzar las demoliciones o excavaciones de cualquier tipo es preceptivo el corte de la alimentación de todas las instalaciones que puedan afectar a dichos trabajos.

La propiedad deberá fijar las redes existentes en la zona, siendo entonces responsabilidad de la contrata cualquier avería o corte producido.

Todas las excavaciones permanecerán secas mientras duren los trabajos, debiéndose prever todos los elementos necesarios para garantizar la seguridad y protección del personal, incluido entibaciones necesarias.

Se evitara la formación de polvo que pueda afectar a las instalaciones próximas.

Todos los materiales procedentes de la excavación, que no sean aprobados para rellenos, se llevaran a vertedero adecuado, dentro o fuera del recinto de la fábrica.

La excavación se ajustara a lo previsto en los planos. En caso de exceso de excavación no se computara a efectos de medición y abono.

2.3 Red horizontal de saneamiento

Contempla el presente artículo las condiciones relativas a los diferentes aspectos relacionados con los sistemas de captación y conducción de aguas del subsuelo para protección de la obra contra humedad. Se adoptan las condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, condiciones relativas a los materiales y equipo de origen industrial, control de la ejecución, criterios relativos a las pruebas de servicio, criterios de valoración y normas para el mantenimiento del terreno establecidas en la NTE, así como lo establecidos en la orden de 15 de septiembre de 1986, del M.O.P.U.

2.4 Cimentaciones

Obra señale, con independencia de lo señalado en el proyecto, que tiene carácter meramente informativo. No se rellenaran los cimientos hasta que lo ordene el Director.

El Ingeniero Director queda facultado para introducir las cimentaciones especiales o modificaciones que juzgue oportuno en función de las características particulares que presente el terreno.

Se adoptan las condiciones relativas a materiales, control, valoración, mantenimiento y seguridad especificados en las normas:

- DB-SE C. ``Seguridad estructural. Cimentación``.
- NTE-CSZ. ``Cimentaciones Superficiales. Zapatas``.
- NTE-CSC. ``Cimentaciones Superficiales. Corridas``.
- NTE-CSC. ``Cimentaciones Superficiales. Losas``.

2.5 Forjados

Regula el presente artículo los aspectos relacionados con la ejecución de forjados pretensados autorresistentes armados de acero o de cualquier otro tipo con bovedillas cerámicas de hormigón y fabricado en obra o prefabricado bajo cualquier patente.

Las condiciones de ejecución, de seguridad en el trabajo, de control de ejecución, de valoración y de mantenimiento, son las establecidas en las normas EFHE Instrucción de Forjado.

2.6 Hormigones

Se refiere el presente artículo a las condiciones relativas a los materiales y equipos de origen industrial relacionados con la ejecución de las obras de hormigón en masa o armado o pretensado fabricados en obra o prefabricados, así como las condiciones generales de ejecución, criterios de medición, valoración y mantenimiento.

Regirá lo prescrito en la instrucción EH-91 para las obras de hormigón en masa o armado y la instrucción EP-80 para las obras de hormigón pretensado. Asimismo se adopta lo establecido en las normas NTE-EH ``Estructuras de Hormigón'', y NTE-EME ``Estructuras de Madera Encofrados''.

Los ensayos serán los necesarios para su control Normal y se determinaran antes de comenzar estas unidades, el nº de ensayos y donde, el coste y la casa de ensayos que los va a realizar. El resultado de los ensayos los recibirá por separado la Dirección, la Propiedad y la Contrata.

Los encofrados serán lo suficientemente herméticos como para impedir que se escape la lechada de cemento.

La fabricación de los Hormigones de resistencia H-200 o superior se realizara en central con dosificación con peso automatizada.

El transporte se realizara mediante Camion-Hormigonera Giratorio, con un tiempo máximo entre carga y descarga de 1 hora y media.

El vertido de hormigón será continuo, no debiendo transcurrir más de 30 minutos entre dos camiones para impedir el fraguado del hormigón colocado.

La máxima caída libre de las masas, en cualquier punto de su recorrido no excederá de un metro y medio (1,50 m).

En losas y vigas el extendido del hormigón se ejecutara de modo que el avance se realice en todo su espesor.

La compactación dl hormigón se realizara mediante vibración, con vibradores de frecuencia inferior a seis mil ciclos por minuto.

Se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que dentro de las 48 horas siguientes puede descender la temperatura por debajo de los 0°C.

Se suspenderá el Hormigonado en caso de lluvia.

El proceso de curado deberá prolongarse hasta que el hormigonado alcance el 70% de su resistencia de Proyecto. Para el curado se mantendrá húmeda la superficie mediante riego directo.

El control se realizara midiendo la consistencia y la resistencia característica.

Tipo de consistencia	Tolerancia en cm
Plástica	±1
Blanda	±1

Para la resistencia se exigirá un control manual.

2.7 Estructura metálica

Se establecen en el presente artículo las condiciones relativas a los materiales y equipos industriales relacionados con los aceros laminados utilizados en las estructuras de edificación, tanto en sus elementos estructurales, como en sus elementos de unión.

Asimismo se fijan las condiciones relativas a la ejecución, seguridad en el trabajo, control de la ejecución, valoración y mantenimiento.

Los materiales se ajustaran a la Norma DB-SE-A ``Seguridad Estructural Acero ´´, para el acero laminado en estructuras de Edificación.

Las soldaduras se harán de acuerdo con la norma MV-104.

Cada pieza individual se puede considerar a plomo, nivel o en línea, si el error no excede de 1/500 de luz.

Todos los pilares tubulares que se utilicen el la estructura metálica irán cerrados herméticamente en sus extremos mediante chapas de espesor no inferior a los 3mm. No se montarán sin cerrar.

La medición de la estructura metálica será sobre pesos teóricos. Para las chapas se aplicará una densidad de 7850 kg/m³. Las tolerancias, despuntes, soldaduras, pinturas, etc. se consideran incluidas en el precio ofertado.

Se efectuaran inspecciones sistemáticas y ensayos no destructivos en el orden al control de:

Estado de los Perfiles antes de soldar, procedimiento empleado, capacitación de los soldadores y cordones de soldaduras efectuados.

Se adopta lo establecido en la Norma:

- CTE DB-SE-A: ``DOCUMENTO BÁSICO DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE ACERO´´

2.8 Cubiertas y parámetros metálicos

Se refiere el presente artículo a la cobertura de edificios con tejas, plaquetas de fibrocemento, tejas cerámicas o de cemento y paramentos metálicos en el que el propio elemento proporciona la estanqueidad.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipos de origen industrial y control de la ejecución, condiciones generales de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son los especificados en las siguientes normas:

- NTE-QTF: ``Cubiertas. Tejados de fibrocemento``
- NTE-QTG: ``Cubiertas. Paneles de doble chapa de acero``

2.9 Albañilería

Se refiere el presente artículo a la fábrica de bloques de hormigón o ladrillo, a tabiques de ladrillo o prefabricados y revestimiento de parámetros, suelos, escalera y techos.

Las condiciones funcionales y de calidad relativa a los materiales y equipo de origen industrial, control de ejecución y seguridad en el trabajo, así como los criterios de valoración y mantenimiento son las que especifican las normas:

- CTE DB-SE F: ``DOCUMENTO BÁSICO DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL PARA FÁBRICA``
- NTE-FFL: ``Fachadas de ladrillo``
- NTE-EFL: ``Estructuras de fabrica de ladrillo``
- NTE-RPA: `` Revestimiento de paramentos. Alicatados``
- NTE-RPE: ``Revestimiento de paramentos. Enfoscado``
- NTE-RPG: ``Revestimiento de paramentos. Guarnecidos y enlucidos``
- NTE-RPP: ``Revestimiento de paramentos. Pintadas``
- NTE-RPR: ``Revestimiento de paramentos. Revocos``
- NTE-RSP: ``Revestimiento de suelos y escaleras. Placas``
- NTE-RTC: `` Revestimiento de techos. Continuos``
- NTE-PTL: ``Tabiques de ladrillo``

2.10 Solera

Sobre la zahorra artificial, compactada y nivelada, se colocara el mallado con solape adecuado, que luego se levantara hasta quedar a 5cm de la superficie.

La tolerancia de acabado de la solera será de 5mm con una regla de 3m.

La solera irá tratada con un revestimiento de estas características:

- Resistente a ácidos y disolventes. DIN 51091.
- Antideslizante. Norma NLT-175/73
- Resistente a la abrasión. Norma CRD-C52-50, USA.
- Resistente al impacto. Norma UNE 74040.
- Resistente al fuego (MI). Norma UNE 23727-80.
- Resistente al desgaste por rozamiento. Norma UNE 7015 y 41008.

Es un revestimiento a base de Resinas Epoxi, sin disolventes, con un consumo total mínimo de $500g/m^2$.

2.11 Carpintería y cerrajería

Se refiere el presente artículo a las condiciones de funcionalidad y calidad que han de reunir los materiales y equipos industriales relacionados con la ejecución y montaje de puertas, ventanas y demás elementos utilizados en particiones y accesos interiores.

Asimismo, regula el presente artículo las condiciones de ejecución, medición, valoración y criterios de mantenimiento.

- NTE-PPA: ``Puertas de acero.``
- NTE-PPM: ``Puertas de madera``

2.12 Aislamientos

Los materiales a emplear y la ejecución de la instalación estarán de acuerdo con lo prescrito en la norma CTE DB-HE ``Ahorro de energía``

La medición y valoración de la instalación de aislamiento se lleva a cabo en la forma prevista en el presente proyecto.

2.13 Red vertical de saneamiento

Se refiere el presente artículo a la red de evacuación de aguas pluviales y residuos desde los puntos donde se recogen, hasta la acometida de la red de alcantarillado, fosa aséptica, pozo de filtración o equipo de depuración así como a estos medios de evacuación.

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento son la establecida en las normas:

- CTE DB-HS: ``DOCUMENTO BÁSICO SALUBRIDAD``
- NTE-ISS: ``Instalaciones de salubridad y saneamiento``
- NTE-ISD: ``Depuración y vertido``
- NTE-ISA: ``Alcantarillado``

2.14 Instalación eléctrica

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas

MBT complementarias. Asimismo se adoptaran las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE-IEB: ``Instalación eléctrica de baja tensión``
- NTE-IEE: ``Alumbrado exterior``
- NTE-IEI: ``Alumbrado interior``
- NTE-IEP: ``Puesta a tierra``
- NTE-IER: ``Instalaciones de electricidad red exterior``

2.15 Instalaciones de fontanería

Regula el presente artículo las condiciones relativas a la ejecución, materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento de las instalaciones de abastecimiento y distribución de agua. Asimismo, se adopta lo establecido en las normas:

- NTE-IFA: ``Instalaciones de fontanería``
- NTE-IFC: ``Instalaciones de fontanería. Agua caliente``
- NTE-IFF: ``Instalaciones de fontanería. Agua fría``

2.16 Instalaciones de climatización

Se refiere el presente artículo a las instalaciones de ventilación, refrigeración y calefacción.

Se adoptaran las condiciones relativas a funcionalidad y calidad de materiales, ejecución, control, seguridad en el trabajo, pruebas de servicio, medición, valoración y mantenimiento, establecidas en las normas:

- NTE-ID: ``Instalaciones de depósitos``
- Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria.

2.17 Instalaciones de protección

Se refiere el presente artículo a las condiciones de ejecución de los materiales, de control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, relativas a las instalaciones de protección contra fuego y rayos.

Se cumplirá lo prescrito en la norma CTE CB-SII Seguridad en caso de incendio.

2.18 Obras o instalaciones no especificadas

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones. El Contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba del Ingeniero director de la Obra quien a su vez cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El Contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

3. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

3.1 Obligaciones y derechos del contratista

3.1.1 Remisión de solicitud de ofertas

Por la dirección técnica se solicitarán ofertas a las empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones específicas

en el presente proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el caso de que el ofertante lo estime de interés deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

3.1.2 Subcontratas

Ninguna parte de la obra podrá ser subcontratada sin consentimiento previo, solicitado por escrito, del director de la obra. Dicha solicitud incluirá los datos precisos para garantizar que el subcontratista posee la capacidad suficiente para hacerse cargo de los trabajos en cuestión.

La aceptación del subcontrato no revelara al contratista de su responsabilidad contractual. El Director de la obra está facultado para decidir la exclusión de aquellos subcontratistas que no demuestren durante los trabajos poseer las condiciones requeridas para la ejecución de los mismos. El contratista deberá adoptar las medidas precisas e inmediatas para la rescisión de dichos contratos.

3.1.3 Residencia del contratista

Desde que se de principio a las obras , hasta su recepción definitiva, el Contratista o un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo al de la ejecución de los trabajos y no podrá ausentarse sin previo conocimiento del Ingeniero Director 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 consideraran validas las notificaciones que se efectúen al individuo mas caracterizado o de mayor categoría técnica de los empleados u operarios de cualquier ramo que, como dependientes de las 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, aun en ausencia o negativa de recibo por parte de los dependientes de la Contrata.

3.1.4 Reclamaciones contra las órdenes de dirección

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director solo podrá presentarlas a través del mismo ante la propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes, contra disposiciones orden técnico o facultativo del Ingeniero Director, no se admitirá reclamaciones alguna pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad , si l estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al ingeniero Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

3.1.5 Despido por insubordinación e incapacidad

Por falta de cumplimiento de las instrucciones del Ingeniero Director o sus subalternos de cualquier clase encargados de la vigilancia de las obras; por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de

los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el ingeniero Director lo reclame.

3.1.6 Copia de los documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Pliegos de Condiciones, Presupuestos y demás documentos de la contrata. El Ingeniero Director de la Obra, si el Contratista solicita estos, autorizará las copias después de contratadas la obras.

3.2 TRABAJO, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES

3.1.2 Libro de órdenes

En la casilla y oficina de la obra, tendrá el contratista el libro de órdenes, en el que se anotaran las que el Ingeniero director de obra precise dar en el transcurso de la obra.

El cumplimiento de las ordenes expresadas en disco libro es tan obligatorio para el contratista como las que figuran en el pliego de condiciones.

3.2.2 Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución

Obligatoriamente y por escrito, deberá el contratista dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación: previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el artículo 7.

El Adjudicatario comenzara las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dara cuenta al Ingeniero director, mediante oficio, del día en que se propone iniciar los trabajos, debiendo este dar acuse de recibo.

Las obras quedaran terminadas dentro del plazo establecido en el contrato.

El contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

3.2.3 Condiciones generales de ejecución de los trabajos

El contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las ``Condiciones Generales de Índole Técnica`` del ``Pliego General de condiciones Varias de 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 el Ingeniero director o sus subalternos no la hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

3.2.4 Trabajos defectuosos

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los

trabajos efectuados, o que los materiales empleados, o los aparatos colocados ni reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si esta no estimase justa la resolución y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá con lo establecido en el artículo 3.12.

3.2.5 Obras y vicios ocultos

Si el Ingeniero Director tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas ordenara efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos de demolición y de la reconstrucción que se ocasionen, serán a cuenta del contratista, siempre que los vicios existan realmente, en caso contrario correrán a cargo del propietario.

3.2.6 Materiales no utilizables o defectuosos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por el Ingeniero director, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando el efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc. Antes indicados correrán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos o, a falta de éstos, a los órdenes del Ingeniero Director.

3.2.7 Medios auxiliares

Es obligación de la contrata el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras aun cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Ingeniero director y dentro de los límites de posibilidad que los Presupuestos determinen para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Serán de cuenta y riesgo del Contratista, los andamios, cimbras, maquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten , no cabiendo por tanto, al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

Serán asimismo de cuenta del Contratista, los medios auxiliares de protección y realización de la obra, tales como vallado, elementos de protección provisionales, señales de tráfico adecuado, señales luminosas nocturnas, etc. Y todas las necesarias para evitar accidentes previsibles en función del estado de la obra y de acuerdo con la legislación vigente.

3.3 RECEPCIÓN Y LEGISLACIÓN

3.3.1 Recepciones provisionales

Para proceder a la recepción provisional de las obras será necesaria la asistencia del Propietario, del Ingeniero director de la obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas co arreglo a las condiciones establecida, se darán por percibidas provisionalmente y comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía que se considerara de tres meses.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el acta y se especificaran en la misma las precisas y detalladas instrucciones que el Ingeniero Director debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuara un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento de la obra y se estuviese conforme con las condiciones de este Pliego, se levantara un acta por duplicado, a la que acompañaran los documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedara en poder de la propiedad y la otra se entregara el contratista.

3.3.2 Plazo de garantía

Desde la fecha en que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía que será de un año. Durante este periodo, el

Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables a defectos y vicios ocultos.

3.3.3 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, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que se fuere menester para su buena conservación, alcanzándose todo aquello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de rescisión de contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que le fije el Ingeniero Director.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del mismo corra a cargo del contratista, no deberá haber en las más herramientas, útiles, materiales, muebles etc. Que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuesen precisos realizar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el contratista a revisar y repasar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas".

El contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de las obras que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

3.3.4 Recepción definitiva

Terminado el plazo de garantía, se verificara la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las obras están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedara relevado de toda responsabilidad económica, en caso contrario se resaltara la recepción definitiva hasta que, a juicio del ingeniero Director de la Obra, y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y forma que se determinen en este Pliego.

3.3.5 Liquidación total

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación fijada, que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del Proyecto siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la dirección Técnica con sus precios. De ninguna manera tendrá derecho el contratista a formular reclamaciones por aumentos de obra que no estuviesen autorizados por escrito a la Entidad propietaria con el visto bueno del Ingeniero.

3.3.6 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.

3.4 FACULTADES DE LA DIRECCIÓN DE OBRAS

Además de todas la facultades particulares, que corresponden al Ingeniero director, expresadas en los artículos precedentes , es misión

específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen bien por sí o por medio de sus representantes técnicos y ello con autoridad técnica legal, complete e indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en el ``Pliego General de Condiciones Varias de la Edificación`` sobre las personas y cosas situadas en la obra y en relación con los trabajos que para la ejecución de los edificios y obras anejas se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar el contratista, si considera que el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

4. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

4.1 Base fundamental

Como base fundamental de estas ``Condiciones Generales de Índole Económica``, se establece el principio de que el Contratista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo u sujeción al Proyecto y condiciones Generales y particulares que rijan la construcción del edificio y obra aneja contratada.

4.2 Garantía de cumplimiento y fianzas

El ingeniero director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personal, al objeto de cerciorarse de si este reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del contrato, dichas referencias las presentara el Contratista antes de la firma del contrato.

4.2.1 Fianzas

Se podrá exigir el contratista, para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10% del presupuesto de las obras adjudicales.

4.2.2 Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero Director, en nombre y representación del Propietario, los ordenara ejecutar a un tercero, o directamente por administración, abonando su importe en 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 baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades obra que no fueran de recibo.

4.2.3 Devolución de la fianza

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado del Alcalde del Distrito Municipal en cuyo término se haya emplazada la obra contratada, que no existe reclamación alguna contra el por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnización derivados de accidentes ocurridos en el trabajo.

4.3 Precios y revisiones

4.3.1 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 Adjudicatario formulara por escrito, bajo su firma, el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La dirección técnica estudiara el que, según su criterio, deba utilizarse.

Si ambos son coincidentes se formulara por la Dirección Técnica 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, el Director pondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatoria del precio exigido por el Adjudicatario 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 proceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo, ya se hubiese comenzado, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarle el Director, y a concluirla a satisfacción de este.

4.3.2 Reclamaciones de aumento de precio

Si el Contratista, antes de la firma del contrato no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error o omisión reclamar un aumento de los precios fijados en el cuadro

correspondiente del Presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras.

Tampoco se 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 que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión de contrato, señalados en los documentos relativos a las ``Condiciones Generales o Particulares de Índole Facultativa'', sino en el caso de que el Ingeniero Director o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alteraran la baja proporcional hecha en el Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijara siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

4.3.3 Revisión de precios

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que no se debe admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que es característica de determinadas épocas anormales, se admite, durante ellas, la revisión de los precios contratados, bien en alta o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

Por ello y en los casos de revisión en alza, el contratista puede solicitarla del Propietario, en cuanto se produzca cualquier alteración de precio, que repercuta, aumentando los contratos.

Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado, y por causa justificada, especificándose y acordándose, también previamente, la fecha a partir de la cual se aplicara el precio revisado y elevado, para lo cual se tendrá en cuenta y cuando así proceda, el acopio de materiales de obra, en el caso de que estuviesen total o parcialmente abonados por el propietario.

Si el Propietario o el Ingeniero director, en su representación no estuviere conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desea percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad de proponer al Contratista, y este la obligación de aceptarlos, los materiales, transportes etc., a precios inferiores a los pedidos por el Contratista, en cuyo caso lógico y natural, se tendrá en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc., adquiridos por el contratista merced a la información del Propietario.

Cuando el Propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no estuviere conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc. Concertara entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad por la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezaran a regir los precios revisados. Cuando, entre los documentos aprobados por ambas partes, figurase el relativo a los precios unitarios contratados

descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al perpetuado en los casos de revisión por alza de precios.

4.3.4 Elementos comprendidos en el presupuesto

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el Presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de andamios, vallas, elevación y transporte del material, es decir, todos los correspondientes a medios auxiliares de la construcción, así como toda clase de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que tengan que hacerse por cualquier concepto, con los que se hallen gravados o se graven los materiales o las obras por el estado, Provincia o Municipio.

Por esta razón no se abonara al contratista cantidad alguna por dichos conceptos. En el precio de cada unidad de obra también van comprendidos los materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra completamente terminada y en disposición de recibirse.

4.4 Valoración y abonado de los trabajos

4.4.1 Valoración de la obra

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fija en correspondiente Presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra, el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, añadiendo a este importe el de los tantos por ciento que corresponden al beneficio industrial y descontando el tanto por ciento que corresponda a la baja en la subasta hecha por el contratista.

4.4.2 Mediciones parciales finales

Las mediciones parciales se verificaran en presencia del contratista, de cuyo acto se levantara acta por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminada las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañen, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad, lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

4.4.3 Equivocaciones en el presupuesto

Se supone que el contratista he hecho 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 afecta a medida o precios de tal suerte, que la obra ejecutada con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontara de 1 presupuesto.

4.4.4 Valoración de obras incompletas

Cuando por consecuencia de rescisión u otras causas fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicaran los precios del Presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

4.4.5 Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden. La propiedad se reserva en todo documento, y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales el derecho de comprobar que el contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornadas y materiales intervenidos en la obra, a cuyo efecto deberá presente el Contratista los comprobantes que se exigen.

4.4.6 Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las Certificaciones de obra expedidas por el Ingeniero director, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

4.4.7 Suspensión por retraso de pagos

En ningún caso podrá el contratista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos, ni ejecutarlos a menor ritmo del que corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

4.4.8 Indemnización por retraso de los pagos

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 será el importe de la suma de perjuicios materiales causados por la imposibilidad de ocupación del inmueble, debidamente justificados.

4.4.9 Indemnización por daños de causa mayor al contratista

El contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicio ocasionados en las obras, sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo, se consideran como tales casos únicamente los que siguen:

- Los incendios causados por electricidad atmosférica
- Los daños producidos por terremotos y maremotos
- Los producidos por vientos huracanados, mares y crecida de los ríos superiores a las que se sean de prever el país, y siempre que exista constancia inequívoca de que el contratista tomo las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar daños.
- Los que provengan de movimientos del terreno en que estén construidas las obras.
- Los destrozos ocasionados violentamente, a mano amada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.

La indemnización se referirá exclusivamente, al abono de las unidades de obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra. En ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc., propiedad de la Contrata.

4.5 VARIOS

4.5.1 Mejora de obra

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Ingeniero Director haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos

nuevos o que mejoren la validez de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el Contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Ingeniero Director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

4.5.2 Seguro de los trabajos

El contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en todo momento, con el valor que tengan por Contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en caso de siniestro, se ingresara a cuenta, a nombre del Propietario para que con cargo a ella, se abone la obra que se construya y a medida que esta se vaya realizando.

El reintegro de la cantidad al contratista se efectuara por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menestras anejos a los de la construcción de la parte siniestrada.

La infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc. Y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no le hubiesen abonado, pero eso en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la compañía Aseguradora, respecto al

importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Ingeniero director.

En las obras de reforma o reparación se fijara, previamente, la proporción de edificio que se debe asegurar y su cuantía, y si nada se previese, se entenderá que el seguro ha de comprender toda parte de edificio afectado por la obra. Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá el contratista antes de contratarlos en conocimiento del propietario, el objeto de recabar de este su previa conformidad o reparos.

5. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

5.1 Jurisdicción

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidio por el Ingeniero director de la Obra y en ultimo termino, a los Tribunales de justicia del lugar en que radique la propiedad, con expresa renuncia del fuero domiciliario.

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.

El contratista se obliga a lo establecido en la Ley de Contratos de trabajo y además a lo depuesto por la de accidentes de trabajo, subsidio familiar y seguros sociales.

Serán de cargo y cuenta de contratista el vallado y la vigilancia del solar, cuidando de la conservación de sus líneas de lindero y vigilando que, por los

poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realizan durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad.

Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento del Ingeniero Director.

El Contratista es responsable de toda falta relativa a la política urbana y a las ordenanzas municipales estos aspectos vigentes en la localidad en que la edificación esté emplazada.

5.2 Accidentes de trabajo y daños a terceros

En caso de accidentes ocurridos con motivo en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsables de su cumplimiento y sin que por ningún concepto, pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no solo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, por no cumplir el contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será este el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales.

El contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se

efectúen las obras como en las contiguas. Sera por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera 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 fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

5.3 Pagos de arbitrios

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras por concepto inherente a los propios trabajos que se realizan correrá a cargo de la Contrata, siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, el Contratista deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que el Ingeniero director considere justo hacerlo.

5.4 Causas de rescisión del contrato

Se consideran causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

1. .La muerte o incapacidad de contratista
2. La quiebra del contratista

En los casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran 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 aquellos derechos a indemnización alguna.

3. . Las alteraciones del contrato por las siguientes causas:
 - La modificación del proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales de mismo, a juicio del Ingeniero Director y, en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente en más o menos del 40 %, como mínimo, de algunas unidades del proyecto modificadas.
 - La modificación de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones en mas o en menos del 40 por 100, como mínimo de las unidades del proyecto modificadas.
4. La suspensión de la obra comenzada, y en todo caso siempre que , por causa ajenas a la contrata, no sé de comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses, a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.
5. La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
6. El no dar comienzo la contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.
7. El cumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.

8. La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a esta.
9. El abonado de la obra sin causa justificada.
10. La mala fe en la ejecución de los trabajos.

PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	146
2. COSTES FIJOS	146
2.1 Costes de los equipos	147
2.2 Costes de operación	150
2.3 Coste tratamiento agua	150

1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto el objetivo es la desalación del agua de mar mediante el uso de energía renovable como es la energía solar.

El principal interés de este proyecto es de carácter medioambiental, teniendo en cuenta que el uso de energías renovables tiene un impacto positivo, ya que se disminuye el uso de combustibles fósiles y su creciente contaminación.

Por tanto, con el desarrollo de éste no se busca la rentabilidad financiera. Esta técnica está en investigación para reducir costes y ser más competitiva con los sistemas convencionales de desalación.

Teniendo en cuenta esto, se va a calcular el coste total de la inversión, que incluye todos los costes asociados con el diseño, la construcción y puesta en marcha de la instalación.

2. COSTES FIJOS

Los costes fijos se producen simplemente por la ejecución del proyecto, sin distinción de que la planta esté parada o en funcionamiento. Normalmente, el aporte principal viene dado por los equipos. Se incluye también los siguientes factores:

- Trabajos de obra civil:
- Imprevistos del proyecto
- Instrumentación y control
- Instalación eléctrica

- Ingeniería del sistema
- Mantenimiento de los equipos

2.1 Coste de los equipos

Tabla 1. Coste de los equipos

Equipo	Unidades	Coste unitario (€/ud)	Coste total (€)	Porcentaje (%)
MÓDULOS				
Módulos MD	14	2450	34300	61,2
PANEL SOLAR				
Paneles solares	45	300	13500	24,1
Vaso de expansión	1	100	100	0,18
FILTROS				
Filtro de arena	1	2000	2000	3,6
INTERCAMBIADOR				
Intercambiador de placas	1	700	700	1,3
BOMBAS				
Bomba centrífuga	3	1000	3000	1,8
DEPÓSITOS				
Tanque circuito primario	1	50	50	0,1
Tanque salmuera	1	500	500	0,9
Tanque agua dulce	1	660	660	1,2
ACCESORIOS				
Válvulas	95	-	1500	2,7
Conexiones	-	-	300	0,5
Otros	-	-	1500	2,7
TOTAL			56110 €	

Para los costes fijos, a parte del coste de los equipos vamos a tener en cuenta los costes directos que son los siguientes:

- Tuberías: se tendrá en cuenta la longitud y su diámetro, el precio de las conexiones se considerará un 20% del total de las líneas.
- Instalación de los equipos: El coste de esta instalación de los equipos será un 40% de su valor de compra.
- Instalación eléctrica: Puede estimarse de forma aproximada como un 10% del coste del equipo
- Acondicionamiento del terreno: Será un 10% del coste del equipo.

En la tabla 2 se muestran los resultados.

Tabla 2. Costes directos

COSTES DIRECTOS	Costes (€)	Porcentaje (%)
Equipos	56110	44,3
Instalación de equipos	22444	17,7
Acondicionamiento del terreno	5611	4,4
Tuberías	332	0,3
Instalación eléctrica	5611	4,4

Y los costes indirectos:

- Instrumentación y control: Se estimará un 15% de los costes de los equipos.
- Ingeniería del sistema: Se considerará un 30% del coste de los equipos.
- Honorarios contratista: Pueden estimarse como un 0,5% del total de los costes directos.
- Imprevistos: Se calcula como un 12% del CE.

En la tabla 3 aparecen los resultados.

Tabla 3. Costes indirectos

COSTES INDIRECTOS	Coste (€)	Porcentaje
Instrumentación y control	8416	6,6
Ingeniería del sistema	16833	13,3
Honorarios contratista	4505	3,6
Imprevistos	6733	5,3

Siendo el total de los costes fijos:

Tabla 4. Total costes fijos

Tipo de coste	Total costes fijos (€)	Porcentaje (%)
Costes directos	90108	71,2
Costes indirectos	36488	28,8
TOTAL	126596	100

Vamos a calcular los costes fijos anuales teniendo en cuenta la depreciación a 15 años, los seguros 0,6% del valor de la depreciación, impuesto de la propiedad que son el 1% del valor de depreciación, el IVA a un 21% y el mantenimiento de los equipos será un 5% del coste de estos.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 5. Costes fijos anuales

COSTES FIJOS ANUALES	Coste (€)
Depreciación (20 años)	6329
Impuesto de la propiedad	63,3

Seguro	38
IVA (21%)	1329
Mantenimiento equipos	2805
Total	10566

2.2 Costes de operación

Además del coste de inversión, el segundo factor determinante es el coste de operación. Este coste será debido a los costes generados a partir del funcionamiento de la planta.

Tabla 6. Costes de operación

COSTES DE OPERACIÓN	Unidades	Coste unitario (€)	Total	Porcentaje (%)
Reactivos	-	-	200	0,25
Energía (kWh)	4380	0,134	587	0,75
TOTAL			786,92	

2.3 Coste del tratamiento del agua

Para obtener el m^3 de agua tratada tenemos que sumar el coste fijo anual por año de inversión y el coste de explotación por año y dividirlo por los metros cúbicos obtenidos por año.

En la tabla siguiente se exponen los resultados obtenidos:

Tabla 7. Coste tratamiento agua

	Coste (€)
Coste fijo de inversión por año	6329
Costes de operación por año	786,9
Coste total por año	4405,9
Coste del tratamiento 1m³ de agua	5,8

PLANOS

PLANO N° 01: PLANTA DE DESALACIÓN DEL AGUA DE
MAR MEDIANTE DESTILACIÓN POR MEMBRANAS

PLANO N° 02: DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y
TUBERÍAS

BIBLIOGRAFÍA

- R.H. Perry, W. Green; "Perry's Chemical Engineers' Handbook" MacGraw-Hill (1999)
- Stanley M. Walas; "Chemical Process Equipment, selection and design" (1990).
- Coulson, J.M; Reverté; "Ingeniería Química" Barcelona (1980).
- Bilurbina Alter, L.; "Diseño de equipos e instalaciones", Edicions UPC, Barcelona (2002).
- Ray Sinnott, Gavin Towler; "Diseño en ingeniería química", Reverté, Barcelona (2012).
- Custodio, E.; Llamas, M.R.; "Hidrología Subterránea"; Editorial Omega, 2^o edición. Barcelona (1983).
- G. Zaragoza, A. Ruiz-Aguirre, E. Guillén-Burrieza; "Efficiency in the use of solar thermal energy of small membrane desalination systems for decentralized water production"; Applied Energy (2014).
- J. Koschikowski, M. Wieghaus, M. Rommel; "Solar thermal-driven desalination plants based on membrane distillation"; Desalination 156 (2003).
- J. Koschikowski, M. Wieghaus, M. Rommel, V. Subiela Ortin, B. Peñate Suarez, J.R. Betancort Rodríguez; "Experimental investigations on solar driven stand-alone membrane distillation systems for remote areas"; Desalination 248 (2009).

- D.Winter, J. Koschikowski, M.Wieghaus; “Desalination using membrane distillation: Experimental studies on full scale spiral wound modules”; Journal of Membrane Science 375 (2011).
- D.Winter, J. Koschikowski, S.Ripperger; “Desalination using membrane distillation: Flux enhancement by feed water deaeration on spiral-wound modules”; Journal of Membrane Science 423-424 (2012).
- F. Banat, N.Jwaied; “ Economic evaluation of desalination by small-scale autonomous solar-powered membrane distillation units”; Desalination 220 (2008)
- F.Banat, N.Jwaied, M.Rommel, J.Koschikowski, M.Wieghaus; “Performance evaluation of the `large SMADES´ autonomous desalination solar-driven membrane distillation plant in Aqaba, Jordan”; Desalination 217 (2007).
- F.Banat, N. Jwaied, M.Rommel, J.Koschikowski, M.Wieghaus; “Desalination by a `compact SMADES´ autonomous solar-powered membrane distillation unit” Desalination 217 (2007).
- L.M.Camacho, L.Dumeé, J. Zhang, Jun-de Li, M.Duke, J.Gomez, S. Gray; “Advances in membrane Distillation for water desalination and purification applications” Water ISSN 2073-4441 (2013).
- J. H.Lienhard, M.A. Antar, A. Bilton, J.Blanco, G. Zaragoza; “Solar Desalination” (2012).