



UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**

**EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA INTEGRAL
PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA, AGUA Y
ALIMENTOS EN ZONAS COSTERAS Y/O DESÉRTICAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**INGENIERO QUÍMICO
ESPECIALIDAD INGENIERÍA DE PROCESOS**

Presentan:

NILBIA RUIZ FERNÁNDEZ

LUCÍA ESTHELA VALENCIA IUTZ

HERMOSILLO, SONORA.

DICIEMBRE DEL 2001.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	VII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	5
OBJETIVOS	10
CAPÍTULO 1. ÓSMOSIS INVERSA	12
1.1 Fundamentos	13
1.1.1 El fenómeno de la ósmosis inversa	13
1.1.2 La ósmosis inversa	15
1.2 Introducción, términos y ecuaciones	17
1.3 Tecnología comercial de ósmosis inversa	22
1.4 Parámetros del proceso de ósmosis inversa	24
1.4.1 Salinidad del agua de alimentación	24
1.4.2 Temperatura del agua de alimentación	25
1.4.3 Presión de alimentación	25
1.4.4 Recuperación de permeado	26
CAPÍTULO 2. CONCEPTO Y FUENTES DE ENERGÍA	27
2.1 Concepto de energía	28
2.2 Tipos de energía	28
2.3 Fuentes de energía renovables	31
2.4 Fuentes de energía no renovables	36
2.5 Ventajas que proporcionan las energías alternativas	39
2.6 Reservas energéticas	39
2.7 Nivel de contaminación de las energías convencionales	40
CAPÍTULO 3. ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS	41
3.1 Energía solar	42
3.1.1 Características y disponibilidad del recurso	42

3.2	Tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar	45
3.2.1	Procesos termodinámicos	45
3.2.2	Colectores planos	48
3.2.3	Celdas fotovoltaicas	50
3.2.3.1	Aplicaciones de los generadores solares	52
3.2.3.2	Ventajas de las celdas fotovoltaicas	52

CAPÍTULO 4. INVERNADEROS 53

4.1	Concepto de invernadero	54
4.2	Importancia de los cultivos protegidos	54
4.3	Objetivos que persigue un invernadero	55
4.4	Distintos tipos de invernaderos	56
4.5	Variación de los factores ambientales en los invernaderos	57
4.5.1	Temperatura	58
4.5.1.1	Cálculo de las necesidades térmicas	60
4.5.2	Humedad relativa	64
4.5.3	Iluminación	65
4.5.4	CO ₂	66
4.6	Materiales de recubrimiento	68
4.7	Ventajas y limitaciones del cultivo protegido	71

CAPÍTULO 5. MANUAL DE OPERACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMAS DEL PROGRAMA RODESIGN 73

5.1	Uso del RODESIGN	74
5.2	Lógica del programa	77
5.3	Conversión y errores de diseño	81
5.4	Instalación en windows 95/98	82
5.5	Proceso de diseño	82
5.5.1	Pretratamiento	82
5.5.2	Configuración hidráulica	85
5.6	Parámetros de diseño afectan funcionamiento del sistema	92
5.7	Resultados proporcionados por RODESIGN	95

CAPÍTULO 6. DIAGRAMAS	106
6.1 Diagramas de bloques del proceso	107
6.2 Diagrama de flujo	111
6.3 Diagrama de control	113
CAPÍTULO 7. SELECCIÓN DEL EQUIPO	114
7.1 Bomba principal	115
7.2 Tanques de almacenamiento	116
7.3 Filtros de lecho profundo (o de arena)	117
7.4 Filtros de carbón activado	119
7.5 Invernadero	120
7.5.1 Accesorios del invernadero	122
7.5.1.1 Extractor	122
7.5.1.2 Pared húmeda	122
7.5.1.3 Material de recubrimiento	123
7.5.2 Cultivo	124
7.5.2.1 Características del tomate	124
7.5.2.2 Riegos	125
7.5.2.3 Distribución de las plantas en el invernadero	126
7.6 Equipo de ósmosis inversa	127
7.6.1 Membranas	127
7.6.2 Bombas	131
7.7 Celdas fotovoltaicas	133
CAPÍTULO 8. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO	135
8.1 Tanque de almacenamiento de agua salada	136
8.2 Filtro de arena y carbón activado	136
8.3 Invernadero	137
8.3.1 Extractor	137
8.3.2 Pared húmeda	137
8.3.3 Cantidad de agua	137
8.4 Tanque de almacenamiento de agua producto	139

8.5	Equipo de ósmosis inversa	139
	8.5.1 Membranas	139
	8.5.1.1 SWC2	140
	8.5.1.2 ESPA1-4040	140
8.6	Celdas fotovoltaicas	140
CAPÍTULO 9. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA		142
9.1	Balance de materia	143
	9.1.1 Filtro de arena	144
	9.1.2 Filtro de carbón activado	145
	9.1.3 Ósmosis inversa	146
	9.1.3.1 Balance de agua	147
	9.1.3.2 Balance de sales	148
9.2	Balance de energía	151
	9.2.1 Bomba principal	151
	9.2.2 Bomba a la entrada del equipo de ósmosis	154
	9.2.3 Bomba segundo paso del equipo de ósmosis	154
	9.2.4 Bomba a la salida del equipo de ósmosis	155
	9.2.5 Bomba a la entrada del invernadero	155
9.3	Balance de energía térmica en el invernadero	160
CAPÍTULO 10. MANUAL DE OPERACIÓN		162
10.1	Organización del arranque	163
10.2	Información necesaria	164
10.3	Entrenamiento de personal	165
10.4	Laborales preoperacionales	165
10.5	Arranque	166
10.6	Paro	168
10.7	Falla del equipo	169
CAPÍTULO 11. LOCALIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA		170
11.1	Localización	171
11.2	Datos preliminares para los proyectos de construcción	174

11.3	Pruebas de suelo	176
11.4	Capacidad de carga del suelo	176
11.5	Selección de los tipos de edificios	176
11.6	Listado de materiales de construcción, accesorios	177
11.7	Programación de la construcción	179

CONCLUSIONES	180
---------------------	-----

RECOMENDACIONES	184
------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	186
---------------------	-----

ANEXOS	189
---------------	-----

I	Irradiación global media en la República Mexicana	190
II	Períodos de siembra y cosecha de los principales cultivos	193
III	Temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco (Bahía de Kino)	194
IV	Carta psicrométrica (unidades inglesas)	195
V	Carta psicrométrica (unidades mks)	196
VI	Automatización del invernadero	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 Difusión sin barreras	14
Fig.1.2 Difusión a través de una membrana	14
Fig.1.3 El fenómeno de la ósmosis inversa	15
Fig.1.4 Membrana semipermeable	16
Fig.1.5 Esquema del proceso industrial de la ósmosis inversa	17
Fig.2.1 Celdas solares	33
Fig.2.2 Componentes de una turbina eólica	34
Fig.2.3 Movimientos de las olas y mareas	35
Fig.3.1 Datos de la radiación solar para la República Mexicana	43
Fig.3.2 Colectores solares	47
Fig.3.3 Componentes de una celda fototérmica	48
Fig.3.4 Celdas fotovoltaicas	51
Fig.5.1 Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de una sola etapa con recirculación de concentrado	87
Fig.5.2 Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de dos etapas	88
Fig.5.3 Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de dos etapas con válvula de control de permeado en la primera etapa	89
Fig.5.4 Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de doble paso parcial	91
Fig.5.5 Efecto de la salinidad de alimentación en el funcionamiento del sistema	92
Fig.5.6 Cambios en el flujo con la temperatura de la membrana	93
Fig.5.7 Efecto de la temperatura con el funcionamiento de la membrana	93
Fig.7.1 Tanque de almacenamiento	116
Fig.7.2 Filtro de arena y carbón activado	119
Fig.7.3 filtro comercial de arena y carbón activado	120
Fig.7.4 Invernadero	121
Fig.7.5 Distribución del invernadero	126
Fig.7.6 ESPAI - 4040	128
Fig.7.7 Membrana SWC2	130

Fig. 7.8 Esquema de una bomba centrífuga	131
Fig. 7.9 Celda fotovoltaica K-120	133
Fig. 7.10 Dimensiones de la celda K-120	134
Fig. 9.1 Diagrama de flujo del equipo de ósmosis inversa	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Efecto de las plantas con respecto a la región espectral	69
Tabla 5.1 Análisis de los diferentes compuestos con el paso por el equipo de ósmosis inversa	95
Tabla 7.1 Dimensiones de los tanques de almacenamiento	117
Tabla 7.2 Diferencia entre filtro de arena sintética y filtros de arena natural	118
Tabla 7.3 Dimensiones del filtro de arena y filtro de carbón activado	119
Tabla 7.4 Temperaturas óptimas para el crecimiento del tomate	125
Tabla 9.1 Composición de agua de mar	143
Tabla 9.2 Cantidad de sales a la salida del filtro de arena	144
Tabla 9.3 Cantidad de sales a la salida del filtro de carbón activado	145
Tabla 9.4 Balance de masa	146
Tabla 9.5 Accesorios para calcular HP, bomba principal	152
Tabla 9.6 Accesorios para calcular HP, invernadero	157

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 Energía nuclear - Compresión de vapor	108
Diagrama 2 Energía mareomotriz - Evaporación	109
Diagrama 3 Energía solar - Ósmosis Inversa	110
Diagrama 6.2 Flujo de proceso	111
Diagrama 6.3 De control	113

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como fin primordial, estudiar las consecuencias de la gradual reducción de abastecimiento de agua debido a los cambios ambientales y a la variación en los recursos y masas de agua dulce, ausencia de lluvias, abatimiento de mantos acuíferos, salinización de los pozos de agua dulce, etc. Con lo anterior se ha procedido a la adaptación y desarrollo de tecnologías para producir agua potable a bajo costo que permitan el desarrollo tanto agropecuario como industrial.

Con la finalidad de aplicar en el futuro los resultados de este trabajo al análisis de la producción de agua y alimentos en el Estado de Sonora, se seleccionó como fuente de datos reales la unidad experimental del "Departamento de Investigación Científico y Tecnológico de la Universidad de Sonora (DICTUS)" ubicada en Bahía Kino, ya que actualmente es el principal centro de investigación en la región dedicado al estudio en este ramo y de gran importancia para los habitantes de la Zona Costera de Sonora.

Para el desarrollo del trabajo se establece, en primer término, un marco teórico que permite conocer la definición, clasificación y desarrollo de los conceptos que serán manejados a lo largo del mismo.

Posteriormente, se presentan y describen las diferentes técnicas analíticas empleadas a lo largo de este estudio, así como los resultados obtenidos experimentalmente y su correspondiente análisis.

Finalmente se presentan conclusiones y recomendaciones basadas en el conocimiento teórico y experimental adquirido a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

Este proyecto se desarrollará, mediante la experimentación en un invernadero que trabaja conjuntamente con el equipo de ósmosis inversa y celdas fotovoltaicas, ubicado en Bahía Kino.

Mediante esta planta se producirá agua potable, de excelente calidad, la cual mediante tuberías será almacenada para que de ella dispongan los habitantes de la región.

La desalación de agua salobre y salada es la única opción de todas las analizadas que no estaría sujeta a los vaivenes de la naturaleza y que han ocasionado alteraciones al ciclo hidrológico en el Estado.

Por el contrario, al ser el mar una fuente de abastecimiento ilimitado, no existen cargos por derecho de extracción, no hay afectación a terceros, ni efectos al equilibrio hidrológico; no tendría incidencia negativa sobre los modelos de cultivos, ni sobre los patrones de riego y por el contrario, daría seguridad a la continuidad de los ciclos agrícolas y a la posibilidad de crear todo un corredor industrial. Un estudio de impacto ambiental, con sus correspondientes resolutivos y recomendaciones, aseguraría una nula afectación.

Por ser de carácter modular, la planta podría crecer de acuerdo a la demanda y en virtud de que la técnica de desalación avanza considerablemente en otras regiones del mundo, en pocos años permitiría abatir los costos, como en España o Israel, en donde ya existe la experiencia de esta técnica.

El proceso de desalación permite asegurar al usuario, la confiabilidad del agua entregada para su uso y prácticamente se produce agua ultrapura, libre de contaminantes naturales o antropogénicos, como bacterias, arsénico o pesticidas.

Independientemente de las ventajas antes mencionadas, la operación de una pequeña planta de ósmosis inversa, aunada al invernadero, permitirá, en un futuro no muy lejano su implementación como fuente productora de alimentos muy importante.

ANTECEDENTES

En la actualidad, la mayoría de los países presentan déficit de agua. En ellos se consume cada gota de agua disponible en los ríos y acuíferos subterráneos, pero rápidamente se agota el agua que únicamente se puede usar una vez.

México está agotando sus fuentes de agua dulce. Sonora, en especial, es un estado muy afectado por las grandes sequías que está afrontando, en el año 1999 ocurrió lo que nadie se hubiera imaginado, la presa Abelardo L. Rodríguez, la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Hermosillo, se secó por completo. Arena, promontorios de piedras, un terreno cuarteado y el fin de la vida acuática en el entorno fue lo único que quedó del gigante hidráulico. Debido a esto, pronto se verán agotadas sus propias fuentes renovables si los patrones actuales de consumo de agua no se revisan pronto y en forma radical.

La necesidad de la desalinización de agua es evidente, dada la gran extensión que ocupan los desiertos (cerca del 10% de la superficie del planeta). Incluso en zonas que no pueden ser clasificadas de desérticas hay carencia de este indispensable elemento durante bastantes meses del año.

Este recurso suele tenerse muy cerca y en abundancia en forma de agua marina. Sin embargo, su salinidad la hace inútil para muchas aplicaciones en las que resulta necesaria.

La necesidad que tiene el género humano de disponer de agua le ha llevado siempre a residir en zonas donde el suministro estuviera garantizado, impidiéndole a veces la explotación de otras zonas que pueden resultar económicamente muy interesantes. Un ejemplo claro de ello sería la no explotación agrícola de amplias zonas del planeta, potencialmente muy fértiles, pero en la actualidad estériles por falta del agua.

El desarrollo no convencional de los recursos hidráulicos y de la energía, incluyendo la desalinización de agua de mar y salobre por métodos de co-generación, será punto clave en la planeación de los recursos hidráulicos en países áridos y semi áridos para el siglo XXI. El uso de la potencia hidráulica y solar para desalinización por ósmosis inversa, que es un nuevo tipo de cogeneración y que se propone en este trabajo, será seguramente el desarrollo tecnológico clave en esta región costera para alcanzar los objetivos estratégicos, los cuales están enfocados a evaluar los energéticos fósiles y el medio ambiente.

Cada vez se agotan más las fuentes disponibles para obtener agua y esto invariablemente lleva a la pérdida de grandes zonas agrícolas, sustento de miles de habitantes y, en consecuencia, a la disminución de alimentos vegetales y por ende, su distribución es cada vez más costosa y menor en aquellas zonas de difícil acceso como son las costeras y/o desérticas.

Lo anterior ha llevado a tratar de implementar una nueva tecnología, denominada "Propuesta de un Sistema integral para la producción de energía, agua y alimentos en zonas costeras y/o desérticas".

Lo anterior sería por medio de un invernadero, celdas fotovoltaicas y un sistema de ósmosis inversa, esperando que se satisfagan las necesidades en las zonas más críticas como las anteriormente mencionadas.

La decisión de selección del tipo de proceso para realizar la desalación no fue fácil, ya que existe una gran cantidad de métodos para desalar agua de mar.

En la actualidad existe en diferentes países del mundo, gente desarrollando tecnologías parecidas a las que se proponen. Por ejemplo, en Yongledian, China, existe una granja modelo Sino-Israelí cerca de Beijing, la cual está diseñada para demostrar la forma en que los agricultores podrían aumentar sus cosechas y mejorar la calidad de sus productos; al mismo tiempo conservan el agua y hacen mejor uso de la tierra, ambas con gran demanda en China. España es otro ejemplo, allí existe otro tipo de granja la cual cuenta con tres invernaderos de tipo israelí, en un área de 13 hectáreas, y otros tres invernaderos de tipo chino; en dos de los invernaderos israelíes se cultivan rosas y en tres de los invernaderos se cultivan claveles, girasoles y ranúnculos. Y como éstos, existe una infinidad de ejemplos en diversos países.

En México, especialmente en Sonora, también existe este tipo de tecnologías con la variante de que no utilizan agua desalada para alimentar el invernadero, ya que se establecieron lejos de las zonas costeras. Por mencionar algunos, existe una granja productora de chiles y tomates en ambiente controlado en campos agrícolas de Ciudad Obregón; en Imuris existe otro tipo de granja que produce plantas ornamentales en ambiente

controlado. Y por último en Bahía Kino en las instalaciones del DICTUS se está construyendo una granja productora de alimentos con este tipo de ambiente, utilizando agua desalada y un concentrador solar, siendo ésta en la que se está trabajando.

OBJETIVOS

➤ **Objetivo General**

- Proponer el diseño y construcción de un invernadero en donde se puedan combinar procesos de desalación y energía con condiciones óptimas para la producción de vegetales en zonas costeras y/o desérticas.

➤ **Objetivo Específico**

- El uso de fuentes no tradicionales de abastecimiento de agua.
- Uso de fuentes alternas de energía.
- Obtención de alimentos de forma diferente a la convencional.
- El estudio e implementación de nuevas tecnologías en nuestro Estado.
- Difusión ante estudiantes y personal universitario.
- Proponer el proyecto al sector productivo, evaluando los beneficios para un resultado comercialmente favorable.
- Obtención de Título Profesional mediante esta propuesta.

CAPÍTULO 1

ÓSMOSIS INVERSA

1.1 FUNDAMENTOS

1.1.1. El fenómeno de la ósmosis inversa

En la Figura 1.1, se muestran dos zonas en las que existen dos soluciones, con los mismos constituyentes pero con distintas concentraciones.

Supóngase un caso sencillo formado por un solvente como el agua y un soluto como el azúcar o sal, de manera que la concentración del azúcar o sal en la zona 2 fuese mayor que en la zona 1 ($C_2 > C_1$).

Cuando estas dos soluciones se ponen en contacto ocurre un fenómeno llamado <<difusión>> que tiende a igualar la concentración de ambas soluciones. En virtud de ello, el azúcar se difunde desde la solución concentrada (C_2) hacia la solución diluida (C_1), mientras que el agua lo hace en sentido contrario.

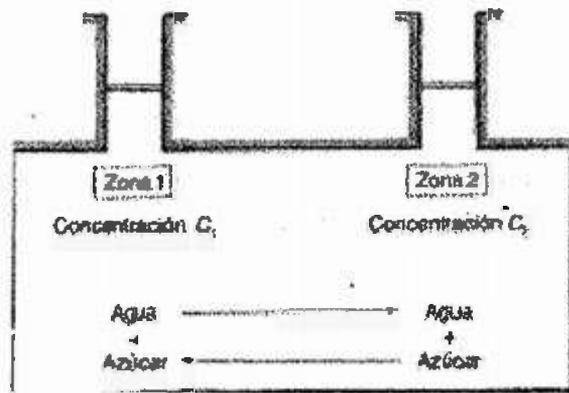


Fig. 1.1. Difusión sin barreras.

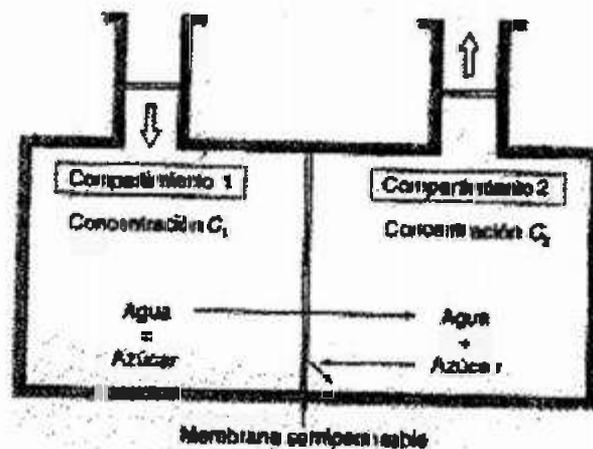


Fig.1.2. Difusión a través de una membrana

Supóngase ahora que se separan las dos soluciones, como muestra la Figura 1.2, con una membrana que sólo permita la difusión a través de uno de los constituyentes, como por ejemplo el solvente (agua), impidiéndoselo al soluto (azúcar). A este tipo de membrana se le llama “semipermeable”.

En esta situación, el agua se difundiría del compartimiento 1 al 2, produciendo un aumento de nivel en este último, mientras que el soluto no podría difundirse del 2 al 1 al impedírselo la membrana. A este fenómeno se le llama "Ósmosis".

La difusión del agua se pararía, como muestra la Figura 1.3, cuando la presión generada por el aumento de nivel contrarrestase la que tiende a hacer que el agua se difunda y pase a través de la membrana.

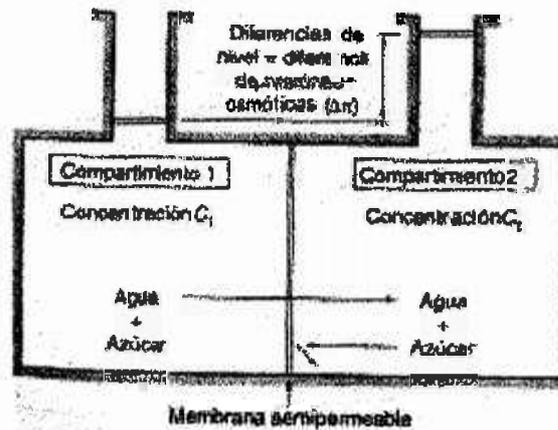


Fig. 1.3. El fenómeno de la ósmosis

1.1.2. La ósmosis inversa

Si se considera de nuevo el sistema anterior pero suponiendo que se ejerce en el compartimiento 2 una presión superior a la diferencia de presiones osmóticas, tal como se muestra en la Figura 1.4.

En tal caso se puede comprobar que la difusión del agua ocurriría en sentido inverso y que el azúcar seguiría sin poder atravesar la membrana. A este fenómeno se le conoce como <<ósmosis inversa>>

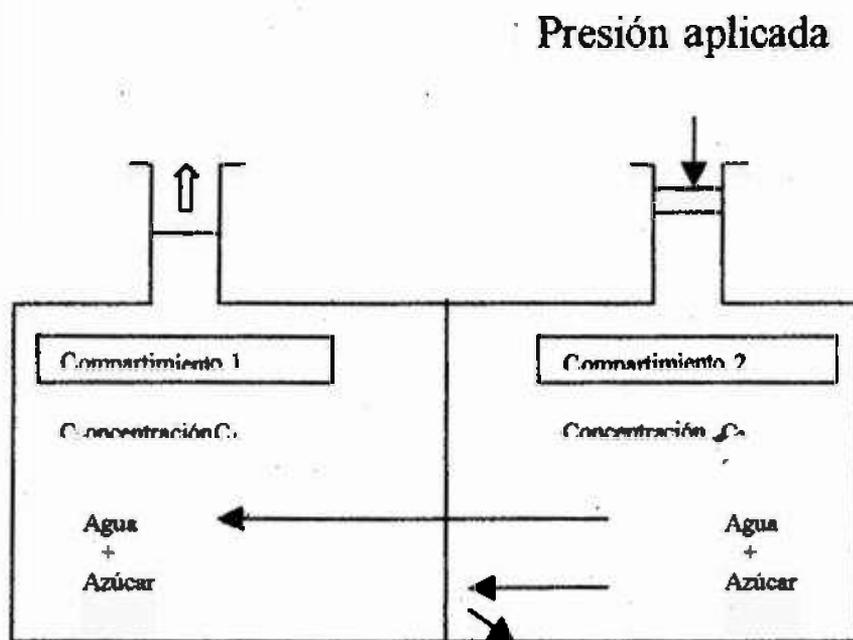


Fig. 1.4. Membrana semipermeable

Desde el punto de vista industrial, el proceso se desarrolla como se muestra en la Figura 1.5.

Una bomba envía la solución a tratar hacia una membrana semipermeable manteniendo permanentemente una presión elevada en uno de sus lados, con lo que una parte del solvente y una cantidad muy pequeña de soluto atraviesan la membrana.

Tanto la solución que atraviesa la membrana como la que es rechazada por ella evacúan en continuo de sus compartimientos.

El rechazo presenta una elevada concentración de sustancias disueltas, siendo baja la del producto o <<permeado>>.

Una válvula de regulación situada en la tubería de rechazo controla el porcentaje que es convertida en producto.

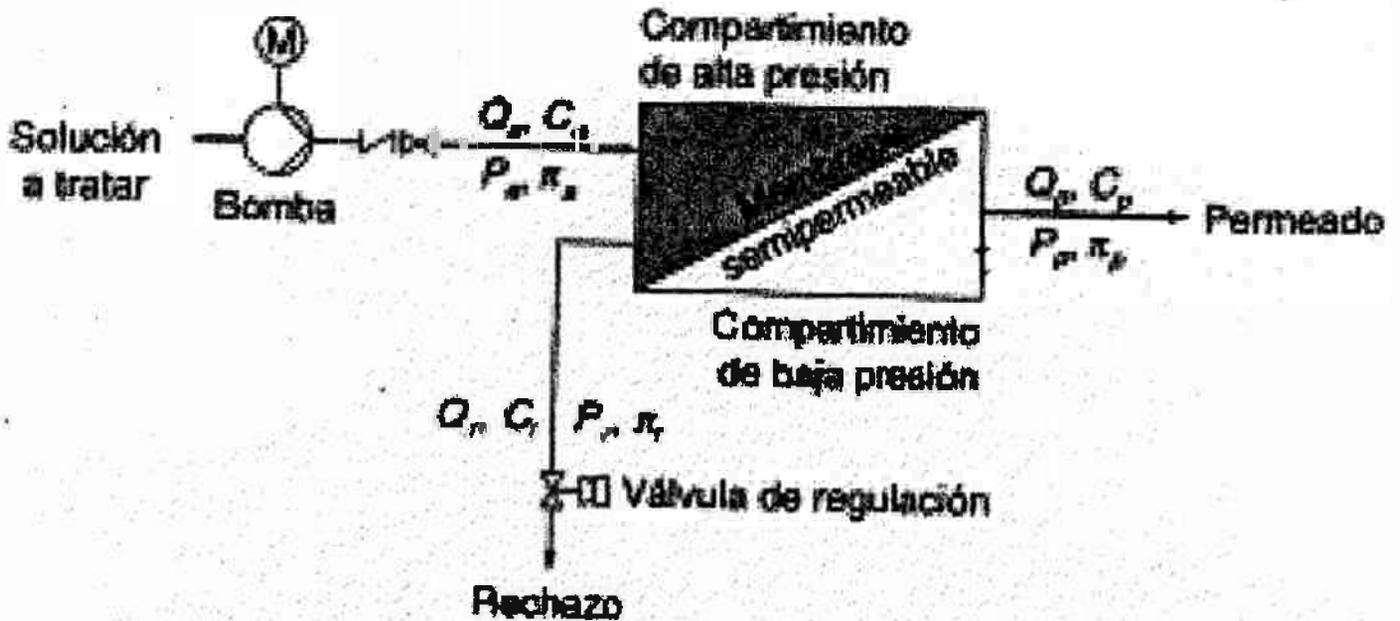


Fig.1.5. Esquema del proceso industrial de la ósmosis inversa.

1.2. INTRODUCCIÓN, TÉRMINOS Y ECUACIONES

PRESIÓN OSMÓTICA

La presión osmótica, P_{osm} , de una solución puede determinarse experimentalmente midiendo la concentración de sales disueltas en la solución:

$$P_{osm} = 1.19 (T + 273) * \text{sum}(m_i) \quad (\text{Ec.1.1})$$

Donde P_{osm} = presión osmótica (en psi), T es la temperatura (en °C), y $\sum(m_i)$ es la suma de la concentración molal de todos los constituyentes en una solución. El pensamiento científico actual sugiere dos modelos de transporte: porosidad y difusión. Esto quiere decir que el transporte de agua a través de la membrana puede ser a través de poros físicos presentes en la membrana (porosidad) o por difusión de un punto de enlace a otro dentro de la membrana. La teoría sugiere que la naturaleza química de la membrana es tal que absorberá y dejará pasar más fácilmente el agua que las sales disueltas en la interfase sólido/líquido. Esto puede ocurrir por enlaces químicos débiles entre el agua y la superficie de la membrana o por disolución del agua dentro de la estructura de la membrana. De cualquier manera, un gradiente de concentración de sales se forma a través de la interfase sólido/líquido. La naturaleza química y física de la membrana determina su habilidad para permitir el transporte preferencial de solvente (agua) sobre el soluto (iones de sales).

TRANSPORTE DE AGUA

La velocidad del paso de agua a través de una membrana semipermeable se define por la ecuación 2.

$$Q_w = (\Delta P - \Delta P_{osm}) * K_w * S/d \quad (Ec.1.2)$$

Donde Q_w es la velocidad del caudal del agua a través de la membrana, ΔP es el diferencial de la presión hidráulica que atraviesa la membrana, ΔP_{osm} es el diferencial de la presión osmótica a ambos lados de la membrana, K_w es el coeficiente de la permeabilidad de la membrana para el agua, S es el área de la membrana, y d es el espesor de la membrana.

TRANSPORTE DE SALES

La velocidad de transporte de sales a través de la membrana se define por la ecuación 3:

$$Q_s = \Delta C * K_s * S/d \quad (\text{Ec.1.3})$$

Donde Q_s es la velocidad de paso de sales a través de la membrana, K_s es el coeficiente de permeabilidad de agua por las sales, ΔC es el diferencial de concentración de sales a ambos lados de la membrana, S es el área de la membrana y d es el espesor de la membrana.

PASO DE SALES

El paso de sales se define como la proporción de concentración de sales en el lado de permeado de la membrana relativa al promedio de concentración en la alimentación/concentrado. Matemáticamente se expresa en la ecuación 4:

$$SP = 100\% * (C_p/C_{fm}) \quad (\text{Ec.1.4})$$

Donde SP es el paso de sales (en%), Cp es la concentración de sales en el permeado, y Cfm es la concentración media de sales en el caudal de alimentación.

El aplicar las ecuaciones fundamentales de paso de agua y sales ilustra algunos de los principios básicos de las membranas de ósmosis inversa.

RECHAZO DE SALES

El rechazo de sales es lo opuesto del paso de sales y se define por la ecuación 5.

$$SR = 100\% - SP \quad (\text{Ec.1.5})$$

Donde SR es el rechazo de sales (en%), y SP es el paso de sales como se definió en la ecuación 4.

PORCENTAJE DE RECUPERACION DE PERMEADO (CONVERSION).

La recuperación de permeado es otro parámetro importante en el diseño y operación de sistemas de ósmosis inversa. El porcentaje de recuperación o conversión del agua de alimentación en producto (permeado) se define por la ecuación 6.

$$R = 100\% * (Qp/Qf) \quad (\text{Ec.1.6})$$

Donde R es recuperación (en%), Q_p es el caudal de agua del producto, y Q_f es el caudal de agua de alimentación. El porcentaje de recuperación afecta el paso de sales y el caudal del producto.

A medida que se incrementa el porcentaje de recuperación, la concentración de sales en el lado de alimentación de la membrana aumenta, lo que causa un incremento en el flujo de sales que atraviesa la membrana como se indica en la ecuación 3.

CONCENTRACION POR POLARIZACION (FACTOR BETA)

A medida que el agua fluye a través de la membrana y las sales son rechazadas por ésta, una capa límite se forma cerca de la superficie de la membrana en la cual la concentración de sales excede la concentración promedio de sales en el flujo turbulento. Este aumento de concentración de sales se denomina concentración por polarización. El efecto de la concentración por polarización es la reducción del caudal real de agua del producto y del rechazo de sales contra los estimados teóricos. Los efectos de la concentración por polarización son los siguientes:

1. Mayor presión osmótica en la superficie de la membrana que en el promedio del caudal de alimentación, P_{osm} , y reducción del diferencial de Presión Neta aplicada a través de la membrana ($\Delta P - \Delta P_{osm}$).
2. Reducción del caudal de agua que atraviesa la membrana (Q_w).

3. Aumento del paso de sales a través la membrana (Q_s).
4. Aumento de la probabilidad de exceder la solubilidad de sales moderadamente solubles en la superficie de la membrana, y de las posibilidades de precipitación que causará la formación de incrustaciones sobre las membranas.

El Factor de Concentración por Polarización (CPF o Factor Beta) se puede definir como la proporción de concentración de sales en la superficie de la membrana (C_s) en la concentración en el flujo turbulento promedio (C_b).

$$\text{CPF (Factor Beta)} = C_s/C_b \quad (\text{Ec.1.7})$$

1.3. TECNOLOGÍA COMERCIAL DE ÓSMOSIS INVERSA

La membrana semipermeable para las aplicaciones de ósmosis inversa consiste en una película fina de material polimérico de varios miles de Angstroms de espesor depositada sobre un soporte de tela. Una membrana de grado comercial debe poseer una permeabilidad alta para el agua y un alto grado de semipermeabilidad; esto es que la velocidad de transporte de agua debe ser mucho mayor que la velocidad de transporte de iones disueltos. La membrana debe ser estable sobre un amplio espectro de valores de pH y temperatura y tener una buena integridad mecánica. La estabilidad de estas propiedades en un periodo en condiciones de trabajo define la vida útil de las membranas comerciales, normalmente entre 3 a 5 años.

Existen dos grandes grupos de materiales poliméricos que pueden usarse para producir satisfactoriamente membranas de ósmosis inversa: acetato de celulosa (AC) y poliamida (PA). La fabricación de membranas, condiciones de operación y funcionamiento difieren significativamente para cada grupo de materiales poliméricos.

MEMBRANAS DE ACETATO DE CELULOSA

La actual membrana de acetato de celulosa (CA) se hace normalmente con una combinación de di y triacetato de celulosa. Después del proceso, la membrana de celulosa posee una estructura asimétrica con una película superficial densa de cerca de 1000 a 2000 Å (0.1 - 0.2 micras), la cual es responsable de la propiedad de rechazo de sales. La base de la membrana es esponjosa y porosa y tiene alta permeabilidad. El rechazo de sales y el flujo específico del agua de una membrana de acetato de celulosa puede controlarse con variaciones de temperatura y duración de la etapa final de baño caliente.

MEMBRANAS DE COMPUESTO DE POLIAMIDA

Las membranas de poliamida son más estables entre límites amplios de pH que las membranas de acetato de celulosa. Sin embargo, las membranas de poliamida son susceptibles a degradación por oxidación a causa del cloro libre u otros oxidantes, mientras que las membranas de acetato de celulosa pueden tolerar niveles limitados de exposición al cloro libre. Comparada con una membrana de poliamida, la superficie de una membrana de acetato de celulosa es más lisa y posee poca carga superficial.

Gracias a la superficie neutra y a la tolerancia al cloro libre, las membranas de acetato de celulosa tendrán generalmente un funcionamiento más estable que las membranas de poliamida en aplicaciones donde el agua de alimentación tenga un alto potencial de ensuciamiento como por ejemplo, los efluentes municipales y aguas superficiales.

1.4. PARÁMETROS DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA

El funcionamiento de las membranas que operan en un sistema de ósmosis inversa se ve afectado por la composición del agua de alimentación, la temperatura del agua de alimentación, la presión de alimentación y por el porcentaje de recuperación de permeado. El funcionamiento bajo un conjunto dado de parámetros de operación puede ser calculado a partir del funcionamiento nominal de la membrana en condiciones de referencia.

1.4.1. Salinidad del agua de alimentación

La salinidad de permeado es proporcional al promedio de salinidad de alimentación en la superficie de la membrana. Por consiguiente, un aumento en la salinidad de alimentación dará como resultado una salinidad de permeado correspondiente más alta.

1.4.2. Temperatura del agua de alimentación

La temperatura afecta la velocidad de difusión del agua y los iones disueltos que atraviesan una membrana semipermeable. El cambio en el flujo de agua por temperatura es cerca del 3% por grado °C.

Un aumento en la temperatura afecta la difusión de sales a una velocidad similar que la del flujo del agua. Puesto que los sistemas de ósmosis inversa están diseñados para operar a caudal de permeado constante, los cambios en la temperatura del agua de alimentación se compensan al ajustar la presión de alimentación. Por esta razón, un incremento en la temperatura del agua de alimentación con la correspondiente disminución en la presión de alimentación dará como resultado una salinidad de permeado más alta.

1.4.3. Presión de alimentación

La presión de alimentación aplicada afecta a la Presión Neta de Alimentación (PNA), la cual, a su vez, afecta directamente al flujo de permeado. Una presión más alta dará como resultado un flujo de permeado más alto. Sin embargo, la presión de alimentación no afecta el transporte de sales que atraviesa la membrana.

Por lo tanto, un aumento en la presión de alimentación dará como resultado un flujo de permeado más alto con una concentración de sales más baja en la corriente de permeado (efecto de dilución de sales que pasan a través de la membrana).

1.4.4. Recuperación de permeado

La velocidad máxima de recuperación a la cual puede operar un sistema de ósmosis inversa de agua salobre es definida, principalmente, por la química del agua, esto es, por la composición iónica del agua de alimentación. Una recuperación excesiva podría dar como resultado la formación de incrustaciones por depósitos de sales sobresaturadas en la superficie de la membrana.

En sistemas de ósmosis inversa de agua de mar, la recuperación está limitada por la salinidad de permeado requerida y por las limitaciones de la presión de alimentación. El aumento en la recuperación del sistema dará como resultado un promedio más alto de salinidad en la superficie de la membrana, con un incremento proporcional en la presión osmótica de alimentación promedio.

CAPÍTULO 2

CONCEPTO Y FUENTES DE ENERGÍA

2.1. CONCEPTO DE ENERGÍA

La energía es un concepto esencial de las ciencias. Desde un punto de vista material complejo de definir. La más básica de sus definiciones indica que se trata de la capacidad que poseen los cuerpos para producir Trabajo, es decir la cantidad de energía que contienen los cuerpos se mide por el trabajo que son capaces de realizar.

La realidad del mundo físico demuestra que la energía, siendo única, puede presentarse bajo diversas formas capaces de transformarse unas a otras.

2.2. TIPOS DE ENERGÍA

Algunas formas básicas de energía son:

- Energía cinética.

Capacidad que, debido a su estado de movimiento, posee la materia para realizar trabajo. En un cuerpo de masa m y velocidad v , la energía cinética $E_k = \frac{1}{2} (mv^2)$.

Es de notar que el valor de la energía cinética depende siempre de la velocidad del cuerpo respecto al sistema de referencia elegido.

- **Energía Mecánica.**

Es aquella que poseen los cuerpos en movimiento, o bien la interacción gravitatoria entre la Tierra y la Luna. La conservación de la energía mecánica, afirma que la energía mecánica de cualquier sistema de cuerpos conectados entre sí de cualquier manera se conserva, siempre que tal sistema no contenga en lo absoluto fuerzas de fricción, incluyendo fricción interna que pudiera surgir por colisiones de los cuerpos del sistema. La relación numérica resultante entre las cantidades de energía mecánica y calor se llama: equivalente de joule, o equivalente mecánico del calor.

- **Energía Térmica.**

Energía interna de los cuerpos que se manifiesta externamente en forma de calor, es decir, la suma de sus energías cinética y potencial.

- **Energía potencial.**

Es la capacidad para realizar un trabajo que tiene un cuerpo o sistema debido a su posición o configuración. En general, puede definirse como energía potencial de una configuración de un sistema respecto a otro del mismo sistema, al trabajo realizado contra las fuerzas conservativas del sistema al pasar éste de una configuración a otra.

- **Energía interna.**

Es la energía presente en un cuerpo o sistema (combustible, vapor o gas comprimido) debido a los movimientos y a las fuerzas existentes entre las moléculas y átomos del cuerpo del sistema.

Según la primera ley de la termodinámica, la variación de la energía interna de un proceso dado es igual a la diferencia entre el calor ganado por el sistema y el trabajo realizado por dicho sistema sobre exteriores a él.

- **Energía calorífica.**

Calor es aquella forma de la energía en tránsito ocasionada por una diferencia de temperatura entre la fuente de la cual proviene la energía y el sumidero hacia el cual dirige.

- **Energía Electromagnética.**

Generada por campos electrostáticos, campos magnéticos o bien por corrientes eléctricas.

- **Energía Química.**

Energía que poseen los compuestos. Se pone de manifiesto por el proceso de conversión generado en una reacción química.

- **Energía Metabólica.**

Es la generada por los organismos vivos gracias a procesos químicos de oxidación como producto de los alimentos que ingieren.

Fuentes y Transformaciones de Energía

Las fuentes de energía se pueden clasificar en:

- 1.-Renovables.
- 2.- No Renovables.

2.3. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas que llegan en forma continua a la Tierra y que a escalas de tiempo real parecen ser inagotables.

Son fuentes de energía renovable:

- Energía solar
- Energía eólica
- Energía de biomasa
- Energía maremotriz
- Energía hidráulica

Energía Solar

Es la energía que llega a la Tierra proveniente de la estrella más cercana a nuestro planeta: El Sol. Esta energía abarca un amplio espectro de Radiación Electromagnética, donde la luz solar es la parte visible de tal espectro.

La energía solar es generada por la llamada Fusión Nuclear que es la fuente de vida de todas las estrellas del Universo.

El hombre puede transformar la energía solar en energía térmica o eléctrica. En el primer caso la energía solar es aprovechada para elevar la temperatura de un fluido, como por ejemplo el agua, y en el segundo caso la energía luminosa del sol transportada por sus fotones de luz, incide sobre la superficie de un material semiconductor (Ej.el silicio), produciendo el movimiento de ciertos electrones que componen la estructura atómica del material. Un movimiento de electrones produce una corriente eléctrica que se puede utilizar como fuente de energía de componentes eléctricos o bien electrónicos. Es el caso del principio de funcionamiento de las calculadoras solares.

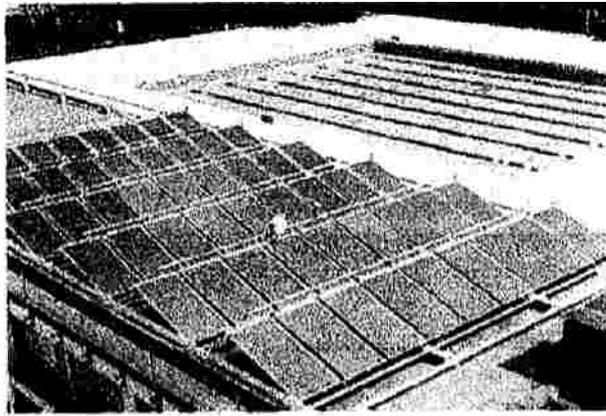


Fig.2.1 Celdas solares

Energía Eólica

Esta energía es producida por los vientos generados en la atmósfera terrestre. Se puede transformar en energía eléctrica mediante el uso de turbinas eólicas que basan su funcionamiento en el giro de aspas movidas por los vientos.

Bajo el mismo principio se puede utilizar como mecanismo de extracción de aguas subterráneas o de ciertos tipos de molinos para la agricultura.

Al igual que la energía solar se trata de un tipo de energía limpia, la cual sin embargo presenta dificultades, pues no existen en la naturaleza flujos de aire constantes en el tiempo, más bien son dispersos e intermitentes.

Este tipo de energía puede ser de gran utilidad en regiones aisladas, de difícil acceso, con necesidades de energía eléctrica, y cuyos vientos son apreciables en el transcurso del año. Esta descripción se ajusta bien a ciertas zonas del sur de Chile.

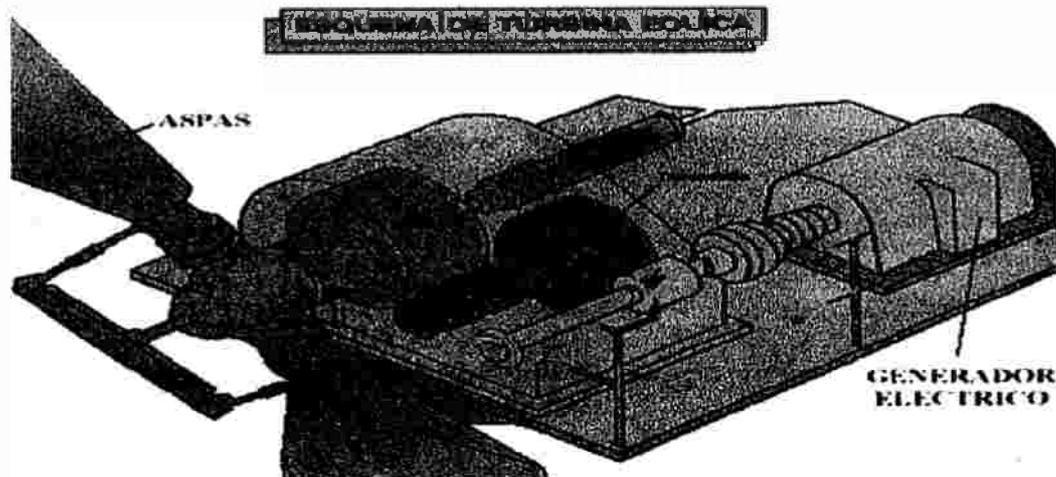


Fig. 2.2. Componentes de una turbina eólica

Biomasa

Esta energía se obtiene de ciertos compuestos orgánicos que se han producido en el tiempo por procesos naturales, es decir, producto de transformaciones químicas y biológicas sobre algunas especies vegetales o bien sobre ciertos materiales.

Un ejemplo de tal proceso lo constituyen los residuos forestales, los residuos de la agricultura y los residuos domésticos. Estos residuos se transforman con posterioridad en combustibles. En el caso de los residuos domésticos es necesario como paso previo a la obtención de energía, un plan amplio para la adecuada clasificación de las basuras y su posterior reciclaje.

Energía Hidráulica.

Es aquella energía obtenida principalmente de las corrientes de agua de los ríos. El agua de un río se almacena en grandes embalses artificiales que se ubican a gran altura respecto de un nivel de referencia. El agua adquiere una importante cantidad de energía potencial (aquella que poseen los cuerpos que se encuentran a cierta altura). Posteriormente, el agua se deja caer por medio de ductos, por lo tanto toda su energía potencial se forma en energía cinética (aquella que posee un cuerpo gracias a su estado de movimiento). La energía cinética de las caídas de agua se aprovecha, por ejemplo, para mover turbinas generadoras de electricidad, tal es el principio de las Centrales Hidroeléctricas.

Energía Mareomotriz

Es la energía obtenida del movimiento de las mareas y las olas del mar. El movimiento de mareas es generado por la interacción gravitatoria entre la Tierra y la Luna. Tal movimiento se utiliza para traspasar energía cinética a generadores de electricidad.

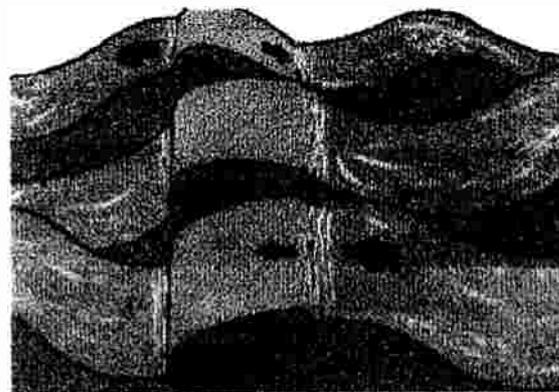


Fig.2.3. movimiento de las olas y mareas

La gran dificultad para la obtención de este tipo de energía es su alto costo y el establecimiento de un lugar apto geográficamente para confinar grandes masas de agua en recintos naturales.

2.4. FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES

Son fuentes de energía no renovables aquellas que se encuentran en forma limitada en el planeta y se agotan a medida que se les consume.

Son fuentes de energía no renovables:

- El Carbón
- El Petróleo
- El Gas Natural
- La Energía Geotérmica
- La Energía Nuclear

El Carbón

Es un combustible fósil, formado por la acumulación de vegetales durante el Periodo Carbonífero de la era Primaria de nuestro planeta. Estos vegetales a lo largo del tiempo han experimentado el encierro en el subsuelo terrestre, ocasionándose cambios de presión y temperatura lo que ha posibilitado la acción de reacciones químicas que los han transformado en variados tipos de carbón mineral.

El Petróleo

Es un aceite natural de origen mineral constituido por una mezcla de hidrocarburos. Estos hidrocarburos se producen por antiguos restos de organismos vegetales, organismos acuáticos y organismos vivos depositados en las profundidades de la corteza terrestre en forma de sedimentos.

El Gas Natural

Es una mezcla de gases combustibles depositados en forma natural en el subsuelo de la Tierra y que poseen un gran poder calorífico. En ocasiones los yacimientos de gas natural se encuentran acompañados por yacimientos de petróleo.

El principal componente del gas natural es el metano y en menor proporción los gases de etano, propano y butano.

Energía Geotérmica

Energía contenida también en el interior de la Tierra en forma de gases. Al ser extraída se presenta en forma de gases de alta temperatura (fumarolas), en forma de vapor y agua hirviendo (geyser) y en forma de agua caliente (fuentes termales).

Energía Nuclear

La energía nuclear es aquella que se libera como resultado de una reacción nuclear. Se puede obtener por el proceso de Fisión Nuclear (división de núcleos atómicos pesados) o bien por Fusión Nuclear (unión de núcleos atómicos muy livianos). En las reacciones nucleares se libera una gran cantidad de energía, debido a que parte de la masa de las partículas involucradas en el proceso, se transforma directamente en energía. Lo anterior se puede explicar en base a la relación Masa-Energía, producto de la genialidad del gran físico Albert Einstein.

Con relación a la liberación de energía, una reacción nuclear es un millar de veces más energética que una reacción química, por ejemplo, la generada por la combustión del combustible fósil del metano.

2.5. VENTAJAS QUE PROPORCIONAN LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS.

- No consumen combustibles.
- Son fuente de generación inagotables.
- No contaminan el medio ambiente.
- No producen mutaciones en los seres vivos.
- No alteran el clima.
- No alteran el equilibrio de la flora y la fauna.

2.6. RESERVAS ENERGÉTICAS.

Fuentes de energía.

Petrolero.....70 años

Gas natural.....60 años

Carbón.....varios años.....altamente contaminante

Nuclear.....sin restricción.....produce alteraciones

Hidráulica.....la explotan en 1/4 del potencial a nivel mundial

Energía no convencional

Geotermia.....en continuo crecimiento

Biomasa.....en aumento

Eólica.....en desarrollo

Fotovoltaica.....en uso y probable rentabilidad

2.7. NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS ENERGÍAS CONVENCIONALES.

Nuclear:

- **Contaminación del agua**
- **Basura nuclear**
- **Produce mutaciones en los seres vivos**

Hidroeléctrica:

- **Disconformidad en la población**
- **Cambio de clima**
- **Alteraciones en la flora y la fauna**
- **Erosión en las orillas de los lagos produciendo gas de pantano (gas metano) con descomposición de la biomasa.**

Petróleo y gas:

- **Polución atmosférica**
- **Contaminación del medio ambiente**
- **Alteraciones de la flora y la fauna**

CAPÍTULO 3

ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

3.1. ENERGÍA SOLAR

La energía solar que recibe la superficie terrestre puede convertirse en energía útil (calorífica, mecánica o eléctrica) mediante muy diversas tecnologías. Las características importantes de la energía solar que deben tomarse en cuenta para plantear su aprovechamiento son: distribución geográfica; su relativamente baja densidad energética y su carácter intermitente, con variaciones diarias, estacionarias y las debidas a las condiciones prevalecientes.

3.1.1. Características y disponibilidad del recurso

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la Historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

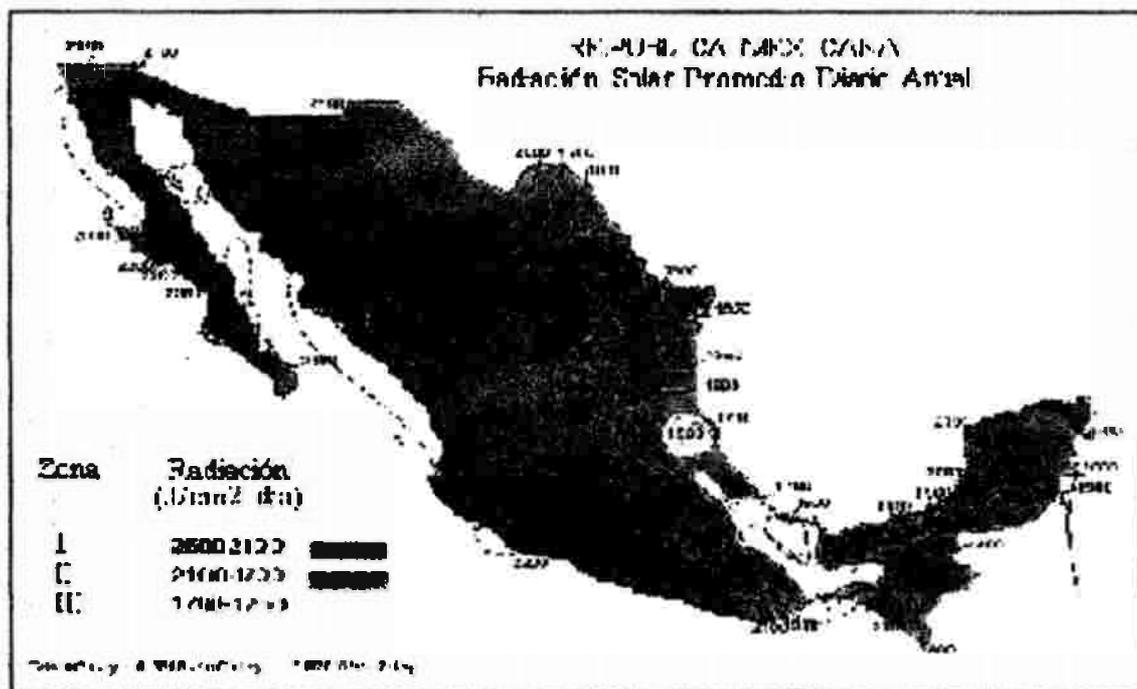


Fig.3.1. Datos de radiación solar diaria para la República Mexicana

Durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que se va a consumir.

México está en una zona geográfica que resulta atractiva desde el punto de vista de disponibilidad del recurso solar. Algunos estudios han cuantificado con mayor detalle los niveles de insolación para la República. (ver Figura 3.1.) (anexo I, pág. 190)

Esta energía puede aprovecharse directamente, o bien ser convertida en otras formas útiles como por ejemplo, en electricidad.

No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras o, simplemente, contaminantes.

Es preciso señalar que, hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas. Así, por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más se necesita.

Es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la incipiente tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala mundial.

La radiación solar se altera considerablemente (por dispersión y absorción) al pasar a través de la atmósfera y el total incidente sobre la superficie horizontal terrestre rara vez excede de 1 kW/m^2 . La radiación solar puede descomponerse en directa y difusa. La primera de ellas se refiere al flujo de rayos solares recibidos desde la dirección del disco solar; la radiación difusa es la que llega a la superficie terrestre desde el resto del cielo y es producto de la dispersión que experimenta la luz solar a través de la atmósfera terrestre.

3.2 TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR.

Las tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar son muchas y muy variadas; sus ventajas y desventajas dependen en buena medida de la aplicación o uso final de ella. Para propósitos de análisis, en lo que sigue se considerarán cuatro grandes grupos de tecnologías. Ellos son a) procesos termodinámicos, b) procesos fotovoltaicos, c) procesos fotoquímicos, y d) procesos termoquímicos.

Las tecnologías termodinámicas tienen como propósito capturar la energía solar y convertirla en calor útil, el que posteriormente puede ser transformado en energía mecánica o eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente la energía solar captada en energía eléctrica, al generarse portadores móviles de carga eléctrica, como resultado de la absorción de la energía de los fotones que inciden sobre materiales semiconductores. La conversión fotoquímica se refiere a tecnologías que producen energía química libre a partir de la radiación solar. Los procesos termiónicos aprovechan la emisión de electrones desde un cátodo caliente, convirtiendo así la energía calorífica directamente en electricidad.

3.2.1. Procesos termodinámicos

Los Sistemas fototérmicos convierten la radiación solar en calor y lo transfieren a un fluido.

El calor se usa entonces para calentar edificios, agua, mover turbinas para generar electricidad, secar granos o destruir desechos peligrosos. Los Colectores Térmicos Solares se dividen en tres categorías:

Colectores de baja temperatura. Proveen calor útil a temperaturas menores de 65° C mediante absorbedores metálicos o no metálicos para aplicaciones tales como calentamiento de piscinas, calentamiento doméstico de agua para baño y, en general, para todas aquellas actividades industriales en las que el calor de proceso no es mayor a 60° C, por ejemplo la pasteurización, el lavado textil, etc.

Colectores de temperatura media. Son los dispositivos que concentran la radiación solar para entregar calor útil a mayor temperatura, usualmente entre los 100 y 300° C. En esta categoría se tienen a los concentradores estacionarios y a los canales parabólicos, todos ellos efectúan la concentración mediante espejos dirigidos hacia un receptor de menor tamaño. Tienen el inconveniente de trabajar solamente con la componente directa de la radiación solar por lo que su utilización queda restringida a zonas de alta insolación.

Colectores de alta temperatura. Existen en tres tipos diferentes: los colectores de plato parabólico, la nueva generación de canal parabólico y los sistemas de torre central. Operan a temperaturas mayores a los 500° C y se usan para generar electricidad y transmitirla a la red eléctrica; en algunos países estos sistemas son operados por productores independientes y se instalan en regiones donde las posibilidades de días nublados son remotas.

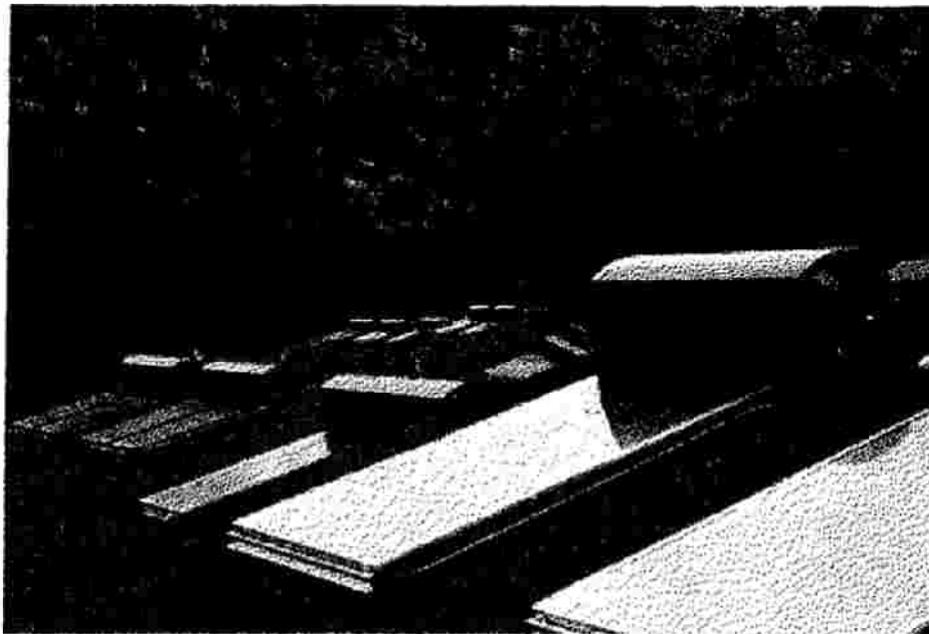


Fig.3.2. Colectores solares

Los sistemas tipo canal parabólica usan reflectores parabólicos en una configuración de canal para enfocar la radiación solar directa sobre un tubo largo que corre a lo largo de su foco y que conduce al fluido de trabajo, el cual puede alcanzar temperaturas hasta de 500° C.

Existen otros sistemas, no comerciales aún, como los de torre central que usan helióstatos (espejos altamente reflejantes) para enfocar la luz solar, con la ayuda de una computadora y un servomecanismo, en un receptor central. Los sistemas parabólicos de plato usan estos reflectores para concentrar la luz del sol en un receptor montado arriba del plato, en su punto focal.

3.2.2. Colectores planos

El colector solar plano es el aparato más representativo de la tecnología solar fototérmica. Su principal aplicación es en el calentamiento de agua para baño y albercas, aunque también se utiliza para secar productos agropecuarios mediante el calentamiento de aire y para destilar agua en comunidades rurales principalmente, estando constituido básicamente por:

1. - Marco de aluminio anodizado.
2. - Cubierta de vidrio templado, bajo contenido en hierro.
3. - Placa absorbedora. Enrejado con aletas de cobre.
4. - Cabezales de alimentación y descarga de agua.
5. - Aislante, usualmente poliestireno, o unicel
6. - Caja del colector, galvanizada.

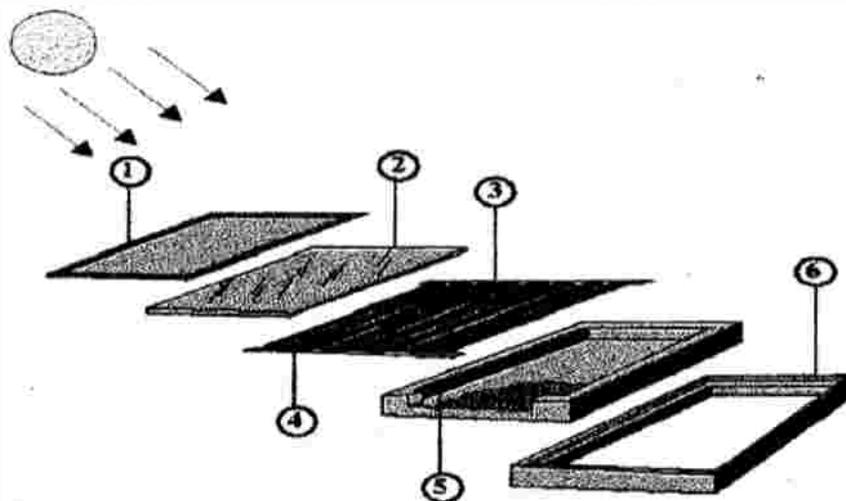


Fig.3.3. Componentes de una celda fototérmica

Para la mayoría de los colectores solares se tienen dimensiones características. En términos generales la unidad básica consiste de un colector plano de 1.8 a 2.1 m² de superficie, conectado a un termotanque de almacenamiento de 150 a 200 litros de capacidad; a este sistema frecuentemente se le añaden algunos dispositivos termostáticos de control a fin de evitar congelamiento y pérdidas de calor durante la noche. Las unidades domésticas funcionan mediante el mecanismo de termosifón, es decir, mediante la circulación que se establece en el sistema debido a la diferencia de temperatura de las capas de líquido estratificadas en el tanque de almacenamiento. Para instalaciones industriales se emplean varios módulos conectados en arreglos serie-paralelo, según el caso, y se emplean bombas para establecer la circulación forzada.

En México, el principal mercado del colector solar plano se ubica en las grandes ciudades, ya que en ellas el problema de la contaminación ambiental es realmente complejo. Numerosos estudios han identificado con bastante precisión las principales fuentes contaminadoras, algunas de ellas no tan evidentes como lo son los procesos de combustión de los automotores y de las plantas industriales, pero que son igualmente dañinas y que aportan en gran escala agentes para la formación de ozono.

3.2.3. Celdas Fotovoltaicas

Los Sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, el mismo material semiconductor usado en las computadoras. Cuando el silicio se contamina o dopa con otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar. Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; este es conocido como el efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa. Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años.

La conversión directa de la parte visible del espectro solar es, quizá, la vía más ordenada y estética de todas las que existen para el aprovechamiento de la energía solar. Desafortunadamente esta tecnología no se ha desarrollado por completo en México. Si bien los módulos fotovoltaicos son relativamente simples, su fabricación requiere de tecnología sofisticada que solamente está disponible en algunos países como Estados Unidos, Alemania, Japón y España entre otros.

Las celdas solares fueron comercializadas inicialmente en 1955. Las investigaciones iniciales en este campo se enfocaron al desarrollo de productos para aplicaciones espaciales, siendo su primera utilización exitosa en los satélites artificiales; sus principales características las hicieron ideales para el

suministro de energía en el espacio exterior. A la fecha las celdas que han alcanzado mayor grado de desarrollo son las de silicio cristalino, tecnología que predomina en el mercado mundial debido a su madurez, confiabilidad en su aplicación y sobre todo, a su vida útil que va de los 20 a los 30 años. Por otra parte las celdas de película delgada, entre ellas el silicio amorfo, han alcanzado cierto grado de popularidad debido a su bajo costo, sin embargo su baja durabilidad, debido a la degradación, las sitúa por debajo de las celdas cristalinas.

En México, el Centro de Investigaciones Avanzadas ha sido pionero del desarrollo fotovoltaico desde hace más de 25 años, periodo en el que se han fabricado tanto celdas de silicio cristalino como módulos fotovoltaicos al nivel de la planta piloto.

No obstante, no se ha llegado a la fabricación en serie, más bien el objetivo ha sido demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vistas a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es prácticamente artesanal y los elementos de producción limitados, aún cuando varios módulos han sido instalados, principalmente por dependencias gubernamentales.

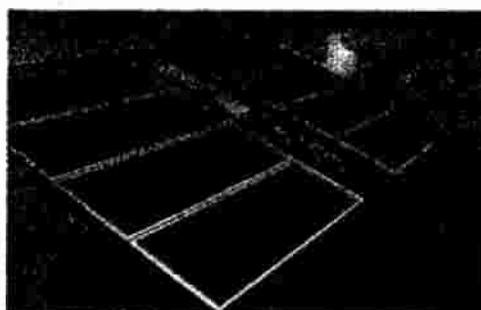


Fig. 3.4 Celdas fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas son unidades pequeñas y generan bajas potencias, por lo que su aplicación requiere la conexión eléctrica de varias de ellas y su encapsulamiento en un armazón que les proporcione soporte y protección formándose así lo que se conoce como un *módulo fotovoltaico*. La fracción del área expuesta al Sol de un módulo fotovoltaico cubierta por las celdas solares es entre 75 y 90%, según la forma y distribución de éstas. Los módulos suelen reunirse en conjuntos, que se denominan *arreglos*, para adecuar el voltaje y potencia entregados a la demanda.

3.2.3.1. Aplicaciones de los generadores solares

- Electrificación de viviendas y establecimientos rurales: iluminación, televisores, telefonía, bombeo de agua y comunicaciones.
- Alumbrado exterior autónomo
- Casas rodantes.

3.2.3.2. Ventajas de las celdas fotovoltaicas

- No consumen combustibles.
- No tienen partes en movimiento.
- Son módulos, lo que permite aumentar la potencia instalada, sin interrumpir el movimiento en funcionamiento de los generadores. Son silenciosas.
- La vida útil es superior a 20 años.
- Resisten condiciones externas con vientos, granizos, temperaturas y humedad. No contaminan el medio ambiente.

CAPÍTULO 4

INVERNADEROS

4.1. CONCEPTO DE INVERNADERO

Es una construcción rural con paredes y techo recubierto por una película transparente, permeable de la radiación solar. Posee una estructura de madera, hierro u otros materiales. En este espacio se obtiene un clima apropiado para el óptimo desarrollo de una plantación específica de hortalizas, flores y plantas verdes, en épocas en las que la temperatura y la luz del lugar sería insuficiente para su crecimiento y fructificación.

4.2. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS PROTEGIDOS

En los últimos años se ha generado de manera considerable el cultivo bajo invernadero como forma más común del cultivo protegido. Los invernaderos ya no pueden considerarse factores de producción limitados a especialistas o técnicos. Muchos agricultores han cambiado sus sistemas de producción tradicionales y utilizan invernadero, más o menos complejos, y deben tecnificar su producción. De hecho, prácticamente cualquier tipo de agricultura, hoy en día, para ser rentable, debe ser muy tecnificada, y el agricultor actual debe dominar una serie de técnicas de producción para poder ser más competitivo.

Esto es todavía más necesario cuando se trata de cultivos en invernadero: la inversión inicial ha sido mucho mayor, la producción esperada también, y el riesgo económico, en caso de cualquier accidente o anomalía de funcionamiento es mucho mayor.

4.3. OBJETIVOS QUE PERSIGUE UN INVERNADERO

Las limitaciones que el medio ambiente impone, llevaron a crear nuevas formas de cultivos, con parte o todo el ciclo bajo protección utilizando para ello materiales y formas diversas. De esta manera se logró producir en épocas que antes no era posible, incrementar la producción física, mejorar la calidad, así como también disminuir los riesgos frente a fenómenos climáticos como lluvias intensas, granizos, vientos, temperaturas altas y heladas.

El cultivo de diversas especies hortícolas en forma protegida es una estrategia productiva que persigue principalmente los siguientes objetivos:

- Aumentar la producción.
- Obtener productos de mejor calidad.
- Adelantar o retrasar el momento de la recolección.

El cultivar bajo invernadero ciertas especies hortícolas, como por ejemplo: tomate, pepino, pimiento, apio, frutilla, se busca principalmente, obtener la producción con anterioridad o posterioridad a la época normal de cosecha de campo. De esta manera se puede lograr una mejor cotización en los mercados y un abastecimiento más prolongado.

4.4. DISTINTOS TIPOS DE INVERNADEROS.

Invernaderos calientes.

Invernaderos templados.

Invernaderos fríos.

El invernadero frío consiste simplemente en la protección, sea del tipo que sea, sin otros equipamientos para conseguir temperaturas más elevadas de las que puede proporcionarnos esta protección. Por invernadero templado se puede entender casi lo mismo con una somera instalación para la producción de calor que nos permita mantener temperaturas medias no muy altas, por encima de las temperaturas críticas para muchos cultivos; se trata de poder salvar en un momento dado los efectos de las heladas, por ejemplo. Finalmente, cuando se habla de un invernadero caliente se está refiriendo a aquellos casos en los que se dispone una instalación eficaz de calefacción que permite mantener una temperatura determinada en el interior del invernadero, en función de las necesidades de la planta y con relativa independencia de las temperaturas exteriores.

4.5. VARIACIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN LOS INVERNADEROS

Las consideraciones inherentes a la climatología y a la ecología definen la importancia de las características ambientales de una cierta zona y establecen su aptitud para cultivos en invernaderos desde un punto de vista económico.

Este ambiente se puede llamar "exterior" y es el que determina si es posible o no instalar un determinado tipo de invernadero, su orientación, etc, pero el ambiente que realmente interesa para los fines de los cultivos es el interior, el cual deriva del exterior, pero puede adquirir unas características peculiares que son las que definen cada ambiente particular de invernadero. La referencia será, naturalmente, al ambiente que se forma en un invernadero en el cual no ha habido operaciones de climatización, pero que ha sufrido modificaciones sustanciales con respecto del exterior y de los parámetros determinantes: Temperatura, luz, grado higrométrico y concentración atmosférica en anhídrido carbónico, y esto por el mero hecho de ser un ambiente que se desarrolla en un área cubierta.

Se empezará considerando la temperatura puesto que el balance térmico, junto con la cantidad total de energía luminosa, constituye el elemento principal para determinar la eficacia de un invernadero y un argumento de estudio para investigadores y técnicos.

4.5.1. Temperatura.

El invernadero es una construcción que siempre se ha realizado con armaduras y soportes muy diversos y con materiales de recubrimiento que dejan pasar las radiaciones solares que son indispensables para la vida de las plantas. La composición de la radiación incluye radiaciones visibles y radiaciones invisibles al ojo humano, ambas necesarias para un desarrollo regular de los numerosos procesos biológicos vegetales.

El sol, cuya temperatura está calculada aproximadamente en $6,000^{\circ}\text{C}$, emite una energía de $7-9 \text{ Kwh/m}^2$ en las regiones ecuatoriales, mientras que en las regiones templadas tiene esta misma intensidad solamente en los meses de verano, bajando a un tercio en los meses de invierno. La capacidad máxima de emisión es la del cuerpo negro. Un punto de origen emite energía en un determinado campo de longitud de onda, pero existe siempre una longitud de onda característica en la cual se emite la mayor parte de la energía y que se llama "longitud de onda del máximo".

La "longitud de onda del máximo" es tanto más corta cuanto más elevada es la temperatura. Efectivamente, la radiación del sol tiene lugar en una banda contenida entre 200 y 3,000 μm (micrómetros), comprendiendo la luz visible y el infrarrojo corto. La longitud de onda del máximo es de 500 μm y está comprendida en la banda del color amarillo.

La longitud de onda del máximo está situada hacia las 9.000-10.000 m μ ; a esta emisión se le llama radiación terrestre y está formada por infrarrojos largos. La absorción por parte de una sustancia depende de la longitud de onda del flujo incidente.

También la transmisión depende de la longitud de onda del flujo incidente. Todos los materiales usados en los invernaderos son transparentes para la luz visible y el infrarrojo corto. La parte reflejada y absorbida representa tan sólo el 10-20% del total. Este valor varía, naturalmente, según la inclinación y la orientación de las paredes.

En general, la absorción alcanza el 95% y, por lo tanto, la pared de un invernadero se comporta como un cuerpo negro; la energía de la atmósfera es transformada en calor por absorción por parte del recubrimiento y es emitida a su vez por irradiación; esta energía irá, la mitad hacia el exterior y la otra mitad hacia el interior. Después de estos fenómenos, se puede decir que en el interior del invernadero ha pasado una cantidad muy aproximada al 50% de la energía que viene de la atmósfera.

En relación con la temperatura de la atmósfera de un invernadero, las radiaciones más importantes son las infrarrojas cortas, que pasan a través de los materiales de recubrimiento, y son absorbidas por las plantas, por el terreno y por los otros materiales que se encuentran en el invernadero.

La temperatura en el interior de un invernadero depende en su mayor parte del “efecto invernadero” que nace, por una parte, de la radiación solar y, por otra, de la impermeabilidad de los materiales de recubrimiento a las radiaciones caloríficas.

4.5.1.1. Cálculo de las necesidades térmicas.

a) *Dispersiones caloríficas por conducción - convección.*

Las pérdidas por conducción - convección de las paredes constituyen la parte mas importante de las pérdidas. Estas son proporcionales a la diferencia de temperatura que existe entre el interior y el exterior del invernadero.

El conjunto de estas pérdidas se pueden calcular con la fórmula:

$$Q = KS(t_i - t_e) \quad (\text{Ec.4.1})$$

Donde:

Q = cantidad de Kcal/h.

S = superficie de las paredes en m².

Te = temperatura exterior.

Ti = temperatura interior en °C.

K = coeficiente de transmisión expresado en Kcal/hora/°C que tiene en cuenta las variaciones de temperatura.

b) Dispersiones caloríficas debidas a la renovación del aire.

Las dispersiones de calor a través de las fisuras son proporcionales al porcentaje de renovaciones del aire en el invernadero y pueden expresarse con la fórmula siguiente:

$$q' = R \cdot V \cdot 0.3 (t_i - t_e) \quad (\text{Ec.4.2})$$

Donde:

q' = dispersión calorífica por renovación de aire en Kcal/h.

R = índice de renovación o número de renovaciones del volumen del aire del invernadero en m^3 (m^3/h).

V = volumen del invernadero en m^3 .

El índice de renovación del aire es proporcional a la diferencia entre la temperatura del interior y la del exterior, a los movimientos del aire en el interior y a la velocidad del viento.

e) Dispersiones caloríficas a través del suelo.

La calefacción y el enfriamiento del terreno son lentos, sobre todo cuando su contenido en agua es elevado; por lo tanto, puede representar para el invernadero un nivelador térmico. Generalmente, se considera que a 50 centímetros de profundidad la temperatura del suelo no está influenciada por la calefacción de la atmósfera. Las pérdidas a través del suelo (q') representan una décima parte de las pérdidas totales.

d) Pérdidas por irradiación

A las pérdidas susodichas hay que añadir aquellas producidas por irradiación infrarroja emitida por el suelo o por los vegetales.

$$q_r = 4.4 \cdot 10^{-8} \text{ Ag P } (T_i^4 - T_e^4) \quad (\text{Ec.4.3})$$

Donde:

Ag = superficie de irradiación (superficie del terreno del invernadero en m²)

P = coeficiente de permeabilidad a las radiaciones.

Ti y Te = temperatura interior y exterior expresadas en valores absolutos

Para el polietileno P = 0.8.

Para el polietileno pared doble P = 0.64.

d) Balance térmico

Para calcular la cantidad de calor necesaria para la calefacción del invernadero es necesario ante todo tener en cuenta las dispersiones caloríficas mencionadas anteriormente:

$$Q = q + q' + q'' + q_r - \text{irradiación solar} \quad (\text{Ec.4.4})$$

Una fórmula completa que permite establecer la temperatura de un invernadero conociendo las características del material de construcción, la forma del invernadero y las características ambientales es la siguiente:

La ecuación 4.4 se puede simplificar de la siguiente manera:

$$Q_f + Q_s + Q_e + Q_r = Q_c + Q_t + Q_p + Q_g + Q_v \quad (\text{Ec.4.5})$$

Donde:

$$Q_f + \alpha_s A_s \tau I + Q_e + Q_r = U A_c (t_i - t_a) + \sigma A_t \tau (\sum_s T_s^4 - \sum_a T_s^4) + Q_p + 0.1 A_g (t_g - t_a) + 60 C_p (\text{CFM}/V) (t_i - t_a) + 5.400 A_g (\text{E.T.}).$$

Q_s = calefacción debida al sol, Kcal/h.

Q_f = calefacción debida al generador, Kcal/h.

Q_e = calefacción debida al resto de las estructuras, Kcal/h.

Q_r = calefacción debida a la transpiraciones del material biológico, kcal/h.

Q_c = pérdida de calor por conducción, Kcal/h.

Q_p = energía solar utilizada por las plantas para la fotosíntesis, Kcal/h.

Q_t = pérdida de calor por radiación térmica a la atmósfera, Kcal/h.

Q_v = pérdida o ganancia de calor en la ventilación, Kcal/aire.

Q_g = calor absorbido o cedido por el terreno, Kcal/aire.

α_s = absorción por parte de la superficie de la radiación solar, desde 0.70 a 0.85.

A_s = superficie alcanzada por la radiación solar, m^2 .

τ = transmisión de la radiación solar.

I = intensidad solar sobre la superficie horizontal, Kcal/h/ m^2 .

U = coeficiente de conducción.

A_c = superficie total del invernadero expuesto, m^2 .

T_i = temperatura del aire en el interior del invernadero, $^{\circ}\text{C}$.

T_a = temperatura atmosférica cerca del terreno, °C.

σ = constante de Stefan Boltzmann $0,174(10^{-8})$, Btu/hr pie² °F.

A_t = superficie radiante de calor hacia la atmósfera, m².

τ_t = transmisión de radiación térmica.

Σ_s = emisión de la superficie térmica radiante la atmósfera aprox. 0.90.

T_s = temperatura absoluta de las superficies radiante a la atmósfera, °R.

Σ_a = emisión aparente de la atmósfera.

T_a = temperatura absoluta atmosférica cerca del suelo °R.

C_p = calor específico del aire, Kcal/kg.

CFM = cantidad de flujo de aire, m³/min.

V = volumen de la humedad del aire, m³/kg.

A_g = superficie del terreno cubierto, m².

E.T. = cantidad de evapotranspiración, mm/h.

T_g = temperatura de agua del pozo, °C.

4.5.2. HUMEDAD RELATIVA.

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa (HR) es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: al tomate, al pimiento y berenjena les gusta una HR sobre el 70-80%; al melón, entre el 60-70%; al calabacín, entre el 65-80% y al pepino entre el 70-90%.

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse.

4.5.3. ILUMINACIÓN

A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la HR y el CO₂, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores.

Para mejorar la luminosidad natural se usan los siguientes medios:

- Materiales de cubierta con buena transparencia.
- Orientación adecuada del invernadero.
- Materiales que reduzcan el mínimo las sombras interiores.
- Aumento del ángulo de incidencia de las radiaciones sobre las cubiertas.

En verano para reducir la luminosidad se emplean:

- Blanqueo de cubiertas.
- Mallas de sombreo.
- Acolchados de plástico negro.

Es interesante destacar el uso del blanqueo ya que esta labor está en función del desarrollo del cultivo y de las temperaturas, y tiene efectos contradictorios que hay que conocer para hacer un correcto uso. Hay que saber que la planta sombreada se ahila y se producen abortos de flores en determinadas especies sensibles a la luz (especialmente tomate, pimiento y berenjena), por lo que el manejo del riego y de la solución nutritiva tiene que ir unida al efecto que produce el blanqueo. Los plásticos sucios o envejecidos provocan el mismo efecto que el blanqueo.

4.5.4. CO₂

El anhídrido carbónico de la atmósfera es la materia prima imprescindible de la función clorofílica de las plantas. El enriquecimiento de la atmósfera del invernadero con CO₂, es muy interesante en muchos cultivos, tanto en hortalizas como en flores.

La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0.03%.

Este índice debe aumentarse a límites de 0.1-0.2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0.3% resultan tóxicas para los cultivos.

En los invernaderos que no se aplique anhídrido carbónico, la concentración de este gas es muy variable a lo largo del día. Alcanza el máximo de la concentración al final de la noche y el mínimo a las horas de máxima luz que coinciden con el mediodía. En un invernadero cerrado por la noche, antes de que se inicie la ventilación por la mañana, la concentración de CO₂ puede llegar a límites mínimos de 0.005-0.01%, que los vegetales no pueden tomarlo y la fotosíntesis es nula. En el caso que el invernadero esté cerrado durante todo el día, en épocas demasiado frías, esa concentración mínima sigue disminuyendo y los vegetales se encuentran en situación de extrema necesidad en CO₂ para poder realizar la fotosíntesis.

Los niveles aconsejados de CO₂ dependen de la especie o variedad cultivada, de la radiación solar, de la ventilación, de la temperatura y de la humedad. El óptimo de asimilación está entre los 18 y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de los 23-24° C. Respecto a la luminosidad y humedad, cada especie vegetal tiene un óptimo distinto.

El efecto que produce la fertilización con CO_2 sobre los cultivos hortícolas, es el de aumento de la precocidad de aproximadamente un 20% y aumento de los rendimientos en un 25-30%, mejora la calidad del cultivo así como la de su cosecha.

Sin embargo, no se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es factor limitante, y así, la tasa de absorción de CO_2 es proporcional a la cantidad de luz recibida, además de depender también de la propia concentración de CO_2 disponible en la atmósfera de la planta. Se puede decir que el periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el mediodía, ya que es la parte del día en que se dan las máximas condiciones de luminosidad.

4.6. MATERIALES DE RECUBRIMIENTO.

Es muy importante hacer una buena selección del plástico para reducir los riesgos de la inversión, no solamente en el material, sino también en toda la plantación.

Para escoger la cubierta adecuada es necesario tener en cuenta la situación geográfica, las temperaturas máxima y mínima, las posibilidades de heladas, el régimen de vientos, la humedad relativa, el régimen de lluvias, la radiación solar, la especie que se va a sembrar.

La cubierta requiere de bloqueador de la radiación ultravioleta por lo menos hasta 315 nanómetros (nm). La cubierta ideal debe, entonces, bloquear la radiación UV propuesta, pero ser permeable a la radiación solar del resto de la banda hasta 3000 nm; retener la energía calorífica generada por las radiaciones infrarrojo (IR) que emanan del suelo y de las plantas; eliminar los problemas que se derivan de la condensación de agua; tener larga duración y costo balanceado de los beneficios.

Tabla 4.1 Efecto de las plantas con respecto a la región espectral.

REGION ESPECTRAL	EFEECTO
280-315 nm	Detrimento, quemazón, Ennegrecimiento
315-400 nm	Formativo, algún efecto sobre plagas y virus
400-510nm	Fotosíntesis secundaria; crecimiento de tallos y hojas
510-610 nm	Poca respiración biológica.
610-700 nm	Máxima actividad fotosintética y síntesis de clorofila.

Diferentes polietilenos para invernaderos.

Cubiertas bloqueo ultravioleta.- Estas cubiertas se usan en zonas frías pero son propensas a largos períodos de extremo frío a heladas, también se emplean en invernaderos de zonas cálidas.

Los hay, estabilizados de Níquel ligeramente amarillo-verdoso, transparentes, incoloros. Tienen el mismo grado de bloqueo de la radiación ultravioleta.

Cubiertas térmicas.- Estas cubiertas deben usarse en zonas extremadamente frías o propensas a largos períodos de extremo frío y/o a frecuentes heladas. Durante el día, se acumula dentro del invernadero el calor que no sobrepase las temperaturas máximas críticas para el adecuado desarrollo de las plantas. Este calor es retenido durante la noche evitando que el descenso térmico incida en los cultivos, lo cual ocasionaría paros vegetativos que reducirían el rendimiento y la precocidad. Hay térmicos blancos traslúcidos y también los hay ligeramente amarillo-verdoso que cumplen exactamente la misma función.

Difusión de luz.- El plástico ideal es aquel que tiene la cualidad de efectuar una buena difusión de la luz transmitida, reduciendo las sombras y permitiendo que las plantas reciban luz en toda su superficie y no solamente por la zona de incidencia.

Entre los termoaislantes o térmicos se encuentran también los que además de su natural particularidad de buenos difusores de luz, tienen agregadas características de mayor difusión aún. Esta propiedad es muy importante ya que contribuye a que las plantas utilicen uniformemente, en todo su contorno, el máximo posible de luz receptada.

Para algunos recubrimientos que tengan forma de parabólica o semicilíndrica; la luz receptada que enviste el invernadero es casi del 90% de la luz total y, por tanto, una fracción de luz de más del 75% podrá pasar a través del recubrimiento.

4.7. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL CULTIVO PROTEGIDO

Ventajas

- Es posible adelantar (precocidad) o atrasar (tardividad) u obtener cosechas fuera de época.
- Mayores rendimientos (3-5 veces mayor que los obtenidos en el campo).
- Mayor calidad en la producción, limpieza, sanidad, uniformidad).
- Un uso más eficiente.
- Facilita la organización de las actividades del establecimiento.
- Mejores condiciones para emplear criterios de control integrado de plagas.
- Es posible realizar más de un cultivos al año.

imitaciones

→ Inversión inicial alta. La combinación de alta inversión con alto costo crédito, dificulta su desarrollo.

→ Diferencias en el paquete tecnológico aplicable a cada situación. Los cultivos protegidos difieren de los cultivos a pleno campo.

→ El sistema de cultivo protegido genera y agudiza el efecto de algunos problemas, como por ejemplo: la concentración de sales en el suelo con mayor incidencia de algunos patógenos del suelo.

CAPÍTULO 5

MANUAL DE OPERACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMAS DEL PROGRAMA DE RODESIGN

Sección I OPERACIÓN DEL RODESIGN

5.1. USO DEL RODESIGN

RODESIGN para Windows es un programa de apoyo para el diseño de sistemas de ósmosis inversa, que pronostica la calidad del agua de producto de un sistema específico, permite que el usuario determine los requerimientos de potencia eléctrica y los costos de operación. También pueden obtenerse gráficos sobre cómo funcionará el sistema entre límites de valores de temperatura y recuperación. De esta manera, RODESIGN le brinda al usuario la posibilidad no solamente de optimizar el diseño del sistema, sino que también le permite calcular parámetros económicos del mismo y obtener gráficas de parámetros de operación en función de condiciones variables.

RESUMEN

El siguiente resumen es una revisión del programa usando los títulos del menú para diseñar un sistema con el programa informático RODESIGN:

Archivo (File)/Configurar (Setup):

1. Guardar (Save) /Restablecer (Restore) una configuración de diseño completa.

1. Permite escoger entre unidades inglesas o métricas.

Análisis (Analysis):

1. Crear (Create) o Recuperar (Retrieve) análisis del agua de alimentación.

2. Guardar (Save) composiciones iónicas de los flujos de permeado o concentrado.

Diseño de ósmosis inversa (RO Design):

1. Parámetros de especificaciones de diseño, tipos de membrana, etc.

2. Análisis y repetición de los parámetros de diseño para optimizar el funcionamiento.

Tratamiento: (Treatment)

Especificación de concentraciones de compuestos químicos en el postratamiento y cálculo de las concentraciones iónicas y pH del permeado resultante.

Cálculos (Calculations):

1. Requerimientos de consumo energético basados en los cálculos de presiones y caudales específicos, recuperación y eficiencia de bombas y motores.
2. Desglose de Costos de capital, consumo energético, compuestos químicos, repuestos y gastos de mantenimiento basados en el diseño, tratamiento y programación estimada de reposición de membranas.

Gráficos:

Los siguientes gráficos se pueden generar para demostrar el funcionamiento del sistema entre límites predeterminados de condiciones de operación.

1. Presión vs. Temperatura
2. Salinidad vs. Recuperación
3. Salinidad vs. Temperatura
3. Presión vs. Recuperación.

Al diseñar un sistema de ósmosis inversa, la información fundamental que el usuario necesita conocer consiste en las características del agua de alimentación y la cantidad y calidad de permeado requerido. De esta manera, se deben registrar en la ventana de Análisis (Analysis) el pH, la temperatura, origen del agua de alimentación (pozo, superficie, etc).

En la ventana de diseño de ósmosis inversa se introducen datos específicos del sistema, como caudal de permeado, recuperación, tipo de membrana y número de etapas; una vez introducidos éstos, el usuario EJECUTA (RUN) el programa para determinar si los parámetros especificados van a satisfacer los requerimientos establecidos y las limitaciones de diseño. Se podrá entonces, si fuese necesario, redefinir los parámetros del sistema y proceder por medio de iteraciones a alcanzar un diseño óptimo. Para simular la adición de ácido, introducir el valor de pH deseado y el programa calculará automáticamente la cantidad de ácido que debe ser añadido. Se dispone asimismo de opciones de contrapresión en el producto, bomba de ayuda ("buster"), recirculación de concentrado y pasos de desalación de permeado. Los detalles de cada uno de estos puntos se encuentran en la subsección de diseño de ósmosis inversa que se presenta mas adelante.

5.2. LÓGICA DEL PROGRAMA

La lógica del programa está diseñada para que el usuario se mueva a través de las ventanas de menú, desde la selección de un análisis de agua de alimentación a través del diseño del sistema, tratamiento de permeado y costos, para calcular los datos sobre el funcionamiento del sistema de ósmosis inversa y los parámetros de operación al usar los elementos de membrana de Hydranautics.

Al comenzar con la ventana de **Análisis (Analysis)** de agua se puede crear un análisis nuevo o recuperar un análisis previamente guardado. Luego, la ventana de **Diseño de ósmosis inversa (RO Design)** se abre para especificar el caudal del producto y la recuperación, el tipo de membrana, la edad (de ésta) y el número de etapas, así como también los factores de disminución (anual) de caudal de permeado y de aumento anual del porcentaje de paso de sales. También se tiene la opción de especificar otros parámetros como el tamaño y configuración de un segundo paso de desalación de permeado, el valor de contrapresión de permeado, una bomba de ayuda ("buster") entre etapas o la recirculación de concentrado. Después de que el diseño se ejecute para calcular la calidad del producto y determinar si los límites del diseño se excedieron, se tiene la opción de regresar a la pantalla de análisis o alterar alguno de los parámetros de diseño para optimizar el funcionamiento. Desde la ventana de **Diseño de ósmosis inversa (RO Design)**, también se puede tener acceso al diagrama de bloques con los datos sobre caudal, presión y concentración de cada caudal.

Están disponibles dos ventanas adicionales: una para definir las opciones de **Tratamiento (Treatment)** de permeado y los cambios resultantes en las concentraciones de iones y pH, y la otra para analizar los **Cálculos (Calculations)** de costo y requerimientos de potencia eléctrica. Estas dos opciones del menú serán discutidas al final.

CÁLCULOS DE LA CALIDAD DE AGUA DEL PRODUCTO

El Programa calcula la calidad de agua de permeado y los requerimientos de caudal y la presión de alimentación dependiendo de:

- Caudal de permeado.
- Porcentaje de recuperación.
- Composición del agua de alimentación.
- Temperatura del agua de alimentación.
- Modelo y número de elementos de membrana.
- Índice de disminución anual del flujo de permeado.
- Índice del aumento anual del porcentaje del paso de sales.

Como se mencionó anteriormente, la ventana de diseño del sistema de ósmosis inversa requiere la especificación de:

- Recuperación de diseño del sistema, como porcentaje.
- Agua de producto, caudal en gpd, gpm, m^3/hr o $m^3/día$.
- Edad de las membranas, generalmente 0, 1, 3, ó 5 años.
- % de disminución del flujo por año.
- % de aumento de paso de sales por año.
- Número de etapas en cada paso del sistema.
- Modelo de membrana.

ALGORITMO DEL PROGRAMA

El programa consiste en un algoritmo o cálculo iterativo, en el cual el programa estima primero una presión de alimentación para satisfacer la recuperación de permeado deseada, y luego calcula el rendimiento del primer elemento del sistema. El concentrado del primer elemento se transforma en la alimentación del segundo elemento y se hace un cálculo del rendimiento del segundo elemento. Se continúa así de elemento en elemento a través del arreglo completo para el diseño propuesto. Luego el programa realiza una suma del caudal de permeado de todos los elementos y compara este valor con el valor que se tiene como objetivo. El programa ajusta la presión de alimentación basada en esta comparación, lo que hace converger al programa hacia la presión de alimentación requerida para lograr la recuperación de permeado establecida que el usuario predeterminó cuando definió los parámetros de operación del sistema.

Una vez que el programa converge en una única solución, la pantalla cambia para incluir los datos de concentraciones, presiones y concentraciones de saturación para el sistema. Los cálculos pueden repetirse con diferentes parámetros de diseño o configuraciones de membranas. En ciertas condiciones de agua de alimentación y parámetros de diseño del sistema, es posible que el programa no converja. El programa sugerirá al diseñador que introduzca de nuevo (o corrija) una o más variables, si no converge.

5.3. CONVERSIÓN Y ERRORES DE DISEÑO

El programa considera los siguientes tres criterios que gobiernan la convergencia y sugiere un cambio de los parámetros de diseño si alguno de ellos no se alcanza:

1. Si el caudal del producto del sistema es totalmente incompatible con el número de elementos seleccionados. Esto ocurre, por ejemplo, cuando accidentalmente se utilizan unidades de caudal de producto equivocadas o no consistentes entre sí, como gpd en lugar de m^3 /día.
2. Si el programa no converge sobre una presión de alimentación después de 19 iteraciones.
3. Si el programa no converge después de 300 segundos de tiempo real de cálculo. Se recomienda tener instalado un coprocesador matemático en su ordenadora si se calcula el funcionamiento de sistemas de etapas múltiples. El Programa sugerirá al diseñador que cambie los parámetros de diseño si el programa no converge.

Adicionalmente, el programa alertará al usuario sobre los siguientes problemas potenciales en el diseño del sistema:

1. La presión osmótica de concentrado excede la presión del caudal de concentrado.
2. Se han excedido los índices de saturación.

3. El caudal es muy alto o muy bajo/el factor beta se ha excedido.

5.4. INSTALACIÓN EN WINDOWS 95 / 98

I. Para instalar RODESIGN en ordenadores con Windows 95/98:

1. Inserte el disco en la unidad de disquete (floppy drive).
2. Seleccione el botón de Inicio (Start), señale Configuración (Setting) y luego haga clic en Panel de Control (Control Panel).
3. Haga doble clic en Añadir/Remover Programas (Add/Remove Programs).
4. Siga las instrucciones de la pantalla.
5. Para iniciar RODESIGN, haga doble clic en el ícono del programa o seleccione Inicio (Start), señale Programas (Programs) y seleccione RODESIGN de la lista de programas.

Sección II DISEÑO DE SISTEMAS

5.5. PROCESO DE DISEÑO

5.5.1. Pretratamiento

Consideraciones sobre el ensuciamiento de las membranas

Dependiendo de su origen, el agua de alimentación puede contener diferentes concentraciones de sólidos suspendidos y disueltos.

Los sólidos suspendidos pueden consistir en partículas inorgánicas, coloides y material biológico como microorganismos y algas. La materia disuelta puede consistir en sales altamente solubles como los cloruros y sales moderadamente solubles como los carbonatos, sulfatos y sílice. Durante el proceso de ósmosis inversa, el volumen de agua de alimentación disminuye al pasar el permeado a través de la membrana, y la concentración de partículas suspendidas e iones disueltos aumenta. Las partículas suspendidas pueden quedarse en la superficie de la membrana, de esta manera los canales de alimentación se bloquean y aumentan las pérdidas por fricción (diferencial de presión) a través del sistema. Las sales moderadamente solubles pueden precipitarse en el caudal de concentrado, crear incrustaciones en la superficie de la membrana y dar como resultado una permeabilidad de agua más baja a través de las membranas de ósmosis inversa (disminución del caudal de permeado). Este proceso de formación de una capa de depósito en la superficie de la membrana se llama ensuciamiento ("fouling") y tendrá por resultado el deterioro en el funcionamiento del sistema de ósmosis inversa.

El objetivo del proceso de pretratamiento del agua de alimentación es mejorar la calidad del agua de alimentación a un nivel en que se asegure una operación satisfactoria de las membranas de ósmosis inversa.

La calidad del agua de alimentación se define en términos de concentración de partículas suspendidas y niveles de saturación de sales moderadamente solubles. Los indicadores comunes de partículas suspendidas usadas en la industria de ósmosis inversa son la turbiedad y el Índice de Ensuciamiento (SDI).

Los límites máximos recomendados son: turbiedad de 1 NTU y SDI de 5. Para una operación estable y satisfactoria de la unidad de ósmosis inversa, los valores promedio de turbiedad y SDI en el agua de alimentación no deberían exceder de 0.5 NTU y 2.5 SDI unidades, respectivamente.

Los indicadores de saturación de las sales moderadamente solubles en el caudal de concentrado son el Índice de Saturación de Langelier (LSI) y los porcentajes de saturación. El LSI proporciona una indicación de la saturación de carbonato de calcio. Los valores negativos de LSI indican que el agua es corrosiva y que tendrá la tendencia a disolver el carbonato de calcio. Los valores positivos de LSI indican la posibilidad de precipitación del carbonato de calcio. El LSI fue desarrollado originalmente por Langelier para agua potable de baja salinidad. Para aguas de alta salinidad comúnmente encontradas en aplicaciones de ósmosis inversa, el LSI es únicamente un indicador aproximado. El porcentaje de saturación es la proporción del producto de la concentración de los iones observada en la corriente de concentrado a las solubilidades teóricas de las sales en condiciones dadas de temperatura y resistencia iónica. Estos porcentajes de saturación son aplicables principalmente en sulfatos de calcio, bario y estroncio. La sílice es otro compuesto moderadamente soluble, frecuente en aguas naturales y potencialmente formador de incrustaciones. Otras sales formadoras de incrustaciones como el fluoruro o el fosfato de calcio que pueden estar presentes en la alimentación de ósmosis inversa raramente representan un problema.

Dependiendo de la calidad del agua cruda, el proceso de pretratamiento puede consistir en todos o algunos de los siguientes pasos de tratamiento:

- Eliminación de partículas grandes mediante rejillas.
- Desinfección con cloro.
- Clarificación con o sin floculación.
- Clarificación y reducción de dureza usando tratamiento con cal.
- Filtración.
- Reducción de la alcalinidad por ajuste de pH.
- Adición de inhibidor de incrustaciones.
- Reducción de cloro libre usando bisulfito de sodio o filtros de carbón activado.
- Esterilización del agua con radiación ultravioleta.
- Eliminación final de partículas suspendidas con filtros de cartucho.

5.5.2. Configuración hidráulica

Los sistemas de ósmosis inversa consisten en los siguientes componentes básicos:

- Unidad de suministro de agua de alimentación
- Sistema de pretratamiento
- Unidad de bombeo de alta presión
- Elementos de membrana

- Sistema de instrumentación y control
- Unidad de almacenaje y tratamiento de permeado
- Unidad de limpieza

La unidad ósmosis inversa (el tren de ósmosis inversa) consiste en una estructura de soporte de los recipientes (cajas) de presión, tubería de interconexión y colectores de alimentación, permeado y concentrado. Las membranas están instaladas en los recipientes (cajas) de presión. El recipiente (caja) de presión puede tener puertos de permeado en cada extremo localizados en el centro de la tapa y puertos de alimentación y concentrado localizados en los extremos opuestos del recipiente (caja) de presión. En otros casos los recipientes presentan los puertos de alimentación y concentrado en la pared lateral de los extremos, permitiendo así una manipulación más sencilla de las tapas y las membranas. Cada recipiente (caja) de presión puede contener de uno a siete elementos de membrana conectados en serie.

Recirculación de Concentrado

El equipo más simple de ósmosis inversa consiste en un recipiente (caja) de presión que contiene una membrana. Esta configuración, que se usa en sistemas muy pequeños, puede operar con una recuperación limitada de permeado, normalmente hasta un 15 %.

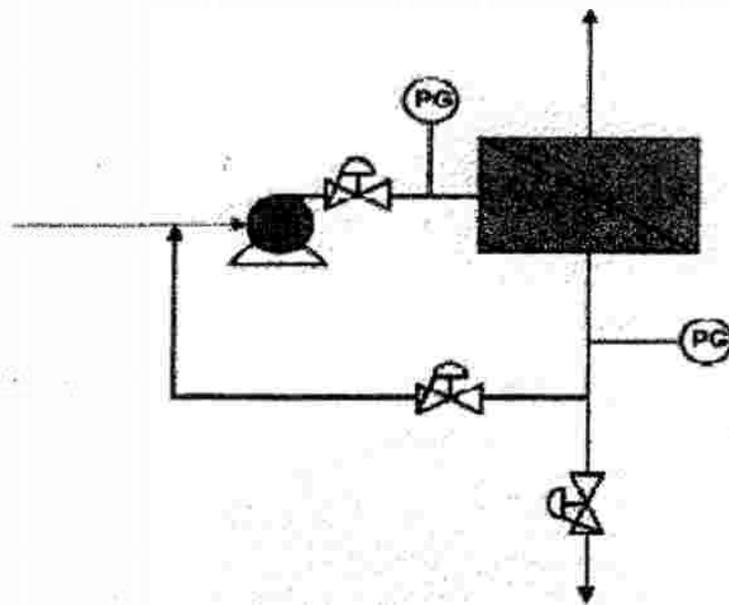


Fig. 5.1. Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de una sola etapa con recirculación de concentrado.

Etapas de Concentración.

Un sistema comercial de ósmosis inversa normalmente consiste en una bomba y una serie de recipientes (cajas) de presión dispuestas en varias etapas. Un diagrama de flujo simplificado para un sistema de ósmosis inversa de dos etapas se muestra a continuación.

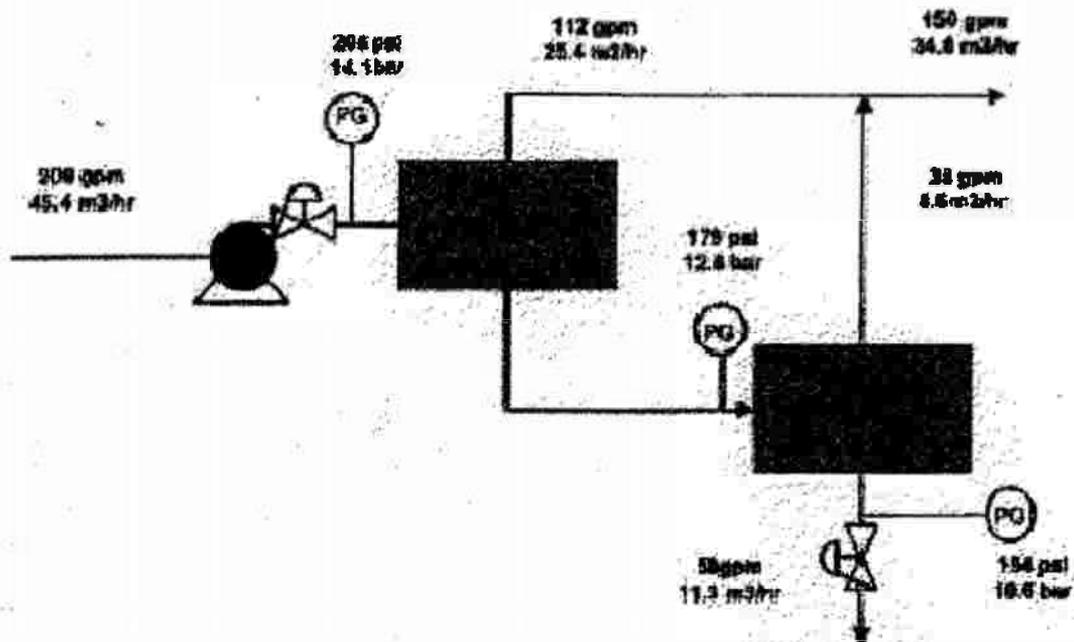


Fig. 5.2. Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de dos etapas

El concentrado de la primera etapa se transforma en la alimentación de la segunda etapa; esto es lo que se quiere decir con el término “etapas de concentrado”. El caudal y las presiones en la unidad multietapa se controlan con las válvulas de alimentación y concentrado. La válvula de alimentación, después de la bomba de alta presión, controla el caudal de alimentación hacia la unidad. La válvula de concentrado, en el desagüe del tren (bastidor) de ósmosis inversa controla la presión de la alimentación.

Distribución de Caudal (Contrapresión en el permeado)

En algunos casos, es necesario equilibrar el caudal de permeado entre etapas, por ejemplo, disminuir el caudal de permeado de la primera etapa e incrementar el caudal de permeado de la última etapa.

Esto puede lograrse en una o dos configuraciones de diseño. Una solución es instalar una válvula o un restrictor de flujo en la línea de permeado de la primera etapa como se muestra a continuación.

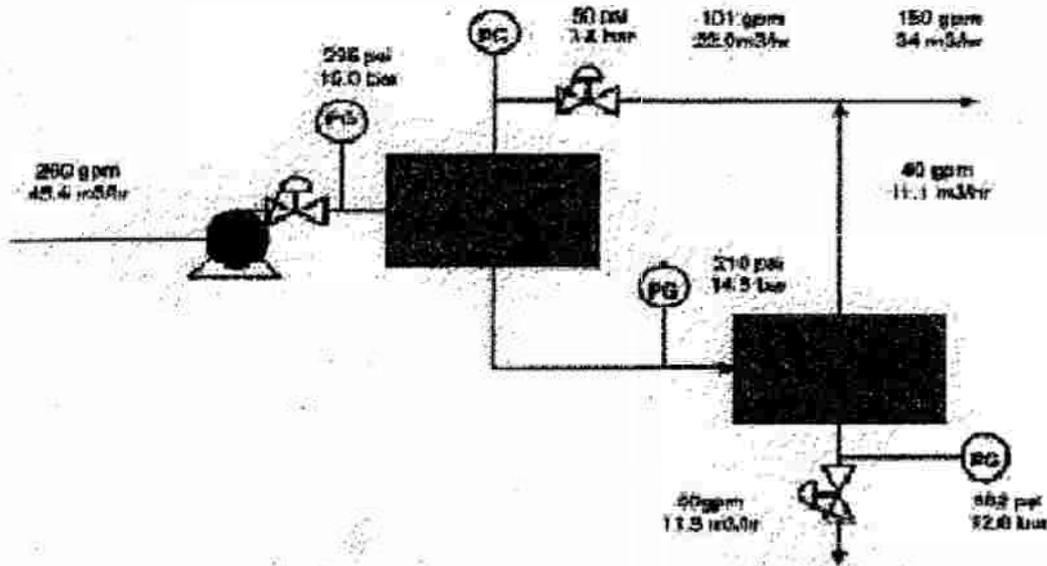


Fig. 5.3. Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de dos etapas con válvula de control de permeado en la primera etapa.

Al cerrar esta válvula, la contrapresión en el permeado se incrementará reduciendo la presión neta aplicada y controlando así el flujo de permeado de la primera etapa. El diferencial de flujo de permeado se produce en la segunda etapa al operar la planta de ósmosis inversa a una presión más alta de alimentación.

Pasos de Desalación

Para algunas aplicaciones, un sistema de ósmosis inversa de un solo paso podría no ser capaz de producir agua de permeado de una requerida salinidad.

Tales condiciones pueden encontrarse en dos tipos de aplicaciones de ósmosis inversa:

- Los sistemas de agua de mar que operan con agua de alimentación de muy alto nivel de salinidad, alta recuperación y/o a alta temperatura de agua de alimentación.
- Las aplicaciones de ósmosis inversa salobre que requieren salinidad de permeado muy baja tales como el suministro de agua para calderas de alta presión o producción de agua de enjuague para aplicaciones microelectrónicas.

Para lograr una reducción adicional en la salinidad de permeado, el agua de permeado producida en el primer paso se desala de nuevo en un segundo sistema de ósmosis inversa. Esta configuración se llama diseño de doble paso. Dependiendo de los requerimientos de calidad, todo o parte del volumen de permeado del primer paso se desala de nuevo en el segundo paso del sistema. La configuración del sistema es conocida como un sistema completo o parcial de doble paso, dependiendo de si todo el permeado es alimentado al segundo paso o no.

El permeado del primer paso es agua muy limpia. No contiene partículas suspendidas y el contenido de sales disueltas es muy bajo; por lo tanto, no requiere de ningún pretratamiento significativo. El segundo paso puede operar a un promedio de flujo específico de permeado relativamente alto y a una alta recuperación. Los parámetros comunes de diseño para la unidad de ósmosis inversa de doble paso son un flujo promedio de 20 gpd y una recuperación de 85% a 90%. En un sistema de dos pasos, el permeado del primer paso fluye a través de un tanque de almacenamiento o se alimenta directamente a la succión de la bomba de alta presión del segundo paso. Existen numerosas configuraciones de posibles sistemas de ósmosis inversa de doble paso. La siguiente figura muestra un sistema de doble paso parcial. El permeado del primer paso se divide en dos caudales.

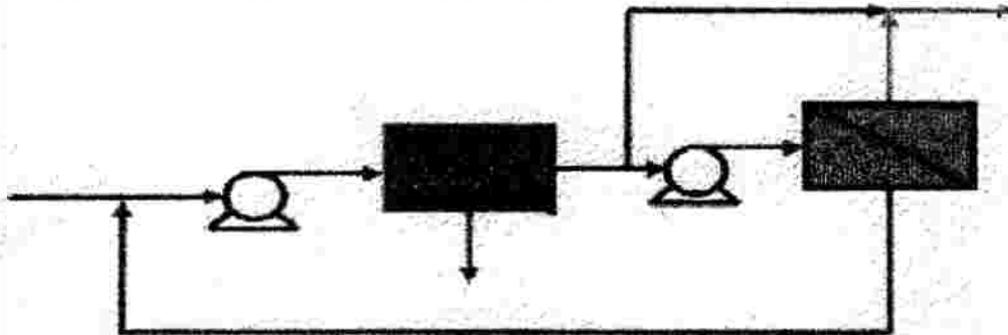


Fig. 5.4. Diagrama de flujo de un sistema de ósmosis inversa de doble paso parcial.

5.6. PARÁMETROS DE DISEÑO QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Salinidad de agua de alimentación

EFFECTO DE LA SALINIDAD DE ALIMENTACIÓN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

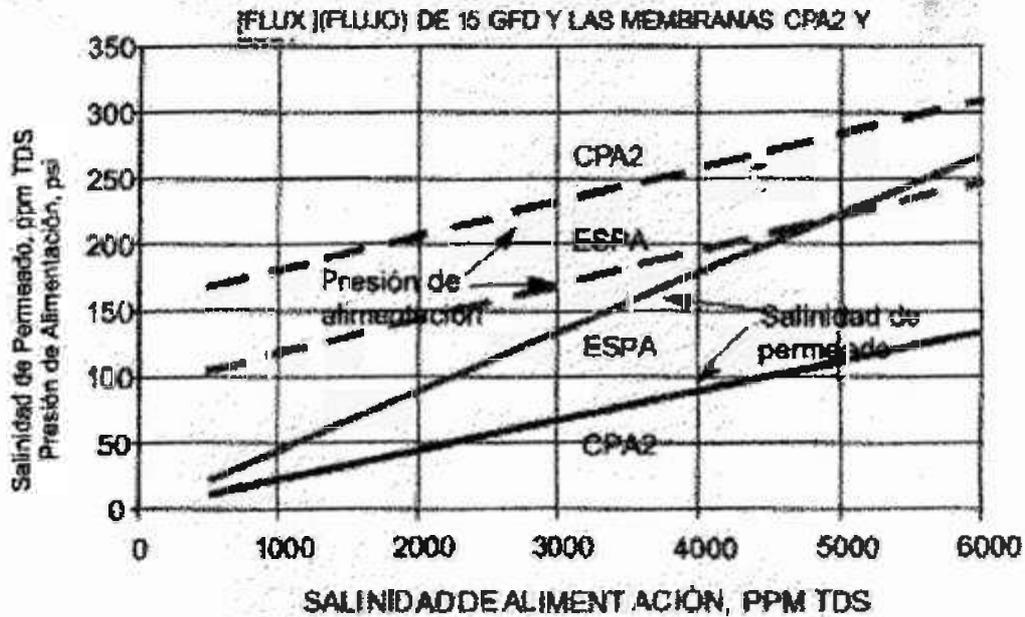


Fig. 5.5 Efecto de la salinidad de alimentación en el funcionamiento del sistema

Temperatura del agua de alimentación

Los cambios de temperatura en el agua de alimentación dan como resultado el cambio en la velocidad de difusión a través de la membrana.

Cambios en el Flujo con la Temperatura

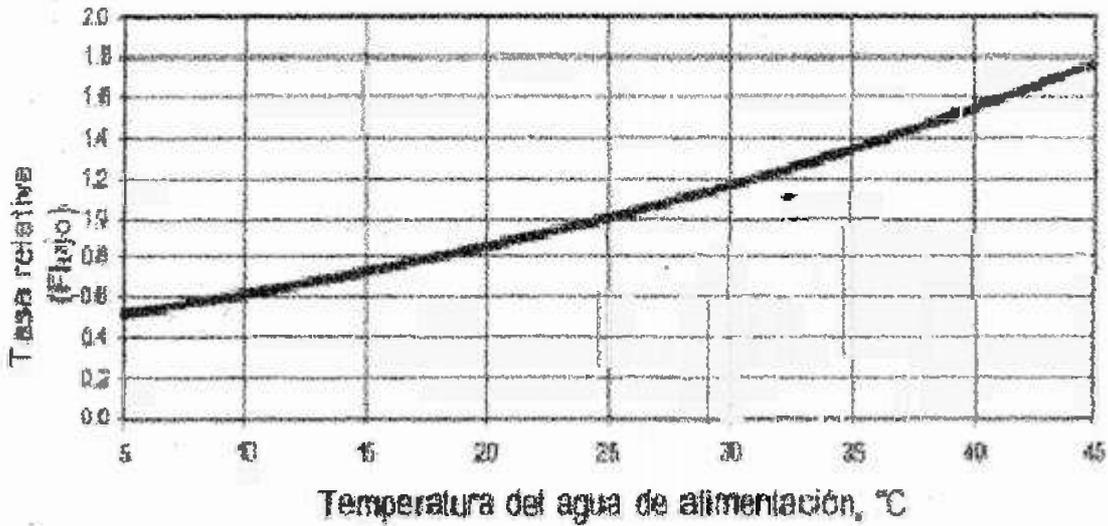


Fig. 5.6. Cambios en el flujo con la temperatura membrana

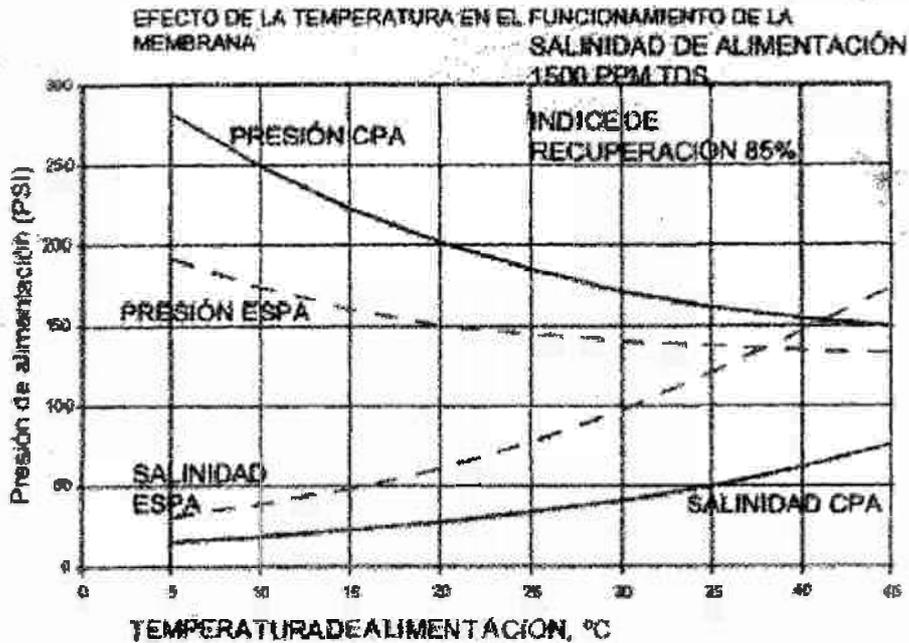


Fig. 5.7. Efecto de la temperatura en el funcionamiento de la membrana

Porcentaje de recuperación de permeado

La proporción de recuperación afecta el funcionamiento del sistema, es decir, afecta la salinidad de permeado y la presión de alimentación al determinar el promedio de salinidad de alimentación.

Compactación y ensuciamiento de la membrana

Durante la operación de los sistemas de ósmosis inversa, el material de la membrana se expone a alta presión del agua de alimentación. La exposición de las membranas a alta presión puede resultar en un aumento en la densidad del material de la membrana (llamado compactación), el cual disminuirá la velocidad de difusión del agua y de los constituyentes disueltos a través de la membrana. Como resultado de la compactación, hay que aplicar una presión más alta para mantener el caudal de permeado del diseño.

Al mismo tiempo, la velocidad de difusión de sales se hará menor y dará como resultado una salinidad de permeado más baja. El efecto de compactación es más significativo en membranas de acetato de celulosa que en las membranas de compuesto de poliamida.

En la ósmosis inversa de agua de mar donde la presión de alimentación es más alta que en las aplicaciones de agua salobre, el proceso de compactación será aún más significativo.

5.7. RESULTADOS PROPORCIONADOS POR EL PROGRAMA RODESIGN DISEÑADO POR HYDRANAUTICS

Hydranautics RO System Design Software, v. 700©2000

La tabla 5.1 muestra los valores de cada uno de los componentes del agua de mar, en varias etapas, primero como agua cruda, dichos valores en las unidades de mg/l y CaCO₃ siendo estos los que inicialmente se alimentaron al programa, la siguiente columna muestra los valores de cada componente en las unidades antes citadas durante la alimentación del agua, posteriormente el programa calcula independientemente dichos valores de las etapas de permeato y concentrado, además muestra cómo van cambiando los valores para TDS y pH.

Tabla 5.1. Análisis de los diferentes compuestos del agua a su paso por el equipo de ósmosis inversa

Ion	Agua cruda		Alim. de agua		Permeato		Concentrado	
	mg/l	CaCO ₃	mg/l	CaCO ₃	mg/l	CaCO ₃	mg/l	CaCO ₃
Ca	329.0	820.4	306.3	763.9	0.0	0.0	470.8	1174.0
Mg	1031.0	4242.8	960.0	950.6	0.0	0.1	1475.2	6070.9
Na	9419.5	0477.2	8809.0	9149.9	7.0	15.2	13479.0	29302.3
K	355.0	455.1	332.4	426.2	0.4	0.5	508.0	651.2
NH₄	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ba	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sr	13.0	14.8	12.105	13.8	0.0	0.0	18.601	21.2
CO₃	0.1	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0

HCO₃	68.8	55.7	63.7	52.2	0.3	0.3	97.2	79.7
SO₄	2200.0	2291.7	2048.0	2134.7	0.1	0.1	3147.9	3279.1
Cl	16775.0	23660.1	15679.8	22115.4	10.9	15.4	24004.4	33856.7
F	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NO₃	3.4	2.7	3.2	2.6	0.1	0.1	4.8	3.9
SiO₂	0.0		0.0		0.0		0.0	
TDS	30194.0		28215.3		18.99		43206.0	
PH	6.3		6.3		4.7		6.5	

	Agua cruda	Alim.de agua	Concentrado
CaSO₄/Ksp * 100:	15%	14%	24%
SrSO₄/Ksp * 100:	38%	35%	59%
BaSO₄/Ksp * 100:	0%	0%	0%
SiO₂ saturación:	0%	0%	0%
Indice de saturación Langelier	-1.04	-1.09	-0.61
Indice de saturación Stiff & Davis	-1.94	-1.98	-1.60
Fuerza iónica	0.59	0.55	0.85
Presión osmótica	321.2 psi	300.3 psi	459.7 psi

Los datos anteriores fueron proporcionados de manera inmediata por el programa, en cada una de las etapas más importantes.

Para el presente diseño particular se observa que hay un buen funcionamiento, ya que al equipo ingresa el agua de mar con una concentración alta de alrededor de 30194.0 ppm de sólidos disueltos y al entrar al equipo debido a la diferencia de presiones se observa inmediatamente una disminución notable de 1978.7 ppm de dichos componentes y finalmente se ve el objetivo primordial, reflejado en los resultados ya que se obtiene como producto final agua con una concentración de solo 18.99 ppm, que es un agua de excelente calidad para el consumo humano, el único inconveniente que se ve reflejado para poder utilizar esta agua para el consumo cotidiano es el nivel de pH que es muy bajo, por lo que se ve en la necesidad de adicionar CO_2 para aumentar la acidificación y obviamente el pH, esto se vera reflejado en posteriores resultados.

Ahora se observará que ocurre con los datos analizados anteriormente después del tratamiento necesario para aumentar el pH del agua, esto mediante la adición de CO_2 .

COMPOSICIÓN DEL PERMEATO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO.

pH	7.28
Turbiedad	0.0
E.cond	43 ppm
CO₂	0.2 ppm
H₂S	0.0 ppm
Temperatura	25.0 °C
SDI	0.0 U
TDS	21 ppm
Fe	0.0 ppm

Ca	0.0 mg/l	0.0 meq/l	CO₃	0.0 mg/l	0.0 meq/l
Mg	0.0 mg/l	0.0 meq/l	HCO₃	1.9 mg/l	0.0 meq/l
Na	7.9 mg/l	0.3 meq/l	SO₄	0.1 mg/l	0.0 meq/l
K	0.4 mg/l	0.0 meq/l	Cl	10.9 mg/l	0.3 meq/l
NH₄	0.0 mg/l	0.0 meq/l	F	0.0 mg/l	0.0 meq/l
Ba	0.0 mg/l	0.0 meq/l	NO₃	0.1 mg/l	0.0 meq/l
Sr	0.0 mg/l	0.0 meq/l	HCO₃	0.0 mg/l	0.0 meq/l

CaSO₄ saturación	0 %
SrSO₄ saturación	0 %
BaSO₄ saturación	0 %
SiO₂ saturación	0 %
LSI	-5.9
RI	19.1
Fuerza ionica	0.000
Presión osmótica	0.2

Químicos Adicionados, ppm:

NaOH	1.5
NaHCO ₃	0.0
Na ₂ CO ₃	0.0
Ca(OH) ₂	0.0
H ₂ SO ₄	0.0
HCl	0.0
CO ₂	-55.0

Después de adicionar 1.5 ppm de NaOH y 55 ppm de CO₂, se ve que aumentó favorablemente el pH siendo este igual a 7.28 que era lo que se buscaba, la mayoría de los componentes analizados permanecieron constantes, excepto el Na, LSI, RI y el pH que aumentaron y el HCO₃, CaSO₄, SrSO₄, Fuerza iónica y la presión osmótica que disminuyeron, lo anterior indica que los valores están dentro de los rangos permisibles del agua para consumo y ahora si con el pH indicado.

Aquí se ve el tipo de arreglo seleccionado para el equipo de ósmosis inversa y el cual proporcionó los resultados anteriores.

Etapa	Perm.	Flujo/Vaso		Flujo	Beta	Conc.		Tipo de elemento	No. Elem.	Arreglo
	Flujo	Alim.	Conc.			Presiones				
	gpm	gpm	gpm	gfd	gfd	psi	psi			
1-1	10.0	28.6	18.6	15.2	1.12	722.7	0.0	SWC2	3	1x3
2-1	4.6	10.0	5.4	19.4	1.17	79.3	0.0	ESPA14040	4	1x4
2-2	3.4	5.4	2.0	14.5	1.33	70.3	0.0	ESPA14040	4	1x4

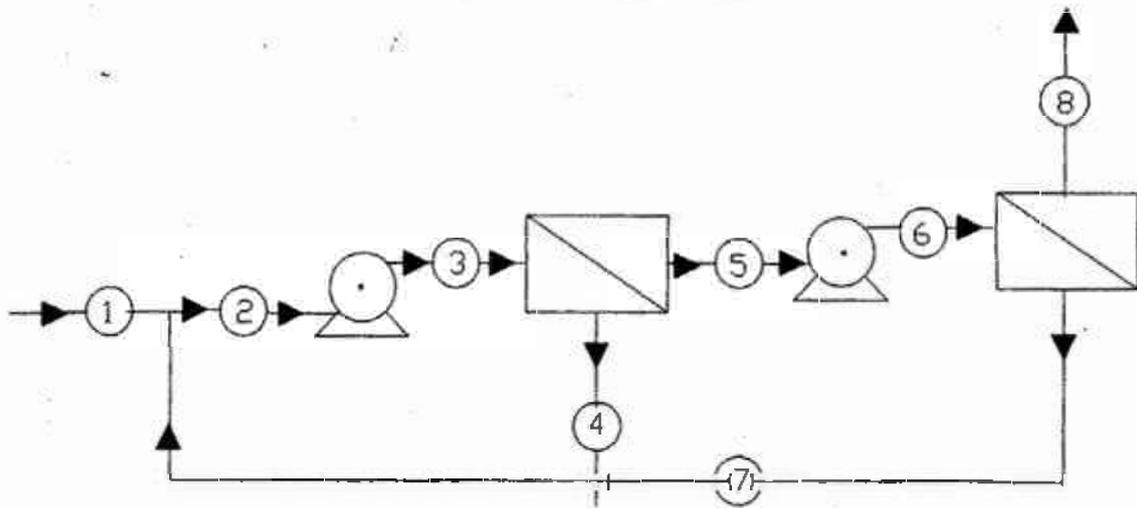
A continuación se muestra de manera detallada qué pasa en cada vaso y elemento de membrana en cada una de las etapas del sistema de ósmosis inversa.

Etapa	Elem. No.	Alim. pres	Pres. caída	Perm. flujo	Perm. flujo	Beta	Perm. sal	Conc. osm	Concentrado		Satur.	Nivel	
									CaSO ₄	SrSO ₄	BaSO ₄	SiO ₂	Lang.
1-1	1	729.3	2.7	4.1	18.8	1.15	262.5	350.1	17	42	0	0	-0.9
1-1	2	726.6	2.1	3.4	15.7	1.15	310.8	406.5	21	51	0	0	-0.7
1-1	3	724.5	1.8	2.5	11.5	1.12	373.7	461.0	24	60	0	0	-0.6
2-1	1	95.9	5.5	1.3	22.8	1.14	6.8	4.9	0	0	0	0	-6.5
2-1	2	90.4	4.4	1.2	19.9	1.14	8.0	5.6	0	0	0	0	-6.3
2-1	3	86.0	3.6	1.1	18.8	1.16	9.1	6.6	0	0	0	0	-6.1
2-1	4	82.4	2.8	1.0	17.7	1.17	10.3	7.8	0	0	0	0	-5.9
2-2	1	76.6	2.2	0.9	16.0	1.19	11.8	9.6	0	0	0	0	-5.6
2-2	2	74.4	1.6	0.9	15.0	1.23	13.6	11.9	0	0	0	0	-5.4
2-2	3	72.8	1.2	0.8	14.0	1.27	9.1	15.5	0	0	0	0	-5.1
2-2	4	71.6	0.8	0.7	12.6	1.34	10.3	21.3	0	0	0	0	-4.7

PRINCIPALES RESULTADOS.

Licencia del programa de RO por:	Ecoservicios de Occidente.
Diseño creado por:	Nilbia Ruiz Fernández.
Nombre del proyecto:	Desalación de agua de mar por ósmosis inv.
HP flujo de la bomba:	28.6 (10.0) gpm
Presión recomendada de la bomba:	768.0 psi
Presión de alimentación:	729.3 (95.9) psi
Temperatura del agua de alim. :	25.0 °C (77 °F)
pH del agua cruda:	6.33
Dosificación del ácido, ppm (100%):	0.0
Alimentación acidificada CO₂:	55.2
Proporción del flujo:	15.2 (16.9) gpd
Flujo del permeato:	10.0 (8.0) gpm
Flujo de agua cruda:	26.6 gpm
Porcentaje de recuperación del permeato:	35.0 (80.0) %
Porcentaje de recuperación total:	30.1 %
Edad del elemento:	0.0 años
Declive del flujo % por año:	7.0 (0.0)
Aumento del paso de sal, % por año:	10.0 (0.0)
Tipo de alimentación:	Agua de mar.

BALANCE DE MATERIA



1 2 3 4 5 6 7 8

Flujo gpm	26.6	28.6	28.6	18.6	10.0	10.0	2.0	8.0
Presión psi	0.0	0.0	729.3	722.7	0.0	95.9	70.3	0.0
TDS ppm	30194.0	28215.3	28215.3	43206.0	375.3	375.3	1800.7	19.0

- Considerando un sistema de dos pasos:

- 1 Paso = 1 solo tubo de 8 plg con 3 membranas en su interior.
- 2 Paso = 2 tubos de 4 por 40 plg con 4 membranas c/u en su interior.

CAUDAL AGUA BRUTA =26.6 gpm

RECUPERACIÓN =30%

CAUDAL DE AGUA PRODUCTO= 8 gpm

Agua sobre saturada = Agua salada - Agua producto

Agua sobre saturada = 26.6 gpm - 8 gpm = 18.6 gpm

- Considerando una concentración de 30,194 ppm en el agua salobre y con una eficiencia del 30%.

Total de sales alimentadas = 30,194 ppm en 26.6 gpm

- El agua producto sale con una concentración de 19 ppm en sales

Agua producida = 8 gpm

Agua sobre saturada = 18.6 gpm

Total = 26.6 gpm

Concentración del agua sobresaturada = 26.6 gpm / 18.6 gpm = 1.43

CÁLCULO DE INVERSIÓN Y COSTO DE AGUA

Capacidad de la planta, gpm	8.0
Inversión inicial \$ (año 2001)	400,000
Porcentaje de interés, %	15.0
Factor de la planta, %	90.0
Costo de energía, \$/kW-hr (pesos)	0.245
Consumo de energía, kWhr/m ³	4.01
Mantenimiento (como% de inversión)	3.0
Vida de la planta, años	10.0
Vida de la membrana, años	3.0
Costo de la membrana, \$/e. (pesos)	6,000
Número de elementos	11.0
Costo del inhibidor, \$/lb (pesos)	20.0
Dosificación del inhibidor, \$/lb “	3.0
Costo del ácido, \$/lb “	1.00
Dosificación de ácido, \$/lb “	1.0
Costo de capital, \$/m ³ “	3.71
Costo de energía, \$/m ³ “	8.02
Costo de químicos, \$/m ³ “	0.38
Costo de remplazo de membranas, \$/m ³	1.54
(pesos)	
Mantenimiento, \$/m ³ (pesos)	0.84
Total del costo de agua, \$/m ³ ”	<u>12.74</u>

CÁLCULO DE REQUERIMIENTOS DE POTENCIA

	Principal	Paso 2
Presión de alimentación, psi	729.3	95.9
Presión concentrada, psi	722.7	70.3
Flujo penetrado, gpm	10.0	8.0
Proporción de recuperación, %	35.0	80.0
Eficiencia de la bomba, %	83.0	83.0
Eficiencia del motor, %	93.0	93.0
Eficiencia ERT, %	83.0	
Presión ERT, psi	0.0	
Energía de bombeo, kwhr/kgal	15.18	
Potencia de bombeo, hp	16.2	
Potencia de recuperación, hp	6.4	
Potencia requerida, hp	10.0	

Estos cálculos están basados en la actuación del elemento nominal cuando es operado con agua de alimentación de calidad aceptable. No se especifica ninguna garantía sobre la actuación del sistema a menos que se exprese o proporcione un escrito por Hydranautics.

CAPÍTULO 6

DIAGRAMAS

6.1. DIAGRAMAS DE BLOQUES DEL PROCESO.

A continuación se muestran los diagramas de bloques del proceso los cuales se plantearon de acuerdo a las propuestas e ideas originales que se tenían respecto al proceso.

Primero se tiene el diagrama que corresponde a energía nuclear y compresión de vapor, el cual se eliminó debido a las características y condiciones para la fisión y el nivel de contaminación, y la respuesta social del medio, ya que se observó que en la región la gente todavía no está educada para este tipo de propuestas.

Como siguiente propuesta se analizó el diagrama de energía maremotriz y evaporación, el cual se eliminó debido a que la cantidad de etapas requeridas en la evaporación eran demasiadas y tanto la cantidad como el tamaño de turbinas necesarias para generar la cantidad de energía eléctrica requerida son excesivas e incosteables.

Por último se muestra el diagrama de energía solar y ósmosis inversa que según estudios y análisis es mas adecuado, ya que la región se caracteriza por tener días muy soleados la mayor parte del año, además que la ósmosis inversa es una alternativa costeable.

Diagrama 1. Energía nuclear – compresión de vapor.

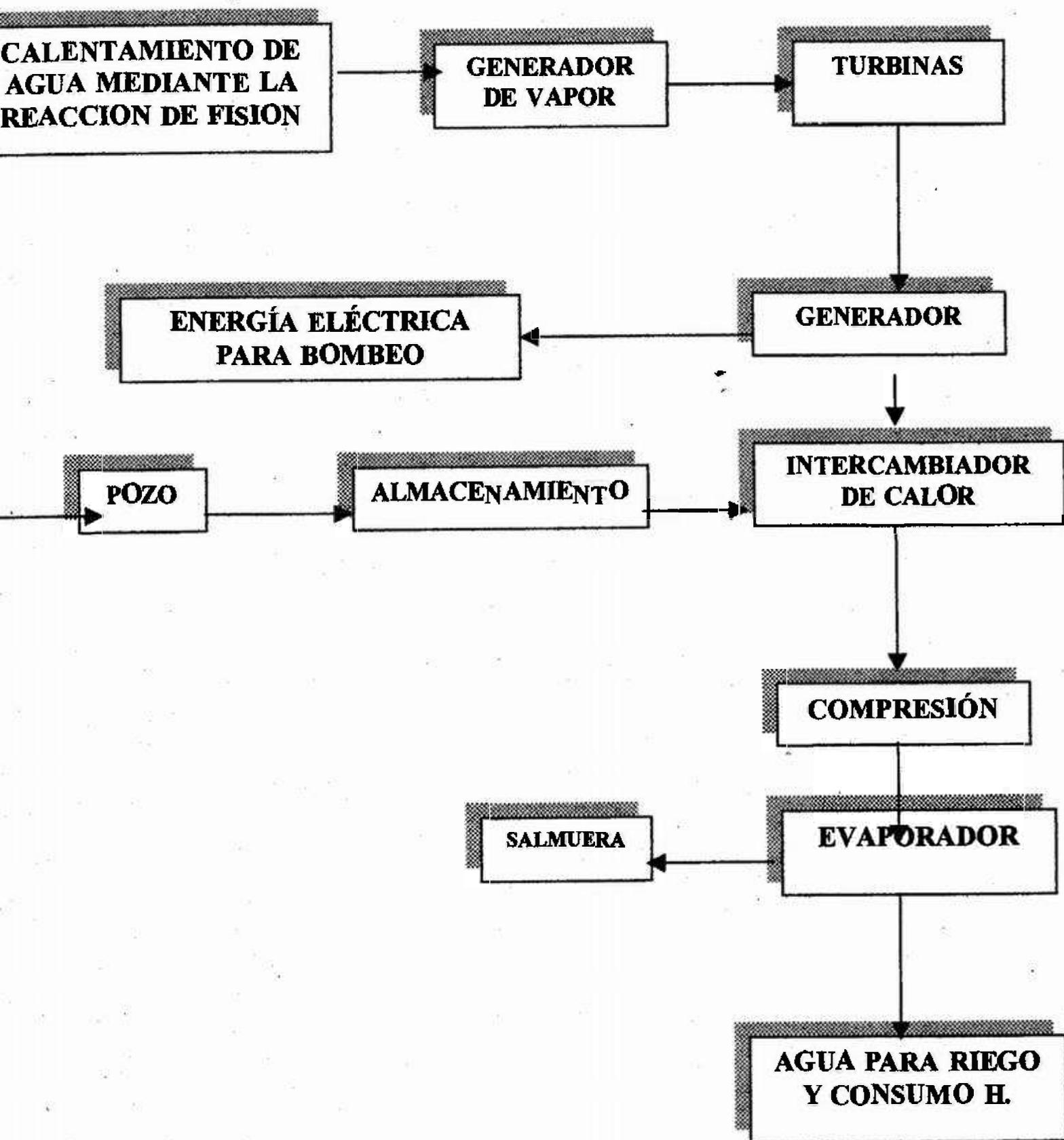


Diagrama 2. Energía maremotriz – evaporación.

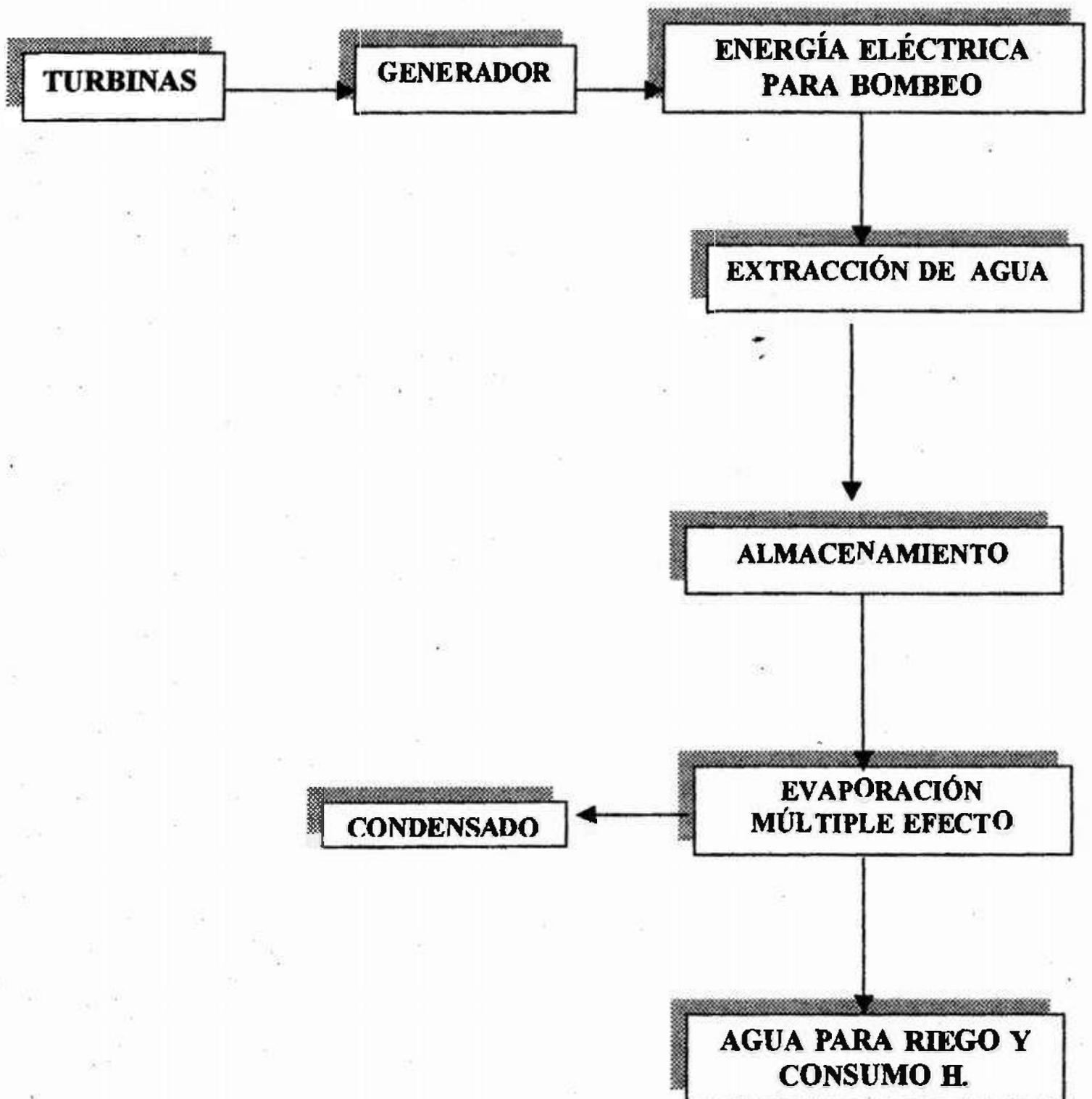
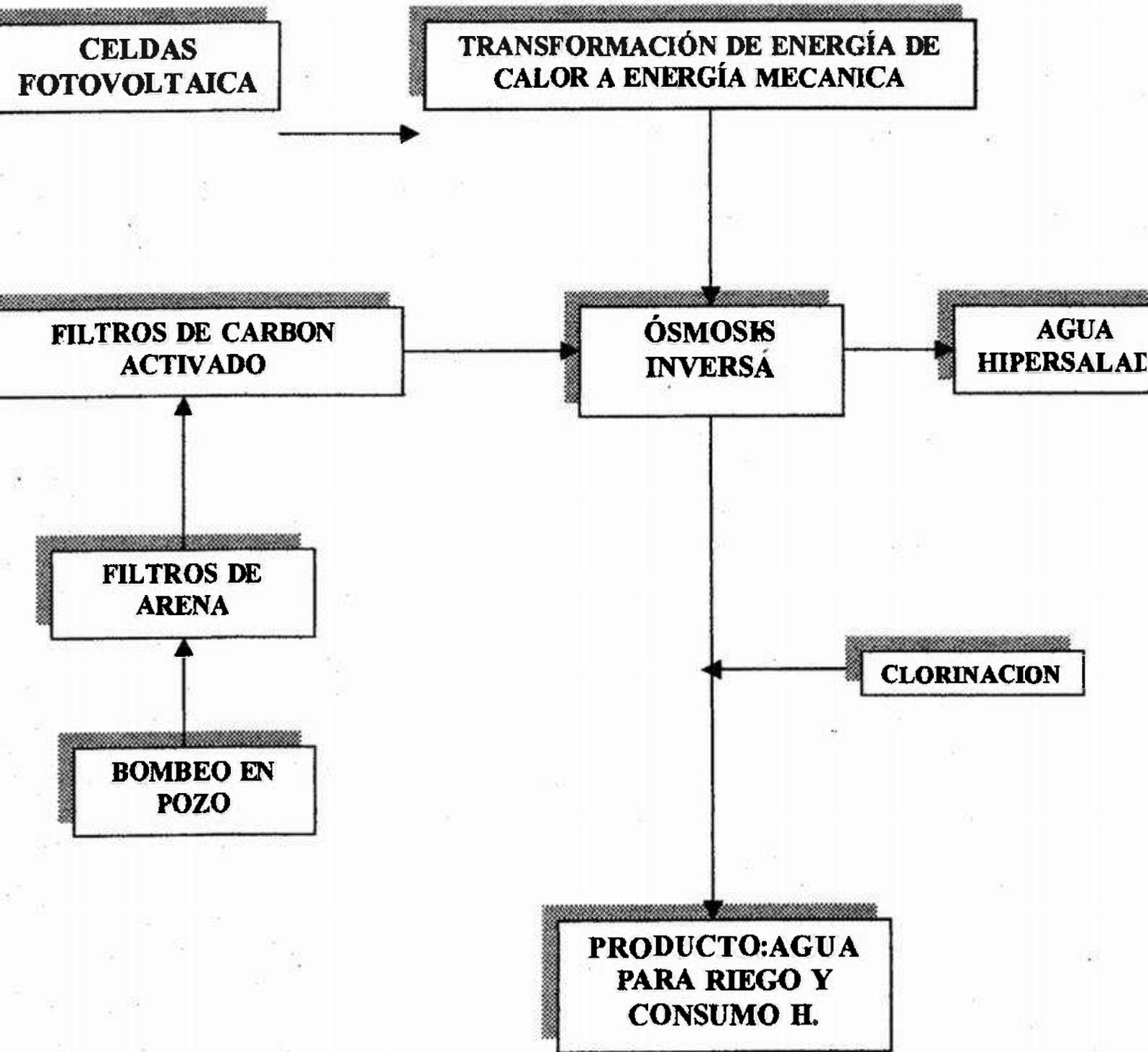


Diagrama 3. Energía solar – ósmosis inversa.



6.2 DIAGRAMA DE FLUJO

Se bombea agua salada (35315.5554 ppm), de un pozo de 3 mts de profundidad a razón de 26.6 gpm, se utilizará una bomba tipo sumergible de 1/2 Hp. El agua se almacenará en un tanque fabricado de polietileno resistente a los componentes que contiene el agua salada, el tiempo de llenado del tanque es de 3 min. Ya que el tanque esté totalmente lleno se accionará una válvula que dejará pasar un flujo de 26.6 gpm (por gravedad), hacia el filtro de arena, el cual retendrá un 5% de sales, después pasa al filtro de carbón activado donde se eliminará un 10% de sales, de aquí pasa a un segundo tanque de almacenamiento con las mismas dimensiones y características del primero. De aquí pasa al equipo de ósmosis inversa compuesta de dos etapas, en la primera etapa se obtiene agua con un flujo de 10 gpm y 375.3 ppm, se rechaza 18.6 gpm con 3206.0 ppm. En la segunda etapa se obtiene agua producto con un flujo de 8 gpm con 19 ppm, y se recircula 2 gpm con 1800.7 ppm. El agua producto se almacenará en un tercer tanque donde se le adicionará cloro para eliminar ciertos patógenos que pueda contener el agua. Dicha agua se destinará a abastecer regiones o poblados cercanos y para riego de hortalizas dentro del invernadero.

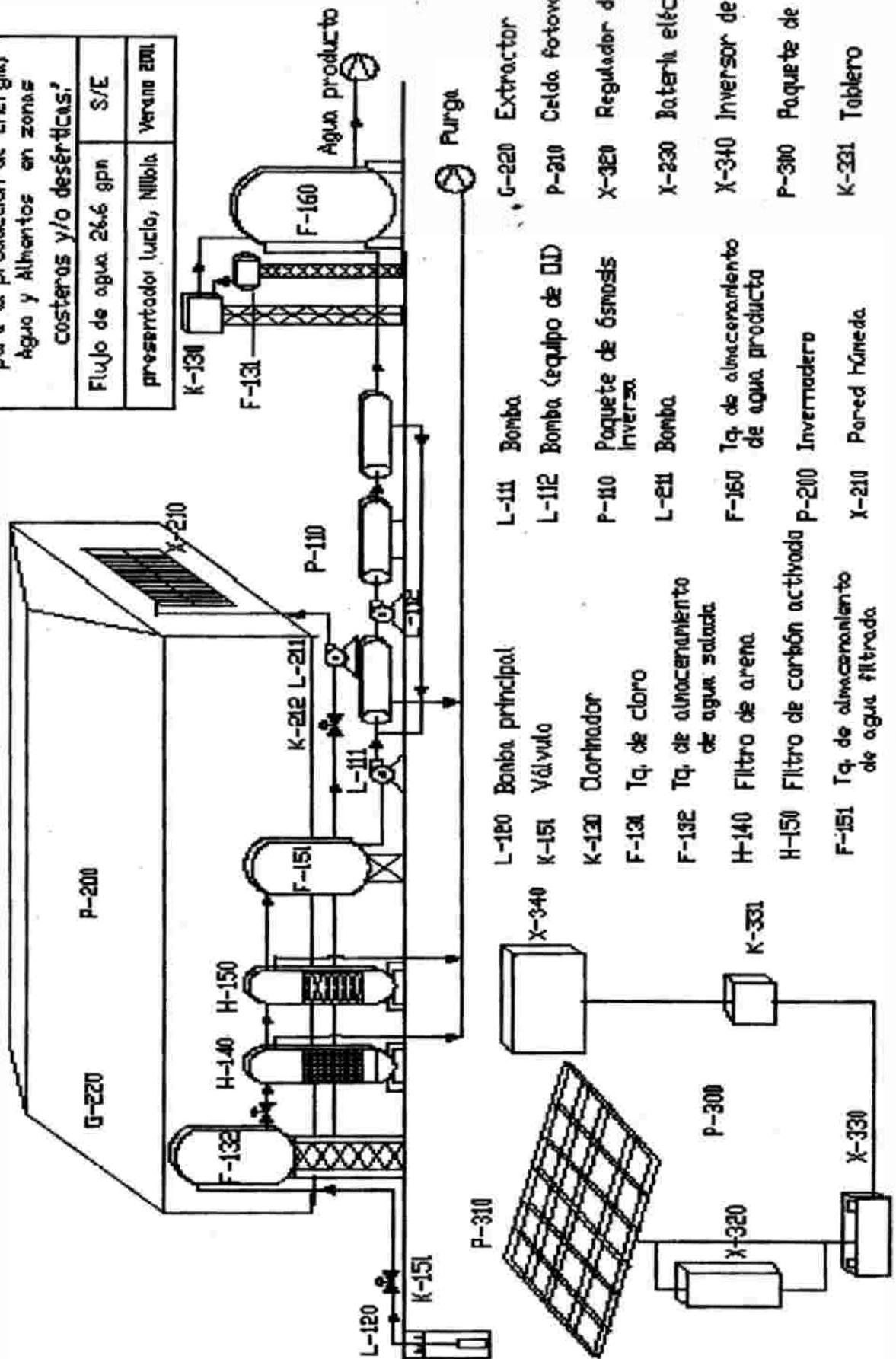
Del primer tanque se bombeará agua salada a razón de 0.25gpm, a la pared del invernadero para obtener una temperatura y humedad óptima para el desarrollo de ciertas hortalizas (tomate).

A continuación se muestra el diagrama de flujo:

DIAGRAMA DE FLUJO

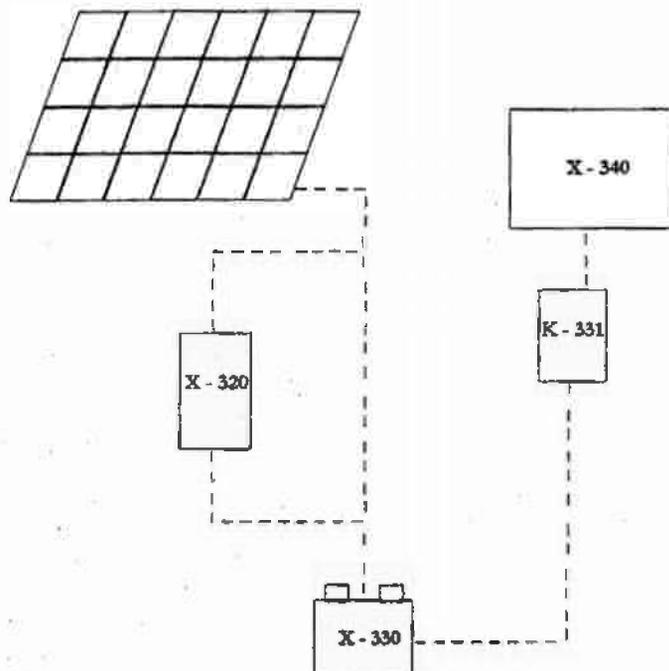
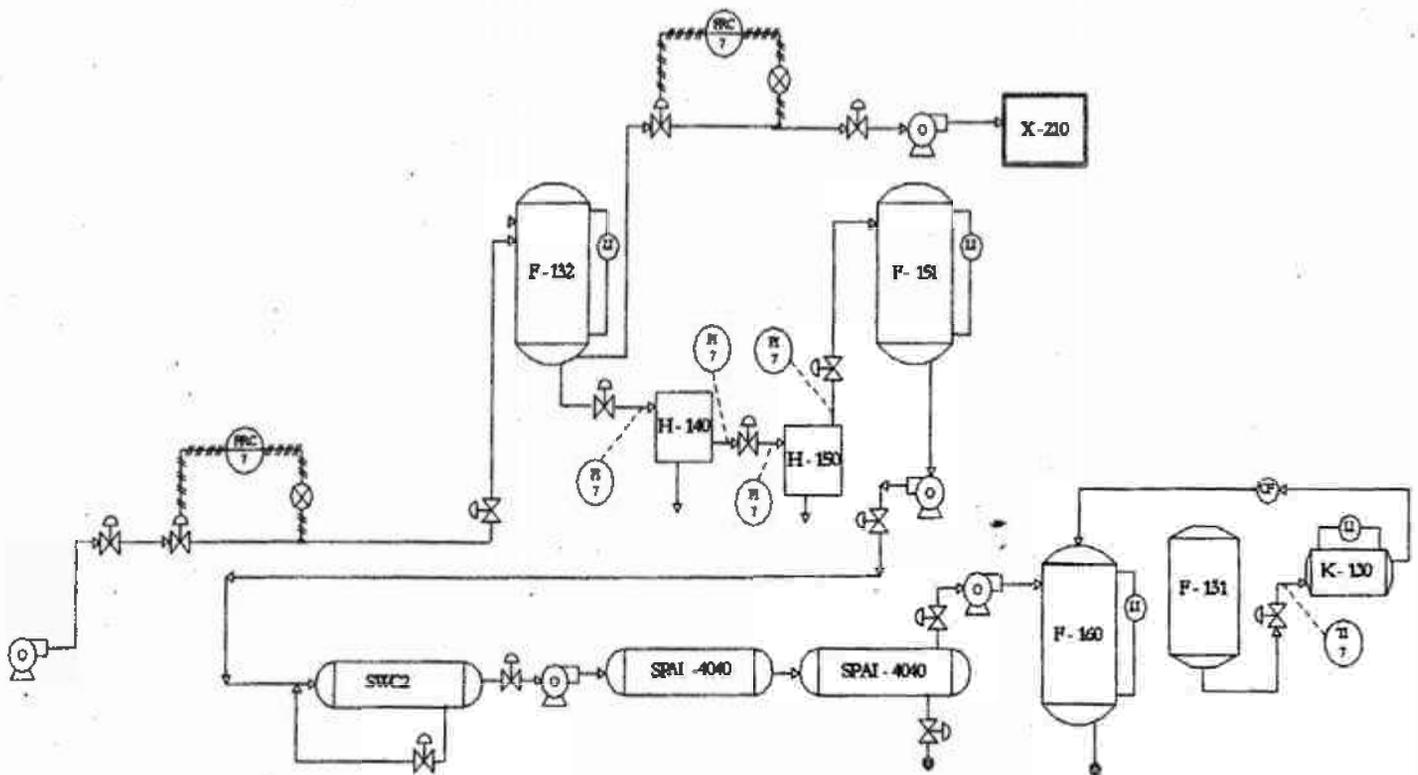
'Propuesta de un Sistema Integral para la producción de Energía, Agua y Alimentos en zonas costeras y/o desérticas.'

Flujo de agua 2&6 gpm	S/E
presentador lucio, Nilbala	Verano 2001



- L-120 Bomba principal
- K-151 Válvulo
- K-130 Clorinator
- F-131 Tq. de cloro
- F-132 Tq. de almacenamiento de agua salada
- H-140 Filtro de arena
- H-150 Filtro de carbón activado
- F-151 Tq. de almacenamiento de agua filtrado
- L-111 Bomba
- L-112 Bomba (equipo de IID)
- P-110 Paquete de ósmosis inversa
- L-211 Bomba
- F-150 Tq. de almacenamiento de agua producta
- P-200 Invernadero
- X-210 Pared hñmeda
- G-220 Extractor
- P-210 Celda fotovoltaica
- X-320 Regulador de carga
- X-230 Batería eléctrica
- X-340 Inversor de corriente
- P-300 Paquete de energía
- K-231 Tablero

6.3 DIAGRAMA DE CONTROL



NOMENCLATURA	SIGNIFICADO
FRC	Controlador registrador de flujo
TI	Indicador de temperatura
PI	Indicador de presión
CF	Controlador de flujo
LI	Indicador de nivel

CAPÍTULO 7

SELECCIÓN DEL EQUIPO

7.1. BOMBA PRINCIPAL.

El tipo de bomba principal que se seleccionó para la extracción de agua de mar al tanque de almacenamiento es de tipo sumergible.

Para su selección se tomaron en cuenta algunas ventajas con respecto a otras.

- Su costo de operación es bajo.
- El material de construcción es resistente a la corrosión y a los elementos químicos presentes en el agua de mar.
- Se puede operar automática o manualmente.
- El agua puede contener partículas de hasta 1/8" de diámetro.
- Puede bombear de 11 a 58 gpm.
- El costo de la bomba es accesible.

De acuerdo al balance de energía la potencia de la bomba se estima de 1/2 Hp.

7.2. TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

Se utilizarán tanques industriales, fabricados de polietileno.

Sus ventajas son:

- Resisten mas de 300 sustancias químicas.
- Se fabrican de una sola pieza.
- Ligeros y resistentes.
- Se pueden soldar o reparar fácilmente.
- De fácil limpieza, no genera olor ni sabor.
- No se oxidan, ni se corroen.
- Color integrado no requiere mantenimiento.
- Económicos.

Nota: Todos los tanques de almacenamiento utilizados en el proceso tienen las mismas características, la diferencia será las dimensiones de cada uno.

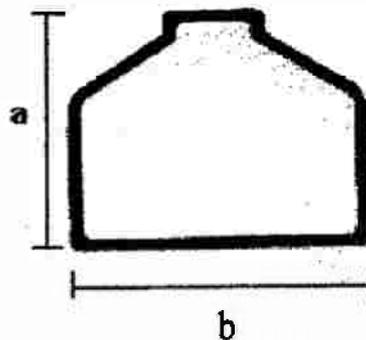


Fig.7.1. Tanque de almacenamiento

Tabla 7.1. Dimensiones de los tanques de almacenamiento

Dimensiones en metros		
	A	b
1er tanque de agua salada	1.0	1.0
2do. tanque de agua filtrada	1.0	1.0
3er. Tanque de agua producto	3.81	3.81
Tanque de cloro	0.368	0.368

7.3. FILTROS DE LECHO PROFUNDO (O DE ARENA)

Los filtros característicos de lecho profundo constan de un medio de arena o antracita. Por lo general el lecho se clasifica por el tamaño decreciente de las partículas sólidas desde el fondo hasta la parte superior y, en ocasiones, está compuesto por más de un material (por ejemplo: arena y antracita). Su principal objetivo es remover partículas suspendidas del agua.

Existen dos tipos de arena: natural y sintética.

Estos filtros ya sea de arena sintética o natural tienen la misma eficiencia (90%), la diferencia se observa en la tabla 7.2

Tabla 7.2. Diferencia entre filtros de arena sintética y filtros de arena natural

Filtros de arena sintética	Filtros de arena natural
Fabricados de polímeros	Material duro (sílice)
Menores pérdidas de P y V 5-10 lb	Mayores pérdidas 20-25 lb
Retiene partículas de 10 micras	Retiene partículas de 5 micras
Económico	Poco económico

Para este caso se recomiendan los filtros de arena natural, ya que éstos retienen más partículas presentes en el agua de mar a pesar de que su costo es mas alto.

Los filtros existentes cuentan con un 60% de cama de arena y 40% de espacio que se utiliza para los retrolavados.

Accesorios:

- 2 manómetros
- 1 válvula
- un controlador (cerebro)

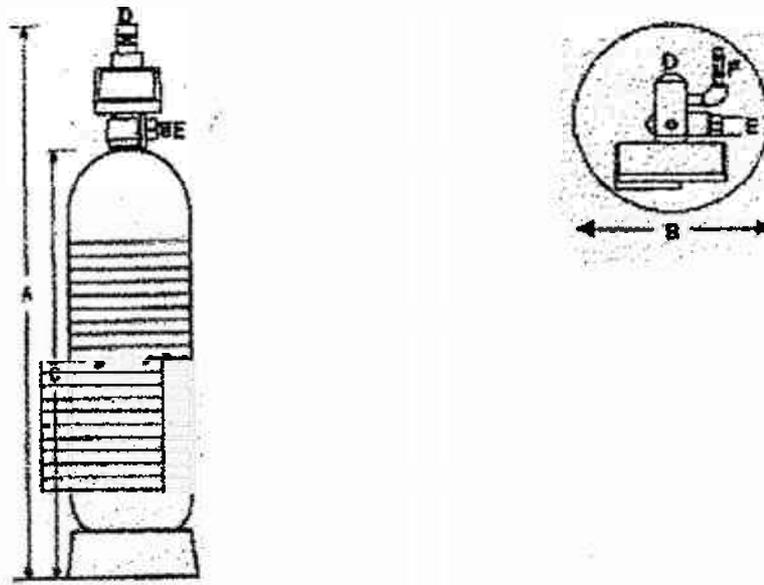


Fig.7.2 filtro de arena y carbón activado

Tabla 7.3. Dimensiones del filtro de arena y filtro de carbón activado

Dimensiones en metros					
A	B	C	D	E	F
1.82	0.45	1.65	0.025	0.025	0.019

7.4. FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO

El filtro de carbón funciona por el mismo principio que el filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón puede ser natural o vegetal, compuesto de millones de agujeros microscópicos que atrae, captura, y rompe moléculas de contaminantes presentes.

Se diseña normalmente para remover el cloro, sabores, olores y además químicos orgánicos. Los filtros son fabricados de acero al carbón de alta resistencia y recubrimiento interno de polietileno para evitar la corrosión. La eficiencia de estos tipos de filtros es del 95%.

Nota: El principio de operación, dimensionamiento y accesorios es el mismo que el filtro de arena.



Fig. 7.3. Filtro comercial de arena y carbón activado

7.5. INVERNADERO

Desde hace tiempo es conocido el principio de la evaporación del agua para provocar el enfriamiento. Para esto se coloca a un extremo del invernadero un ventilador y al lado opuesto se colocan unos paneles de fibra de madera o de plástico, que tienen que ser porosos y permeables y que se les pueda mojar, y se les mantiene en un grado de humedad muy elevado y continuo durante todo el período que se quiere enfriar el invernadero.

El aire caliente del exterior pasa a través del material humedecido atraído por la acción de los ventiladores colocados en el lado opuesto y, encontrando el agua de los paneles, sufre una baja de temperatura a causa de la absorción de calor por parte del agua que se evapora.

El invernadero utilizado cuenta con las características antes mencionadas y con las siguientes dimensiones.

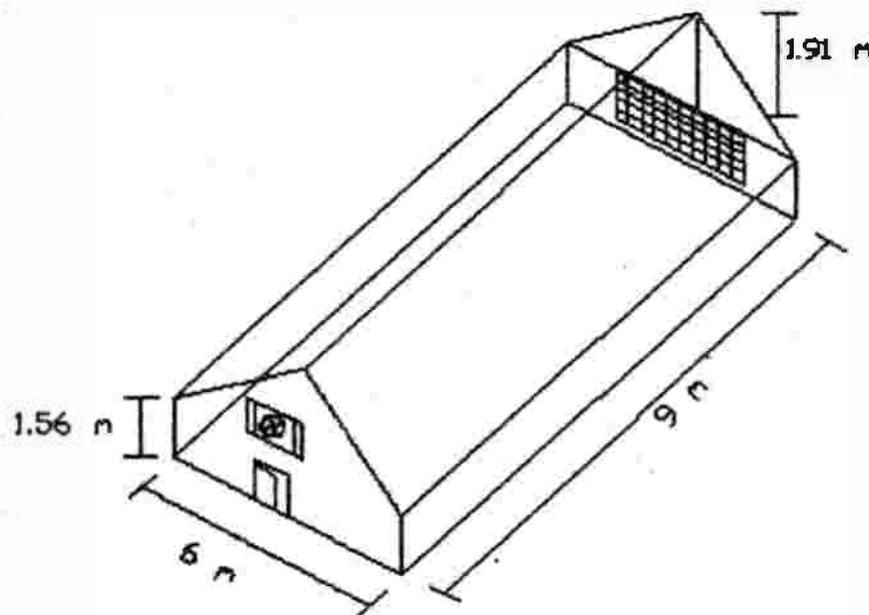


Fig. 7.4. Invernadero

El volumen total es de 129.6216 m^3

Nota: esta parte del proceso es propiedad del Departamento de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad de Sonora, la cual ha sido proporcionada para la presente investigación.

7.5.1. ACCESORIOS DEL INVERNADERO

7.5.1.1. Extractor

En un invernadero el volumen de aire que interesa enfriar está representado por el volumen ocupado por la vegetación. Esto se obtiene multiplicando la superficie del invernadero por la altura media de los cultivos; este valor representa la cantidad de aire que debe ser renovada por minuto.

Según las dimensiones del invernadero y la cantidad de aire que debe ser renovada se propone utilizar un extractor de:

D= 36" Potencia= 1/2 Hp

7.5.1.2. Pared húmeda

Como se mencionó anteriormente los paneles pueden ser de fibra de madera o de plástico. Dependiendo de las condiciones del líquido, será el tipo de material a utilizar. Para el presente caso se utilizará empaques de plásticos (anillos pall), que posee las siguientes ventajas específicas:

- Son inertes.
- Dada su figura geométrica presentan mayor área de contacto.
- Presentan alta resistencia a la corrosión.
- Su mantenimiento es muy bajo.
- Su costo es ligeramente alto con respecto a los anillos Rasching.

Los paneles pueden ser de tipo vertical y tipo oblicuo, el primero el agua corre sobre el panel, saliendo por un canalón en lo alto, luego el agua que sobra es recuperada por una electrobomba, en el segundo cada panel recibe agua pulverizada distribuida por cuatro pulverizadores. Para este caso se utilizará tipo vertical.

Las dimensiones de la pared se calcularon en base a la cantidad de aire que debe ser renovada por minuto entre la velocidad que debe de tener el aire para lograr el enfriamiento máximo.

$$\text{Area} = 1.1326 \text{ m}^2$$

La cantidad de agua que requiere la pared húmeda para lograr una temperatura y humedad óptima dentro del invernadero se calcularon en el capítulo IX.

7.5.1.3. Material de recubrimiento.

Polietileno.- Es uno de los plásticos más utilizados. Tiene óptimas cualidades ópticas pero en cambio es bastante transparente al infrarrojo, con lo cual no produce demasiado efecto invernadero.

7.5.2. CULTIVO

7.5.2.1. Características del tomate

El tomate, es una planta cultivada desde hace ya bastante tiempo, y debe de aplicarse a lo largo de su período vegetativo una serie de labores, todas ellas tendientes a conseguir que la planta se desarrolle en las mejores condiciones posibles para que su producción sea abundante.

Estas técnicas de cultivo han evolucionado a lo largo de los años, y como es natural dependen de varios factores:

Como pueden ser: Tipo de suelo, condiciones ambientales y la variedad de que se trate, etc.

La temperatura máximas para la germinación son las siguientes:

Mínima -----10°C
Óptima-----25-30°C
Máxima-----35°C

La relación entre las temperaturas de germinación y días que tarda en nacer es la siguiente:

Tabla 7.4. Temperaturas óptimas para el crecimiento del tomate

Temperatura °C	8	10	15	20	25	30	35	40
Días	No nacen	45	15	10	6	6	9	No nacen
Porcentaje de plantas bien germinadas	0	0	75	95	98	95	70	0

La época de siembra del tomate comprende desde principios de septiembre hasta mediados de enero, y la cosecha desde enero hasta mediados de marzo. (Ver anexo II pág.,193).

Uno de los objetivos antes mencionados es de obtener este tipo de cultivo en épocas del año donde sería imposible cultivarlo, por las condiciones climatológicas que presenta el estado.

7.5.2.2. Riegos

El riego de siembra debe de ser lento para que la humedad llegue a la semilla por transporo ya que de lo contrario se forma una costra dura que dificulta el nacimiento de la planta.

El riego por goteo es el de mayor implantación en el mercado, como lo demuestra la cantidad de modelos existentes en el mismo, que permiten su adecuación a todos los cultivos.

7.5.2.3.- Distribución de las plantas en el invernadero.

Las plantas se desarrollan más rápidamente cuando la separación entre la planta es de 30 cm bajo el sistema de piso y 20 cm para el sistema de vara; la distancia entre surcos es de 1.80 mts para ambos casos.

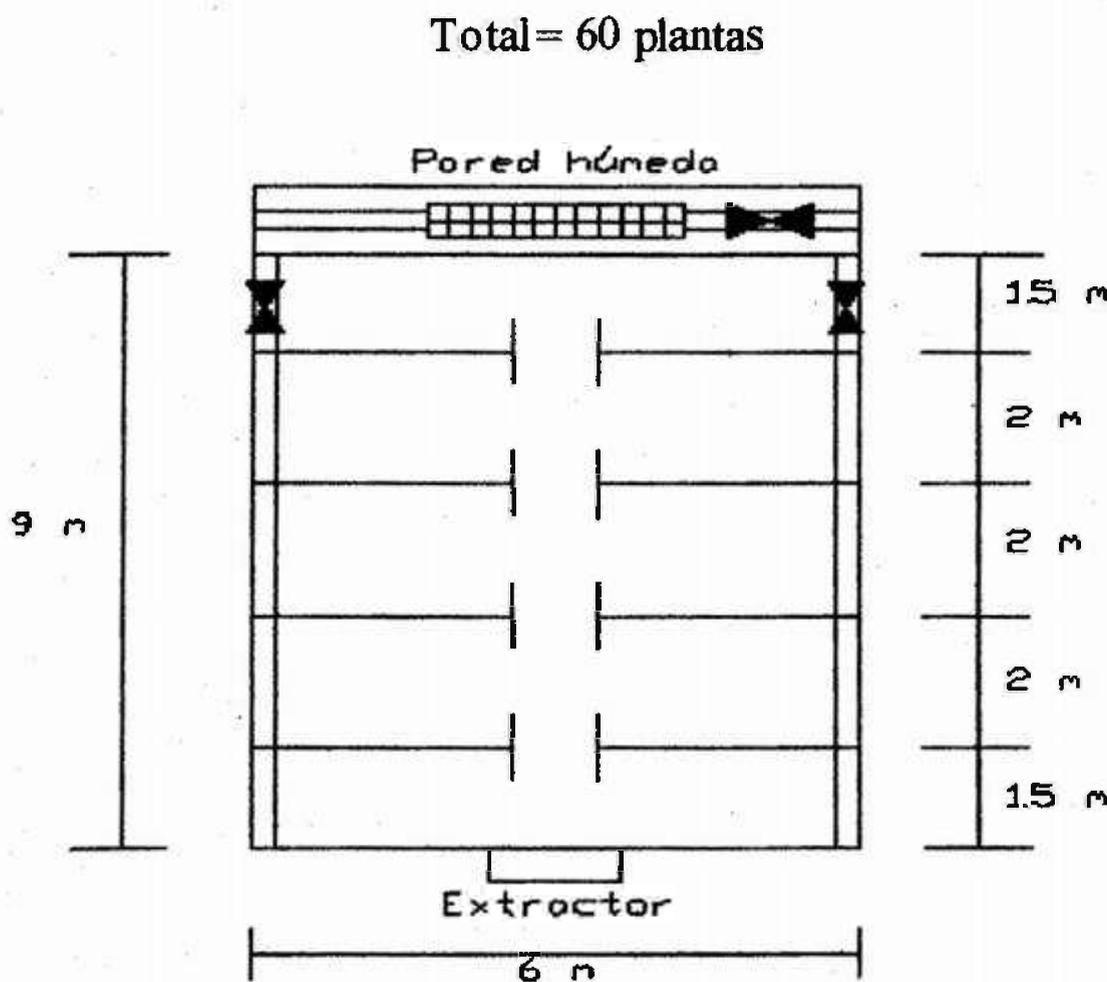


Fig. 7.5. Distribución del invernadero

7.6 EQUIPO DE ÓSMOSIS INVERSA

7.6.1 MEMBRANAS

	Elemento de membrana	ESPA1-4040
Funcionamiento:	Flujo de permeato:	4000 gpd
	Rechazo de sal (mínimo)	99.0%
Tipo:	Configuración:	Espiral W.
	Polímero de la membrana	Poliamida C.
	Área nominal de la membrana	85 pie ²
Datos de aplicación:	Máxima presión aplicada:	600 psig.
	Máxima concentración cloro:	<0.1 ppm
	Máx. temp. funcionamiento:	113 °F (45 °C)
	Rango de pH del agua de alim.:	3.0 -10.0
	Máxima turbiedad del agua alim.	1.0 NTU
	Máxima alim.de agua SDI:	5.0 (c/15 min.)
	Máximo flujo de alimentación:	16 gpm
	Relación de transformación mínima del concentrado al flujo de permeato por c/clemento:	5:1
	Máxima presión por e/elemento:	10 psi

Condiciones de Prueba.

El funcionamiento indicado es inicial (los datos tomados después de 30 minutos de la operación), basado en las siguientes condiciones:

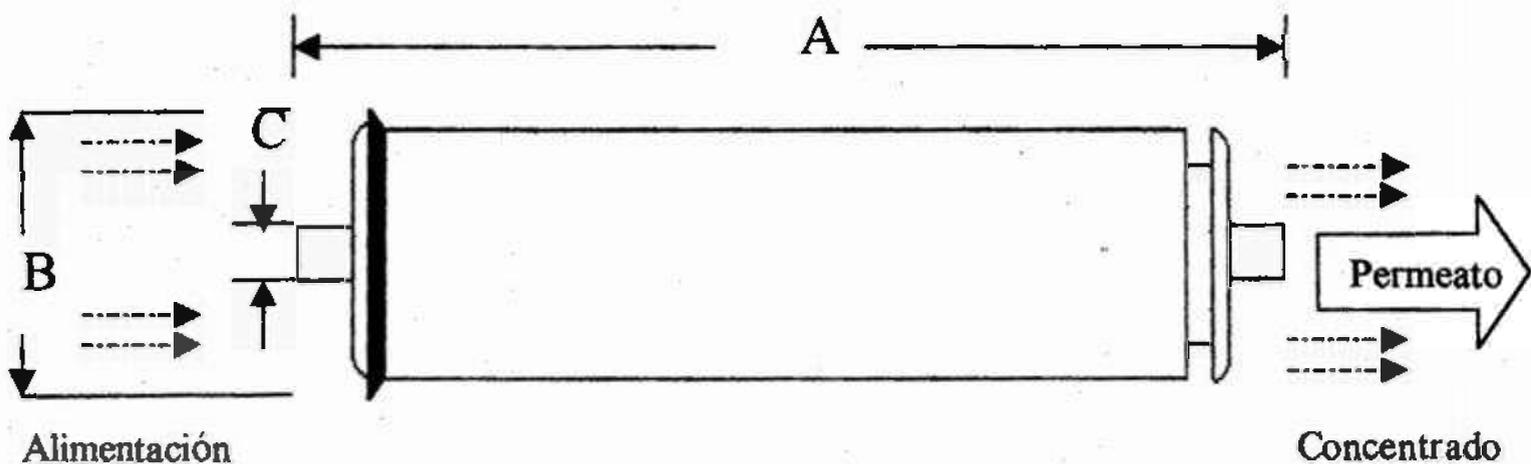
1500 ppm NaCl solución.

225 psi (1.55 MPa) Presión aplicada.

77 °F (25 °C) Temperatura de operación.

20% Recuperación de permeato.

6.5 – 7.0 Rango de pH.



A, pulg. (mm)
40.0 (1016)

B, pulg. (mm)
3.95 (100.3)

C, pulg. (mm)
0.75 (19.1)

Peso, lbs. (kg)
8 (3.6)

Extensión del tubo de la base = 1.05" (26.7 mm)

Fig.7.6 ESPA1-4040

Elemento de membrana**SWC2****Funcionamiento:**

Flujo de permeato:

6,200 gpd

Rechazo de sal (mínimo)

99.0%

Tipo:

Configuración:

Espiral W.

Polímero de la membrana

Poliamida C

Área nominal de la membrana

315 pie²**Datos de aplicación:**

Máxima presión aplicada:

1200 psig.

Máxima concentración cloro:

<0.1 ppm

Máx. temp. funcionamiento:

113 °F

Rango de pH del agua de alim.:

3.0 - 10.0

Máxima turbiedad del agua alim.

1.0 NTU

Máxima alim.de agua SDI:

5.0 (15 min.)

Máximo flujo de alimentación:

75 gpm

Relación de transformación mínima del concentrado al flujo de permeato por e/elemento:

5:1

Máxima presión por e/elemento:

10 psi

Condiciones de Prueba.

El funcionamiento indicado es inicial (los datos tomados después de 30 minutos de la operación), basado en las siguientes condiciones:

32000 PPM NaCl solución.

800 PSI (5,5 MPa) Presión aplicada.

77 °F (25 °C) Temperatura de operación.

10% Recuperación de permeato.

6.5– 7.0 Rango de pH.

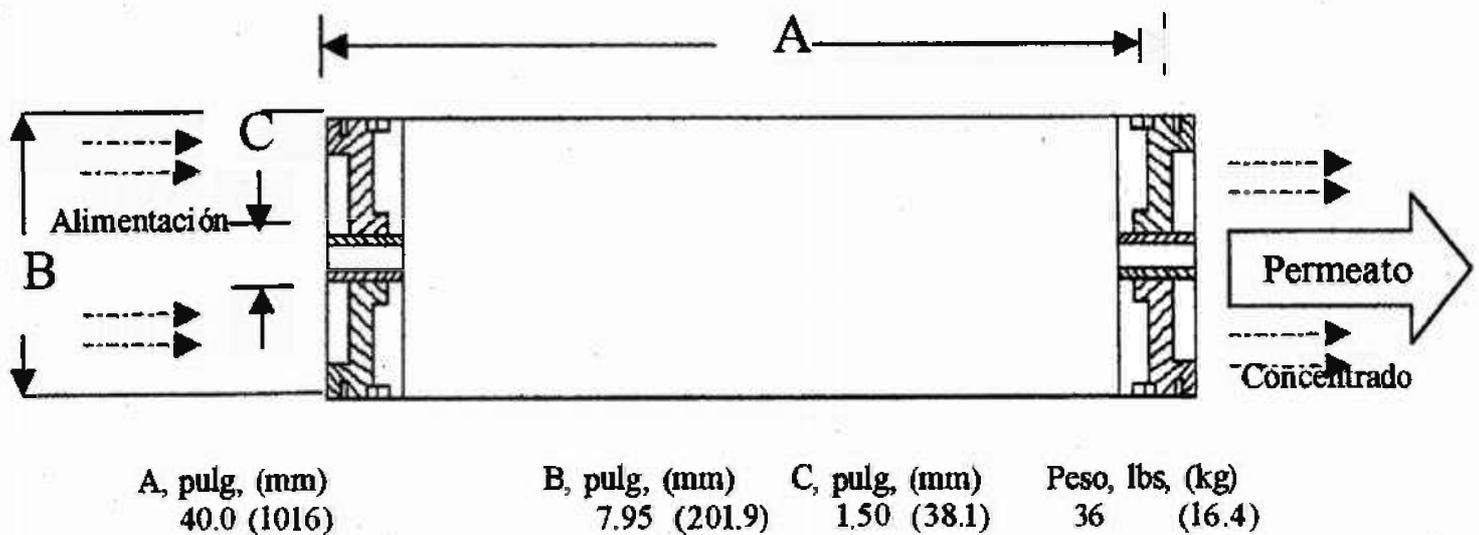


Fig.7.7 Membrana SWC2

7.6.2 BOMBAS

Tipo de bomba

CENTRÍFUGA

Esquema:

En su concepción más simple consiste en un impulsor con alabes, llamado "rodete", que gira en el interior de una carcasa accionado desde el exterior mediante un eje, tal como se muestra en la siguiente figura:

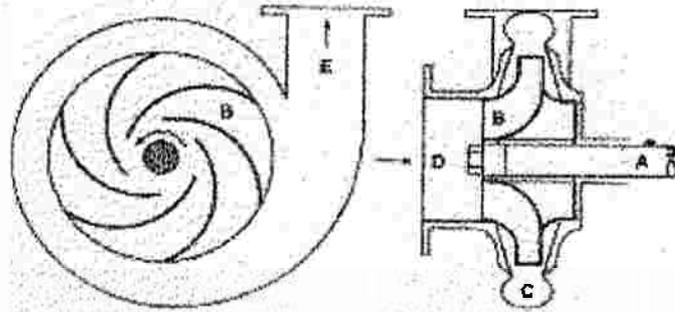


Fig. 7.8. Esquema de una bomba centrífuga

Funcionamiento:

La energía de una fuente exterior aplicada al eje A hace girar el impulsor B dentro de la carcasa estacionaria C. Los alabes del impulsor en rotación produce un descenso de la presión en la entrada de los mismos, lo que origina que el fluido se mueva hacia ellos desde la tubería de aspiración D. El fluido, debido a la rotación del impulsor, es enviado hacia el exterior de los alabes aumentando su velocidad tangencial.

La velocidad adquirida por el fluido cuando abandona los alabes se transforma en presión cuando pasa al difusor saliendo al exterior a través de la tubuladura de descarga E.

Ventajas:

- Alto rendimiento hidráulico (superior al 90%).
- Bajo consumo específico de energía.
- Se adaptan a la compactación y al ensuciamiento de las membranas, aumentando o reduciendo la presión de impulsión sin la intervención de ningún sistema de control.

Desventajas:

- Requieren un cambio frecuente de empaquetaduras y émbolos.
- Pueden llegar a las membranas partículas procedentes de las empaquetaduras.
- Elevado costo de mantenimiento.
- Vibraciones y alto nivel sonoro.

7.7 CELDAS FOTOVOLTAICAS

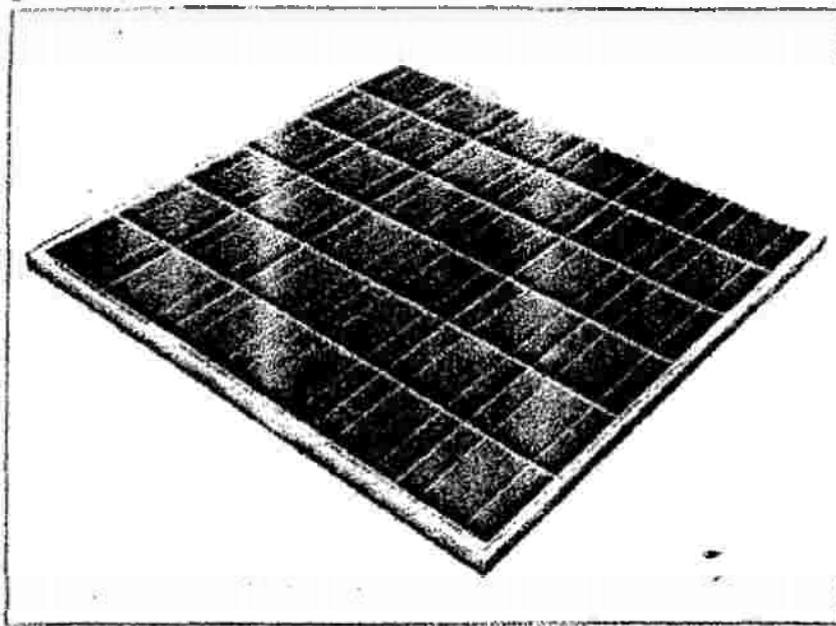


Fig. 7.9. Celda fotovoltaica, modelo K-120

Aplicaciones

- ✓ Estaciones repetidoras de microondas/radio.
- ✓ La electrificación de pueblos en áreas remotas.
- ✓ Medios médicos en áreas rurales.
- ✓ Fuente de energía para casas de campo.
- ✓ Sistemas de comunicación de emergencia.
- ✓ Sistemas de bombeo para la irrigación de agua rural y riego del ganado.
- ✓ Sistemas de desalinización.

Especificaciones

Modelo:	KC120
Máxima potencia:	120 watts
Máxima potencia, voltaje:	16.9 volts
Máxima potencia, corriente:	7.10 amps
Circuito abierto, voltaje:	21.5 volts
Corto-circuito, corriente:	7.45 amps

Longitud: 962 mm (37.9 plg)
967 mm (38.1 plg)
52 mm (2.0 plg)

Peso: 11.9 kg (26.2 lbs.)

Especificaciones físicas:

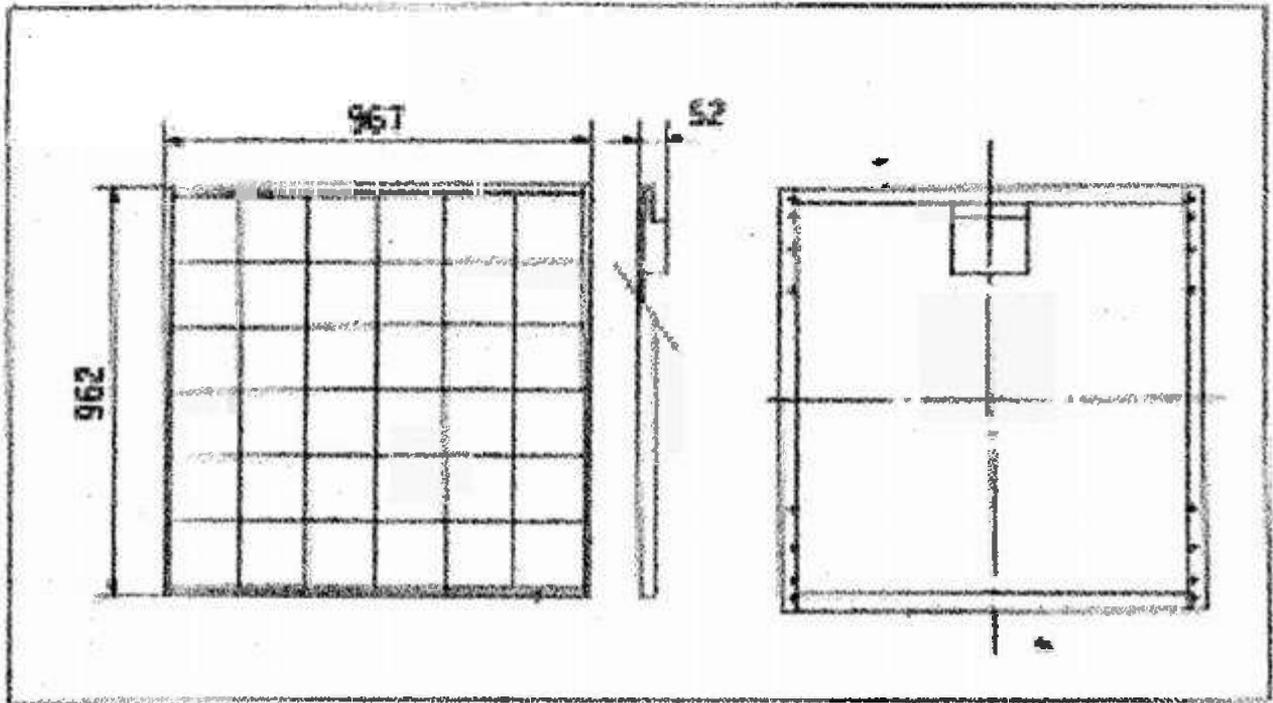


Fig. 7.10 Dimensiones de la celda K-120

CAPÍTULO 8

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO

8.1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SALADA.

$$\text{Flujo} = 26.6 \text{ gpm} \Rightarrow 0.10071 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Se dará un tiempo de 3 min. para llenar el tanque.

$$Q = 0.10070 \text{ m}^3/\text{min} \times 3 \text{ min.} = 0.30213 \text{ m}^3$$

$$V = H\pi D^2/4 = (\pi/4)D^3 \quad \therefore D = [(4/\pi)V]^{1/3}$$

Se supone una relación de $H = D$, es lo más recomendable para tanques de almacenamiento de agua. Se obtiene mayor estabilidad.

$$0.30213 \text{ m}^3 = (1/4) \pi D^3$$

$$D = (0.30213/0.78539)^{1/3}$$

$$D = 0.727282 \text{ m.} \cong 1 \text{ m}$$

$$H = 0.727282 \text{ m.} \cong 1 \text{ m}$$

8.2. FILTRO DE ARENA Y CARBÓN ACTIVADO

$$Q = 26.6 \text{ gpm} \quad \text{tiempo de llenado } 2 \text{ min.} \quad V = 0.2014 \text{ m}^3.$$

Se tomo una relación de $H = 4D$

$$V = (\pi/4) HD^2 = \pi D^3 \quad \Rightarrow \quad D = (0.2014/3.1416)^{1/3}$$

$$D = 0.40 \text{ m}$$

$$H = 4(0.40) = 1.64 \text{ m.}$$

8.3. INVERNADERO

8.3.1. Extractor

El extractor que se propone para lograr el enfriamiento es de D=36" y una potencia de 1/2 Hp, para cubrir los requerimientos siguientes:

$$V = 129.6216 \text{ m}^3$$

$$\text{Superficie} = 54 \text{ m}^2$$

Altura media de los cultivos 10 cm.

$$\text{Volumen que interesa enfriar} = 5.4 \text{ m}^3$$

8.3.2. Pared húmeda

Cantidad de aire que debe ser renovada por minuto = $5.4 \text{ m}^3/\text{min}$. (Este valor representa el gasto, Q). Donde:

$$A = Q/u$$

u = Velocidad que debe de tener el aire para lograr el enfriamiento máximo, según datos bibliográficos (Invernaderos: Construcción, manejo y rentabilidad. Carlos Bernat, pág.171) es de 250 m/hr. $\Rightarrow 4.1666 \text{ m}/\text{min}$.

$$A = (5.4 \text{ m}^3/\text{min}) / (4.1666) = 1.2960 \text{ m}^2$$

$$A = 1.2960 \text{ m}^2$$

8.5.2. Cantidad de agua

Para el cultivo de tomate en invernadero se recomienda una temperatura aproximadamente de 25°C y una humedad relativa de 70% -80%.

$$T_{bh} = 24.4 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (temperatura de bulbo húmedo)}$$

Ver anexo III, pág.194

$$T_{bs} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (temperatura de bulbo seco).}$$

Con ayuda de la carta psicrométrica (ver anexo IV y V, pág.195 y 196) y la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco se obtiene la cantidad de lb. de agua/lb de aire seco, dando como resultado 0.013 lb. de agua /lb a.s.

Para calcular las lb de agua que se necesita suministrarle a la pared húmeda para lograr la temperatura y humedad antes mencionadas, se calcula el número total de moles de aire que tenemos dentro del invernadero con la formula de los gases ideales.

$PV = nRT$ donde:

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$R = 0.08205 \text{ atm lt/grmol } ^{\circ}\text{K}$$

$$V = 129.6216 \text{ m}^3$$

$$T = 298.15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Sustituyendo los datos:

$$n = 5301.30 \text{ gmol} * 29\text{gr/grmol} = 15373.7 \text{ gr} \Rightarrow 338.63\text{lb}$$

Sí en 1.013 lb de aire total \longrightarrow 0.013 lb de agua

338.63 lb de aire total \longrightarrow X

$$X = 4.3456 \text{ lb de agua}$$

Se necesitan 3 ciclos /hr, un flujo de 132.0368 lb de agua /hr. La eficiencia de la pared húmeda, según la literatura es de 0.10, entonces se requerirá un flujo total de 130.368 lb/hr \Rightarrow 59.187 kg/hr.

8.4. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PRODUCTO

Se trabajará 8 hr por día durante 3 días.

El flujo de salida de agua producto es de 8 gpm., entonces:

$$8\text{gal/min} \Rightarrow 3840 \text{ gal/día} \Rightarrow 43.603\text{m}^3$$

$$V = (\pi/4)D^2 H = (\pi/4)D^3$$

Se supone una relación de $H = D$, es lo más recomendable para tanques de almacenamiento de agua. Se obtiene mayor estabilidad.

$$43.60\text{m}^3 = (1/4) \pi D^3$$

$$D = (43.60/0.78539)^{1/3}$$

$$D = 3.8154 \text{ m}$$

$$H = 3.8154 \text{ m}$$

8.5. EQUIPO DE ÓSMOSIS INVERSA.

8.5.1. Membranas

De acuerdo a los datos que se alimentaron al programa Rodesign, se especificó el siguiente arreglo de las membranas de ósmosis inversa:

Tipo de elemento de membrana:	No. Elementos:	Arreglo:
SWC2	3	1x3
ESPA1-4040	4	1x4
ESPA1-4040	4	1x4

8.5.1.1. SWC2

El programa Rodesign proporcionó los siguientes resultados:

Primer paso: 1 solo tubo de 8 plg con 3 membranas en su interior.

8.5.1.2. ESPA1-4040

El programa Rodesign proporcionó los siguientes resultados:

Segundo paso: 2 tubos 40 plg con 4 membranas en su interior c/u.

Nota: Las especificaciones físicas de las membranas, se pueden observar en la figura# 7.6 y en la figura# 7.7 del capítulo 7.

8.6 CELDAS FOTOVOLTAICAS.

Teóricamente se tiene que una celda fotovoltaica modelo KC120 de la marca Kyocera produce 120 W por 0.93 m^2 , que es la que se va a utilizar.

$$120 \text{ W} \longrightarrow 1000 \text{ W/m}^2$$

$$X \longrightarrow 600 \text{ W/m}^2$$

Esto en 8 horas a partir de las 8 AM a las 4 PM (Hora solar)

$$1000 \text{ W/m}^2 \longrightarrow 120 \text{ W}$$

$$600 \text{ W/m}^2 \longrightarrow X=72 \text{ W}$$

$$P_{\text{módulo}} = (72 \text{ W})(0.95) \quad 0.95 \text{ es la corrección por temperat}$$

$$P_{\text{módulo}} = 68.4 \approx 69 \text{ W}$$

$$P_{\text{requerida}} = 23126 \text{ W}$$

$$P_{\text{módulo}} = 69 \text{ W/módulo}$$

$$\text{No. Módulos} = 23126 \text{ W}/69 \text{ W}$$

$$\text{No. Módulos} = 335 \text{ módulos}$$

CAPÍTULO 9

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

9.1. BALANCE DE MATERIA

Se realizaron los cálculos para un flujo de entrada de agua salada de 26.6 gpm (100.712255 lt/min), del cual se obtendrá agua desalada con un flujo de salida 8 gpm (30.2894 lt/min).

Tabla 9.1 Composición agua de mar

Ion	mg/lt = ppm
Ca	384.7
Mg	1205.8
Na	11016.9
K	415.2
Sr	15.2
CO ₃	0.1
HCO ₃	80.4
SO ₄	2573.0
Cl	19619.8
NO ₃	3.9
Total	35315.5

Esta cantidad solamente representa el total de iones que hay presentes en el agua de mar.

9.1.1. Filtro de arena.

El filtro de arena retiene el 5% de las sales, esto representa que el 95% de las sales pasan al filtro de carbón activado.

Tabla 9.2 Cantidad de sales a la salida del filtro de arena

Ion	mg/l=ppm	filtro de arena (95%)	purga (5%)
Ca	384.7	365.5	192.3
Mg	1205.8	1145.5	602.9
Na	11016.9	10466.1	5508.4
K	415.2	394.4	207.6
Sr	15.2	14.4	7.6
CO ₃	0.1	0.1	0.0
HCO ₃	80.4	76.4	40.2
SO ₄	2573.0	2444.4	1286.5
Cl	19619.8	18638.8	9809.9
NO ₃	3.9	3.7	1.9
Total	35315.5	33549.7	17657.7

+100.7 lt de agua de alimentación

9.1.2. filtro de carbón activado

El filtro de carbón activado, para el proceso antes mencionado retiene el 10% presentes de las sales que provienen del filtro de arena, el resto de las sales (90%) pasan al equipo de ósmosis inversa.

Tabla 9.3 Cantidad de sales a la salida del filtro de carbón activado

Ion	filtro de arena (95%)	Filtro de carbón activado (90%)	purga (10%)
Ca	365.5	328.9	36.5
Mg	1145.5	1031.0	114.5
Na	10466.1	9419.4	1046.6
K	394.4	355.0	39.4
Sr	14.4	12.9	1.4
CO ₃	0.1	0.0	0.0
HCO ₃	76.4	68.7	7.6
SO ₄	2444.4	2199.9	244.4
Cl	18638.8	16775	1863.8
NO ₃	3.7	3.4	0.3
Total	33549.7	30194.7	3354.9

+100.7 lt de agua de alimentación

9.1.3. Ósmosis inversa

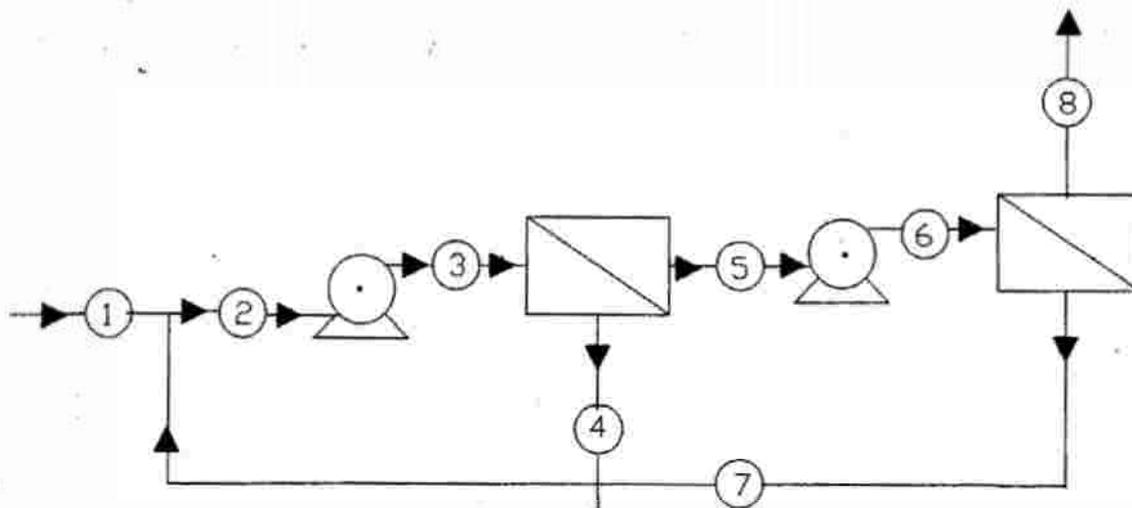


Fig.9.1 Diagrama de flujo del equipo de ósmosis inversa para calcular el balance de masa.

Tabla 9.4 Balance de masa

	1	2	3	4	5	6	7	8
Flujo gpm	26.6	28.6	28.6	18.6	10.0	10.0	2.0	8.0
Presión psi	0.0	0.0	729.3	722.7	0.0	95.9	70.3	0.0
TDS ppm	30194.0	28215.3	28215.3	43206.0	375.3	375.3	1800.7	19.0

Como ya se sabe el programa Rodesign, proporciona automáticamente un balance de masa de agua y de sales del sistema que se está utilizando. A continuación se realizarán estos cálculos con la finalidad de comprobar la eficiencia del programa y con ello su veracidad.

9.1.3.1. Balance de agua.

- Considerando un sistema de dos pasos:

1 Paso = 1 solo tubo de 8 plg, con 3 membranas en su interior.

2 Paso = 2 tubos de 40 plg, con 4 membranas c/u en su interior.

- Considerando un flujo en la entrada a la primera membrana de ósmosis de 28.6 gpm y con una eficiencia del 35%, se tiene:

Balance total

$$Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (\text{Ec. 9.1})$$

$$Q_4 = (28.6 \text{ gpm})(0.35) = 10.01$$

$$Q_5 = (28.6 \text{ gpm})(0.65) = 18.59$$

$$28.60 \text{ gpm}$$

$$Q_5 = Q_6$$

- Considerando un flujo en la entrada a la segunda membrana de ósmosis de 10.01 gpm y con una eficiencia del 80%, se tiene:

Balance total

$$Q_6 = Q_7 + Q_8 \quad (\text{Ec. 9.2})$$

$$Q_7 = (10.01 \text{ gpm})(0.80) = 8.008$$

$$Q_8 = (10.01 \text{ gpm})(0.20) = \underline{2.002}$$

10.010 gpm

9.1.3.2. Balance de sales.

- Considerando una concentración en la entrada de la primera membrana de ósmosis de 28,215 ppm y un flujo 28.6 gpm, se tiene:

Balance total

$$Q_3C_3 = Q_4C_4 + Q_5C_5 \quad (\text{Ec. 9.3})$$

$$\text{Porcentaje de rechazo de sales} = R_m = 1 - (C_p/C_f)(r) \quad (\text{Ec.9.4})$$

Donde:

C_p : Es la concentración de permeado.

C_f : Es la concentración de alimentación.

R : Factor de recuperación

R_m : Es una medida global alternativa de rechazo, basada en la fracción R_{masa} , de la masa de un material específico entrando en un sistema de membrana que no la atraviesa.

$$R = 98.7\% \text{ para una membrana ESPA1-4040}$$

$$R = 0.987$$

De (9.4):

$$C_5 = (1 - R_{\text{masa}})(C_3/r)$$

$$C_5 = (0.013)(80614)$$

$$C_5 = \underline{1047.9 \text{ ppm}}$$

Sustituyendo en (9.3)

$$(28.6)(28,215) = (18.6)C_4 + (10)(1047.9)$$

Despejando:

$$C_4 = \underline{42,821 \text{ ppm}}$$

$$C_5 = C_6$$

- Considerando una concentración en la entrada de la segunda membrana de ósmosis de 366.85 ppm y un flujo 10 gpm, se tiene:

Balance total

$$Q_6C_6 = Q_7C_7 + Q_8C_8$$

(Ec. 9.5)

$$R = 0.99$$

Sustituyendo en (9.4):

$$C_8 = (1 - .99)(1047.9/0.8)$$

$$C_8 = \underline{13 \text{ ppm}}$$

Sustituyendo en (9.5) y despejando C_7

$$C_7 = \underline{1820.3 \text{ ppm}}$$

Nota:

El programa Rodesign presenta un porcentaje de error en los cálculos de ± 3 .

9.2. BALANCE DE ENERGÍA

9.2.1. Bomba principal

Flujo= 26.6 gpm.

Tubería de acero comercial cédula 40

Area de la tubería:

$$A = (1/4)\pi D^2 \quad u = 4 \text{ pies/seg}$$

$$A = Q/V$$

$$Q = 26.6 \text{ gpm}$$

$$D = (2.16/0.785)^{1/2} \Rightarrow D = 1 \frac{3}{4} \text{ plg.}$$

Ecuación de Bernouli.

$$P_1/\rho + Z_1 (g/gc) + V_1^2/2gc + nWp = P_2/\rho + Z_2 g/gc + V_2^2/2gc + Hfs$$

Consideraciones

$$P_1 = P_2 \quad Z_1 = 0 \quad V_1 = 0$$

Por lo tanto:

$$nWp = Z_2 g/gc + V_2^2/2gc + Hfs.$$

$$V_2 = 4 \text{ pies /seg. } \rho = 62.3 \text{ lbm/pie}^3$$

$$M = Q\rho \Rightarrow 3.6924 \text{ lbm/seg.}$$

$$Re = DV_2\rho / \mu$$

Sustituyendo los datos:

$$Re = 54067.5 \quad \text{por lo tanto se considera flujo turbulento.}$$

Con el diámetro de la tubería y el nomograma A-42 (Crane) se obtiene la rugosidad relativa de las tuberías y el factor de fricción en régimen de turbulencia total.

$$\epsilon/D = 0.001 \quad f_t = 0.0188$$

Pag. A-43 (Crane) factor de rozamiento = 0.037

Tabla 9.5 Accesorios para calcular HP.(Bomba principal)

Accesorios	N	L/D	N L/D	K	NK
Entrada	1	23	23	0.5	0.5
Codo estándar	4	25	100	0.564	2.256
Válvula de compuerta	1	9.5	9.5	0.1504	0.1504
Salida	1	37	37	1	1
Conexiones	3	18	54	0.376	1.128
Codo estándar 45°	2	16	32	0.3008	0.6016

$$\Sigma L/D = 255.5 \quad \Sigma = 5.5$$

$$\text{Entrada } K = 0.5$$

$$\text{Codo estándar } K = 30 \text{ pies} \Rightarrow 30 (0.0188) = 0.564$$

$$\text{Válvula de compuerta } K = 8 \text{ pies} \Rightarrow 8 (0.0188) = 0.15204$$

$$\text{Salida } K = 1$$

$$\text{Conexiones } K = 20 \text{ pies} \Rightarrow 20 (0.0188) = 0.376$$

$$\text{Codo estándar } 45^\circ K = 16 \text{ pies} \Rightarrow 16(0.0188) = 0.3008$$

Pérdidas por fricción

$$H_{fs} = f(L/D) (u_2/2gc)$$

$$(L/D)_{\text{total}} = (L/D)_{\text{accesorios}} + (L/D)_{\text{tubería recta}}$$

$$(L/D)_{\text{TR}} = 15.8/0.044 = 359.09$$

$$(L/D)_{\text{total}} = 255.5 + 359.09 = 614.59$$

$$H_{fs} = 0.037 (614.59) ((4 \text{ pies/seg})^2 / 2(32.2 \text{ lbpie/lbmseg}^2))$$

$$H_{fs} = 5.65 \text{ lbf pie} / \text{lbm}$$

$$Z_2 = g/gc = 9.8424 \text{ pie lbf/lbm}$$

$$V^2 / 2gc = 0.248447$$

Sustituyendo en la ecuación de Bernoulli

$$nW_p = 9.8424 \text{ pie lbf/lbm} + 0.248447 \text{ pie lbf/lbm} + 5.65 \text{ pie lbf/lbm}$$

$$nW_p = 15.7405 \text{ pie lbf/lbm} * 3.6924 \text{ lbm/seg} = 58.12 \text{ lbf pie/seg}$$

$$nW_p = 58.12 \text{ lbf pie/seg} * 1.818 * 10^{-3} \text{ Hp/lbf pie/seg} = 0.11 \text{ Hp}$$

Potencia a la salida del rotor eléctrico

$W_p = 0.11/0.60 = 0.1833 \text{ Hp} / 0.85 = 0.22 \text{ Hp}$ Teóricamente basta con una bomba de 1/4 Hp. Pero se recomendará una de 1/2 Hp.

Potencia de bombeo = 1/2 Hp

9.2.2. Bomba a la entrada del equipo de ósmosis inversa

La potencia de bombeo proporcionada por el programa Rodesign, es de 16.2 Hp, pero conociendo de antemano que el programa funciona con un margen de error de $\pm 3 \%$, se decidió instalar una bomba de 20 hp.

Potencia de bombeo = 20 Hp

9.2.3. Bomba segundo paso equipo de ósmosis inversa.

La potencia de bombeo proporcionada por el programa Rodesign para el segundo paso, es de 6.4 Hp, pero conociendo de antemano que el programa funciona con un margen de error de $\pm 3 \%$, se decidió instalar una bomba de 10 hp.

Potencia de bombeo = 10 Hp

9.2.4. Bomba a la salida del equipo de ósmosis inversa

Se realizó mediante un cálculo rápido, ya que se contaba con un pequeño tramo de tubería.

$$P_1 = 14.7 \text{ psi}$$

$$W_o = (\rho gh/gc)v \quad (9.6)$$

$$W_o = (64.62 \text{ lbf/ft}^2)(1 \text{ lbf/lbm})(3.81 \text{ m})(3.28 \text{ ft/m})(1 \text{ ft}^3/62.4 \text{ lbm})$$

$$W_o = (12.94 \text{ lbf/ft}^2)(0.001818 \text{ Hp/1 lbf/ft}^2) = 0.023 \text{ Hp. Se utilizará una bomba de } 1/16 \text{ Hp}$$

Potencia de bombeo = 1/16 Hp

9.2.5. Bomba a la entrada del invernadero

$$\text{Flujo} = (59.1870 \text{ kg/hr})(1 \text{ hr}/60 \text{ min})(1 \text{ m}^3/1000 \text{ kg})(1000 \text{ dm}^3/1 \text{ m}^3)(0.262 \text{ gal}/1 \text{ dm}^3)$$

$$\text{Flujo} = 0.25 \text{ gpm.}$$

Tubería de acero comercial cédula 40

Área de la tubería:

$$A = (1/4) \pi D^2$$

$$A = Q/V$$

$$V = 4 \text{ pies/seg (Se supone empíricamente)}$$

$$A = (0.25 \text{ gal/min})(1 \text{ pie}^3/7.48 \text{ gal})(1 \text{ min}/60 \text{ seg})(1 \text{ seg}/4 \text{ pies}) = 9.0 \cdot 10^{-5} \text{ pies}^2$$

$$A = (2.9 \cdot 10^{-4} \text{ pies}^2)(144 \text{ plg}^2/1 \text{ pie})$$

$$A = 0.045 \text{ plg}^2$$

$$A = 0.785 D^2$$

$$D = (0.012/0.785)^{1/2} = 0.23 \text{ plg, pero considerando una tubería comercial}$$

$$\Rightarrow D = 1/4 \text{ plg.}$$

Ecuación de Bernoulli.

$$P_1/\rho + Z_1 (g/gc) + u_1^2/2gc + nWp = P_2/\rho + Z_2 g/gc + u_2^2/2gc + Hfs$$

Consideraciones

$$P_1 = P_2 \quad Z_1 = 0 \quad u_1 = 0$$

Por lo tanto:

$$nWp = Z_2 g/gc + u_2^2/2gc + Hfs$$

$$u_2 = 4 \text{ pies /seg. } \rho = 62.3 \text{ lbm/pie}^3$$

$$M = Q\rho \Rightarrow 0.079 \text{ lbm/seg.}$$

$$Re = Du_2\rho / \mu$$

Sustituyendo los datos:

$$Re = 7045.8 \text{ por lo tanto se considera flujo turbulento.}$$

Con el diámetro de la tubería y el nomograma A-42 (Crane) se obtiene la rugosidad relativa de las tuberías y el factor de fricción en régimen de turbulencia total.

$$\epsilon/D = 0.0018 \quad Re = 7045.8$$

(nomograma A-43 Crane) factor de rozamiento = 0.023

Tabla 9.6 Accesorios para calcular H_p (Invernadero)

Accesorios	N	L/D	NL/D	K	NK
Entrada	1	29	29	0.78	0.78
Codo estándar	2	26	52	0.69	1.38
Válvula de compuerta	1	7	7	0.18	0.18

Entrada

Diámetro tubería comercial = 1/4 plg

Longitud de la tubería = 10m = 32.8 pies = 393.60 plg

Entrada con resalte hacia el interior $K = 0.78$ (pág. A-49 Crane)

$L/D = 29$ (pág. A-51 Crane)

Codo estándar

$K = 30 \text{ pies} \Rightarrow 30 (0.023) = 0.69$

$D = 1/4 \text{ plg}$

$L/D = 26$ (pág. A-51 crane)

Válvula de compuerta

$\beta = 1$

$\theta = 0$

$K = 8 \text{ pies} \Rightarrow 8 (0.023) = 0.18$

$D = 1/4 \text{ plg}$

$L/D = 7$ (pág. A-51 crane)

Pérdidas por fricción

$H_{fs} = f(L/D) (V^2/2gc)$

$(L/D)_{\text{total}} = (L/D)_{\text{accesorios}} + (L/D)_{\text{tubería recta}}$

$(L/D)_{\text{TR}} = 393.60 \text{ plg} / (1/4) \text{ plg} = 1574.4$

$(L/D)_{\text{total}} = 88 + 1574.4 = 1662.4$

$H_{fs} = 0.023 (1662.4) ((4 \text{ pies/seg})^2 / 2(32.2 \text{ lbpie/lbmseg}^2))$

$H_{fs} = 9.5 \text{ lbf pie} / \text{lbm}$

$$Z_2 = g/gc = 9.8424 \text{ pie lbf/lbm}$$

$$u^2 / 2gc = 0.248447$$

Sustituyendo en la ecuación de Bernoulli

$$nW_p = 9.8424 \text{ pielbf/lbm} + 0.248447 \text{ pielbf/lbm} + 9.5 \text{ pielbf/lbm}$$

$$nW_p = 19.59 \text{ pielbf/lbm} * 3.6924 \text{ lbm/seg} = 72.37 \text{ lbfpie/seg}$$

$$nW_p = 72.37 \text{ lbfpie/seg} * 1.818 * 10^{-3} \text{ Hp/lbfpie/seg} = 0.13 \text{ Hp}$$

Potencia a la salida del rotor eléctrico

$$W_p = 0.21 \text{ Hp} / 0.85 = 0.25 \text{ Hp} \text{ Se utilizará una bomba de } 1/4 \text{ Hp.}$$

Potencia de bombeo = 1/4 Hp

Sumando cada una de las potencias de bombeo en todo el sistema se tiene:

Potencia total de bombeo = 30.82 Hp \approx 31 Hp

9.3. BALANCE DE ENERGÍA TÉRMICA EN EL INVERNADERO.

Se puede modificar la fórmula de la página 61, capítulo IV, cuando varían los términos del problema, como ocurre cuando se pasa de las condiciones de invierno a las de verano. En este caso Q_f se reduciría a cero; Q_e , Q_r , Q_p , Q_g pueden considerarse de poca entidad.

Por lo tanto, la fórmula se reduce a:

$$\alpha_s A_s \uparrow I = UA_c (t_i - t_a) + \sigma A_t t_i (\sum_s T_s^4 - \sum_a T_s^4) + 60C_p (\text{CFM}/V) (t_i - t_a) + 5400A_g(\text{E.T.}).$$

El primer término se refiere a la calefacción solar, mientras que el segundo se refiere a la pérdida por conducción, el tercero a la pérdida por radiación térmica, el cuarto a la pérdida del calor sensible por ventilación, el quinto a la pérdida por calor latente de ventilación, mientras que el último término puede ser usado para establecer la influencia de la evaporación del panel de enfriamiento sobre la temperatura del invernadero. Para determinar este último factor, es necesario establecer el potencial evaporativo por medio de un psicrómetro. Los paneles normalmente son eficaces en un 80-90% y enfrían la temperatura del aire en un 80-90% de la diferencia entre el bulbo seco y el bulbo húmedo. Por lo tanto, se puede calcular la cantidad de evaporación por unidad de superficie del panel y el cálculo se toma generalmente, A_g igual al área del panel y ET la cantidad de agua que ha evaporado por unidad de superficie del propio panel.

Los datos son los siguientes:

$$\alpha_s = 0.70.$$

$$A_s = 99.57 \text{ m}^2.$$

$$\iota = 0.80.$$

$$I = 6.25 \text{ KW-hr / m}^2\text{día.}$$

$$U = 4.5 \text{ Kcal/hrm}^2\text{°C.}$$

$$A_c = 28.08 \text{ m}^2.$$

$$T_i = ?$$

$$T_a = 38 \text{ °C.}$$

$$\sigma = 2.788 \cdot 10^{-8} \text{ Kcal/hrm}^2\text{°C.}$$

$$A_t = 58.64 \text{ m}^2.$$

$$\iota_t = 0.60.$$

$$\Sigma_s = 0.90.$$

$$T_s = 39\text{°C.}$$

$$\Sigma_a = 0.60.$$

$$T_a = 40\text{°C.}$$

$$C_p = 0.2376 \text{ Kcal/kg.}$$

$$\text{CFM} = 5.4 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$V = 65.70 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

$$A_g = 1.22 \text{ m}^2.$$

$$\text{E.T.} = 53.26 \text{ Kg/hr.}$$

Sustituyendo los datos en la fórmula y despejando T_i ;

$$T_i = (\alpha_s A_s \iota I + t_a(UA_c + 60C_p (\text{CFM}/V)) - \sigma A_t \iota_t (\Sigma_s T_s^4 - \Sigma_a T_s^4) - 5400A_g(\text{E.T.})) / (UA_c + 60C_p (\text{CFM}/V))$$

$$T_i = 31.20\text{°C}$$

CAPÍTULO 10

MANUAL DE OPERACIÓN

10.1. ORGANIZACIÓN DEL ARRANQUE

a) Grupo técnico de operación:

- 1 Ingeniero de operación, encargado de los dos turnos.**
- 2 Técnicos de operación.**
- 2 Empleados de operación no técnica.**

b) Grupo de administración de la planta:

- 1 Gerente de planta**
- 1 Asistente adjunto**
- 1 Secretaria**

c) Grupo de mantenimiento:

- 1 Ingeniero de mantenimiento**
- 1 Montador de máquinas**
- 1 Montador de tuberías y soldador**
- 1 Electricista (cuando se requiera)**

d) Grupo de laboratorio:

1 Químico analista

1 Empleado no técnico

Estos grupos, deben trabajar como un equipo y las líneas de comunicación, responsabilidad y autoridad deben ser establecidas temprano, con una persona, el ingeniero o jefe de operación firmemente colocado al mando. Aun cuando el grupo de construcción no es una parte del arranque, se encuentra sin embargo, estrechamente asociado con la etapa inicial del arranque y las fases finales de trabajo de construcción requerirán de cooperación entre el grupo de construcción y el equipo de arranque, para evitar interferencias que ocasionen retardos.

10.2. INFORMACIÓN NECESARIA.

Se tendrán varios estantes donde se contará con un volumen de proceso, un expediente de datos de ingeniería, un volumen de distribución de la planta, instrucciones de operación, volumen de procedimientos analíticos, procedimientos y formas de cálculo, además se contará con un sistema de recopilación de información, incluyendo un programa de computadoras en el cual los datos de la planta pueden ser alimentados para su evaluación.

10.3. ENTRENAMIENTO DE PERSONAL.

Se dará entrenamiento básico a empleados nuevos y entrenamiento específico sobre el trabajo tanto del personal nuevo como del experimentado; desarrollado en etapas tales como instrucción general en el salón de clase, instrucciones sobre la planta y entrenamiento real dentro de la planta durante las funciones de prueba y preoperación. Además se dará entrenamiento al personal de laboratorio y personal de mantenimiento.

10.4. LABORES PREOPERACIONALES.

Se efectuarán estas pruebas antes de que la planta sea puesta en operación.

1. Prueba a presión. Que consiste en evaluar tuberías, y equipo para su resistencia mecánica, así como lo adecuado de sus juntas.
2. Prueba en seco. Que consiste en evaluar el funcionamiento de equipo, bombas, etc.
3. Prueba dinámica en circuito cerrado con fluidos seguros. Incluye la operación del equipo o sistemas con aire, agua, gases inertes o fluidos similares.
4. Prueba con fluidos del proceso. Consiste en evaluar el equipo a las temperaturas y presiones de diseño.

10.5. ARRANQUE.

a) Parcial

Equipo de ósmosis inversa: Se arranca la bomba L-120 para alimentar la corriente 01, y al llegar esta corriente se acciona la válvula K-151 la cual alimenta determinada cantidad de agua salobre al F-132 después de que se llena este tanque se acciona la válvula K-152 que da paso al H-140, H-150, F-151, de ahí se acciona la bomba L-111 para accionar el equipo P-110.

b) Emergencia.

Equipo de ósmosis inversa: Se cuenta con controladores de emergencia que hacen que se accione equipo auxiliar, los cuales se encuentran en la bomba L-120, en la bomba L-111 y la bomba L-112 principalmente.

Invernadero: Se cuenta como auxiliar del ventilador, la velocidad del viento que hacen que se accione dicho equipo.

Celdas fotovoltaicas: Se cuenta como auxiliar del generador eléctrico solar, la batería eléctrica que hace que se accione dicho equipo.

c) Total

Ósmosis inversa: Agua salobre es extraída del pozo, cuya cantidad está en función de la potencia necesaria para la cantidad de agua requerida en el proceso. Las bombas, por las características del fluido, serán centrífugas y de material resistente a la corrosión. El agua proveniente del pozo, previamente se deposita en un tanque de almacenamiento para garantizar el gasto a la planta. Del tanque de almacenamiento se enviará el agua salobre a los filtros de arena y carbón activado. Enseguida el agua producto de la filtración se envía a los módulos de ósmosis inversa de donde salen dos corrientes, una de agua sobresaturada y otra que es el agua producto o agua potable que se envía a un tanque de almacenamiento donde se le adicionará cloro cada 3 minutos.

Invernadero: La corriente 09 se almacena en el tanque F-160, mediante un controlador se acciona la bomba L-211 que hace que se mande un flujo determinado de la 09 para alimentar la pared húmeda y riego de las plantas.

Celdas fotovoltaicas: Partiendo de dispositivos P-310, se convierte la radiación solar en electricidad continua, la energía producida durante las horas en que el módulo está iluminado por la luz solar se acumula en el X-330 para su empleo durante la noche o en días nublados. El X-330 es el que otorga la autonomía de funcionamiento al sistema de generación. Cuando se desea alimentar equipos de corrientes alternas en 220 volts, es necesario instalar además, entre el X-333 y el mismo, un X-340.

10.6. PARO

a) Parcial

Equipo de ósmosis inversa: Se para la bomba L-120, L-111, L-112. Se cierra la válvula K-151.

b) Emergencia

Equipo de ósmosis inversa: Se cuenta con controladores de emergencia que hacen que se detenga el equipo auxiliar.

Celdas fotovoltaicas: Se cuenta con interruptores montados en el tablero K-331 los cuales se accionan cuando hay variación inadecuada del voltaje.

c) Total

Invernadero: Mediante un controlador se detiene la bomba L-211, cuando el tanque se encuentre a su máxima capacidad.

Celdas fotovoltaicas: Se bajan un interruptor en el K-331 para cortar el paso de corriente hacia los equipos.

10.7. FALLAS COMUNES DEL EQUIPO

Bombas: fallas de los sellos y empaques.

Válvulas: fallas por desgaste.

Clorinador: fallas de los sellos, y requieren un paro de la planta para su reparación, si las fugas se convierten en serias.

Tuberías: fugas por corrosión y golpes.

Tanques de almacenamiento: fugas por corrosión.

Filtro de arena: obstrucciones, las cuales por su magnitud requerirán un paro parcial o total de la planta.

Equipo de ósmosis inversa: fallas en los filtros.

Pared húmeda del invernadero: fallas por área de contacto, por desgaste, por falta de venteo.

Ventilador: fallas en la eficiencia del motor.

Controladores: fallas por incrustaciones, por calibración, etc.

CAPÍTULO 11

LOCALIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA.

11.1. LOCALIZACIÓN.

Para determinar la localización de la planta es necesario conocer varios puntos, que son claves para una buena selección del lugar y así hacer que el costo de ésta sea mínima.

Los puntos a seguir son:

- Disponibilidad de materia prima:

Como ya antes se mencionó que la materia prima más importante es el agua salada (para después por el proceso antes determinado obtener agua salobre y potable), por esta razón es más conveniente situar la planta cerca del mar. Para esto no se tendría limitaciones sobre la cantidad disponible ya que $\frac{3}{4}$ partes de la superficie terrestre esta conformada por agua. Al colocar la planta cerca del mar se tendría un costo menor en cuanto al gasto de transportación se refiere.

La búsqueda de nuevas fuentes de abasto de energía, principalmente renovables y limpias, es imprescindible para cualquier economía.

Por ejemplo, la energía proveniente del sol en la mayor parte del territorio nacional, su empleo resulta limpio, la tecnología para su uso es accesible, además de que existe un elevado desarrollo nacional y su costo de utilización es reducido. Los energéticos han sido en la historia de la humanidad un factor fundamental para el desarrollo económico y el bienestar colectivo.

No obstante, en la sociedad moderna la elevada dependencia de los hidrocarburos fósiles agravada por su duración finita y los complejos problemas de contaminación derivados de su explotación y uso, hacen que su reemplazo por fuentes de energía limpia y renovable sea una necesidad prioritaria. México al estar ubicado en el llamado "cinturón de máxima insolación mundial", es rico en energía solar. El valor promedio diario de incidencia de radiación solar es alrededor de 5.5 Kwh por metro cuadrado de superficie horizontal.

- Mano de obra.

Sonora, es uno de los estados que se está quedando en la rezaga por así decirlo, en cuestión de empleo, comparándolo con otros estados de la república. ¿Por qué sucede esto? La respuesta es sencilla y fácil de responder, la gran falta de agua que existe.

Muchas de las empresas ya no quieren invertir por esta causa, y prefieren irse a otros estados.

Entonces el poder contar con una planta como ésta ayudaría a producir el agua necesaria para abastecer parte de Bahía Kino y una pequeña parte sería destinada a contribuir para el riego de los cultivos en ambiente controlado.

- Factores gubernamentales: Impuestos locales y subsidios.

El costo de una empresa de tal magnitud requiere de muchos millones de dólares por lo que el costo de m^3 de agua se incrementa; y los costos de los cultivos en ambiente controlado se incrementan ligeramente ya que son vegetales que se van a estar produciendo en cualquier época del año.

Entonces para abaratar un poco, es necesario contar con subsidios por parte del gobierno o que parte de los impuestos de todos los trabajadores del gobierno ya sea federales o estatales, iniciativa privada y particular. Si el agua es indispensable para la vida humana, entonces existen muchas maneras de encontrar apoyo y éste sería uno de tantos.

Estos tipos de aspectos tienen mucho que ver en la selección del lugar de construcción ya que cada ciudad tiene diferentes necesidades.

- Factores sociales.

Uno de los factores importantes a considerar es el clima, porque todo el diseño se va a efectuar dependiendo de las condiciones climatológicas.

En Hermosillo, existe clima muy caluroso, y son pocos los días nublados en el año. Esto es un punto favorable ya que se utilizará la energía calorífica del sol para lograr obtener la energía necesaria (celdas fotovoltaicas) para hacer que el proceso funcione. Por lo tanto es conveniente colocar la planta en lugares donde la incidencia solar sea muy grande, como es el caso de Sonora.

- Otros aspectos de planeación global.

Aquí se tiene que definir el tamaño de la planta según las necesidades de la población teniendo en cuenta que cada año aumenta la población y que la ciudad crece en gran medida, y también no dejar a un lado la posibilidad de que en un momento dado se pueda diversificar. Por lo que es necesario estimar un poco más de terreno.

Las tendencias del mercado, se podrían mejorar si se colocan más invernaderos, ya que se tendría una producción más grande de hortalizas y lograr satisfacer parte de la población y captar un mercado más grande.

11.2. DATOS PRELIMINARES PARA LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

Todos los datos se investigaron teniendo en cuenta que la ubicación de la planta estará en la zona costera de Hermosillo.

- ✓ Dirección de los vientos dominantes: se logró percibir que los vientos cambian, según la hora del día y la estación.
- ✓ Velocidad máxima: 35 Km/hr a 60 Km/hr.
- ✓ Velocidad mínima: 0 a 10 Km/hr.
- ✓ Temperatura invierno (máxima): 18-30°C
- ✓ Temperatura invierno (mínima): 0-15°C
- ✓ Temperatura verano (máxima): 48°C
- ✓ Temperatura verano (mínima): 22°C
- ✓ Humedad relativa promedio: 40%
- ✓ Precipitación pluvial invierno: 11 mm.
- ✓ Precipitación pluvial verano: 14 mm.

11.3. PRUEBAS DE SUELO.

Como ya se mencionó la planta se situó en la costa de Hermosillo, donde se pudieron observar las condiciones del suelo, encontrando las siguientes características.

- ✓ Topografía
- ✓ Fangoso
- ✓ Arenosos
- ✓ Medanoso

En las cuales se encontraba arena suelta, por lo cual se deben hacer las siguientes pruebas: Compresibilidad, densidad, forma y tamaño de partícula, permeabilidad, plasticidad.

11.4. CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO.

Según las características, para arena compacta bien cementada y confinada es de 40 ton/m², suponiendo que se excavó cierta profundidad y limpieza del terreno.

11.5. SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE EDIFICIOS

Las necesidades de edificios de las plantas químicas son relativamente simples:

Edificios auxiliares

- a) Planta de fuerza
- b) Talleres
- c) Almacenes

Administración y personal

- a) Oficinas
- b) Comedor
- c) Centro médico y primeros auxilios
- d) Vestidores con armarios y regaderas

11.6. LISTADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, ACCESORIOS E INSTRUMENTOS

Los instrumentos así como los materiales de construcción se dan a continuación:

Controladores e indicación de nivel

Transmisores de nivel

Indicadores de presión

Sensores de flujo

Sensores de nivel

Indicador de concentración

Sensor de concentración

Indicadores de temperatura

Sensores de temperatura

Transmisores de flujo

Codos

Tees

Para construcción se requerirá:

Cemento

PTR blanco de plg.

Remache POP 5/32 plg.

Soldadura 6011 de 1/8 plg.

Solera de aluminio de 1x1/8 plg.

Cepillos de alambre de copas.

Cortadora de disco para metal.

Pistola para pintar.

Tinnher.

Cromato de zinc

Esmalte blanco

Vidrio para ventanas

Pintura

Armazones

Ladrillo

Madera

Grava

Arena

Yeso
Acero
Varilla
Etc.

11.7. PROGRAMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.

- ✓ Preparación de terreno 1 mes
- ✓ Edificios provisionales 1 mes
- ✓ Abastecimiento provisional de agua 1 semana
- ✓ Excavaciones 1 mes
- ✓ Instalación de servicios 3 meses
- ✓ Colocación del conduit para instalaciones eléctricas 1 semana
- ✓ Cimientos 1 mes
- ✓ Montaje de estructuras de acero 2 semanas
- ✓ Montaje de equipo principal 1 mes

CONCLUSIONES

- Se concluyó que la tecnología para la producción de agua potable a partir de agua de mar resultó ser la más económica, en las zonas costeras y/o desérticas.
- En el proceso utilizado se proponen filtros de arena y carbón activado. Se debe tener en cuenta los retrolavados continuos en los filtros, ya que fácilmente existe saturación, por lo tanto la eficiencia es muy baja.
- Por las dimensiones que se tienen de cada parte del proceso, se puede considerar como planta piloto, esto significa un costo inicial alto, pero a medida que se pueda dimensionar comercialmente el costo disminuirá.
- El programa RODESING, proporciona información necesaria que permite calcular los requerimientos de potencia eléctrica, costo de operación y calidad del agua.
- El programa RODESING se puede utilizar para cualquier tipo de agua que se quiera tratar.
- El costo por metro cúbico de agua, mediante este programa puede considerarse algo elevado, por lo que es necesario encontrar sistemas que permitan de manera económica discretizar dicho costo.

- La operación de una planta de ósmosis inversa, aunada a un invernadero y utilizando energía solar, permitirá en un futuro no muy lejano su implementación como fuente productora de alimentos en la zona costera y en el desierto de Sonora.
- La desalinización del agua es evidente. Sonora está decayendo y se están perdiendo grandes zonas agrícolas, el sustento de miles de habitantes y consecuentemente la disminución de alimentos vegetales de alta calidad. Esta propuesta significaría la confiabilidad del agua utilizada, de las hortalizas obtenidas y sobre todo tener en cuenta que no se tendría un impacto negativo hacia el medio ambiente.
- El invernadero no se debe considerar un medio de producción limitada a especialistas y técnicos.
- El costo inicial para la construcción de un invernadero es alto, la producción esperada es grande y el riesgo económico es mayor, por lo que se deben de tomar en cuenta todos los factores que puedan provocar un mal funcionamiento.
- Es bueno la realización de un balance térmico dentro del invernadero, ya que permite establecer la temperatura de interior, conociendo las características del material de construcción, la forma del invernadero y las características ambientales.

- Sonora está en una zona geográfica que resulta atractiva desde el punto de vista de disponibilidad del recurso solar. Algunos estudios han cuantificado con mayor detalle los niveles de insolación. La desventaja está en que los diferentes métodos que se utilizan para el aprovechamiento de la energía solar están en proceso de investigación.
- Dicha propuesta generará varios empleos, en forma directa e indirecta, mejorará las relaciones de las poblaciones cercanas a dicha planta y reactivará la economía en zonas costeras.
- El gran litoral de Sonora, es un potencial económico para el desarrollo de sistemas como el que aquí se propone.
- En la propuesta, se realizaría un trabajo interdisciplinario de varias áreas del conocimiento, mejorando las relaciones científicas, tecnológicas y profesionales.

RECOMENDACIONES

- El material utilizado para la tubería deberá considerarse de acero inoxidable, para evitar la corrosión por el alto contenido de sales que contiene el agua de mar.
- Buscar otras fuentes de energías renovables.
- Diversificar los cultivos.
- Formar un banco de datos de temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco en zonas costeras y desérticas.
- Realizar estudios de corrosión de materiales de construcción.
- Desarrollar plantas piloto del sistema propuesto en puntos estratégicos del litoral Sonorense.
- Interesar a otras áreas de la Universidad de sonora, para trabajos en la propuesta.
- Interesar a agricultores que ya han tenido alguna experiencia en la producción de ambiente controlado.
- Darle difusión al sistema que se propone al interior y exterior de la Universidad.
- Se debe tender hacia la automatización para mejorar económicamente el proceso, (ver anexo IV, página 197).

BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION. "Tratamiento del agua por procesos de membrana, Principios, procesos y aplicaciones." Editorial McGrawHill, España.
2. AALPI. "Cultivo en invernadero." Editorial Mundi-Prensa, Madrid España.
3. AUSTIN T. George. "Manual de procesos químicos en la industria".
4. BERNAT, Juanos Carlos. "Invernaderos: construcción, manejo, rentabilidad". Editorial AEDOS, Barcelona España.
5. CONCHEIRO, Antonio Alfonso, Rodríguez Viqueira Luis. "Alternativas energéticas." Editorial Fondo de Cultura Económico, México D.F. primera edición.
6. COHÉN, Benard. "La energía nuclear, una opción para el futuro." Editorial Siglo XXI. España.
7. CRANE, "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías." Editorial McGraw-Hill. México D.F. Primera edición 1987.
8. DUKLET, E.A "Distillation plant data." Houston Research Institute.
9. FARIÑAS, Iglesias Manuel. "Ósmosis inversa, fundamentos, tecnología y aplicaciones." Editorial McGraw-Hill.
10. KERMER N. Frank. "Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones" Editorial McGraw-Hill.
11. KERN, DONALD, AMBROSSI MARINO NICOLAS. "Procesos de transferencia de calor". Editorial Continental. México 1965.
12. MONTGOMERY. "Energía solar, selección de equipo, instalación y aprovechamiento." Editorial Limusa. México.
13. OTHMER, KIRK "Enciclopedia de Tecnología Química". Editorial Limusa, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores, Balderas 95. México, D.F.
14. PERRY, Roberto H "Manual del Ingeniero Químico." Editorial McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A. de C.V. tercera edición 1992.

15. POPKIN, Roy. "Desalación, agua para el futuro." Editorial Letras, S.A de C.V.
16. RAU, Hans, "Energía solar, aplicaciones prácticas." Editorial Marco. España.
17. ROBERT, Mott "Mecánica de fluidos aplicada." Editorial Pearson. México.
18. SPLIEGLER, K.S., "Salt water purification." Editorial Wiley.
19. TREYBAL, E. ROBERT. "Operaciones de Transferencia de masa". Editorial McGrawHill Segunda edición. 1988.
20. TRUJILLO A Marcela Alejandra y Navarro Esquer Francisco. "Propuesta de diseño de sistemas para desalación de agua de mar (tesis)." Departamento de ingeniería química y metalurgia, Universidad de Sonora.
21. ZOILO, Cermeño. "Cultivo de hortalizas en invernaderos." Editorial Aedos. España.

DIRECCIONES DE INTERNET

<http://www.sercobe.es/espejo/TutorialesGenéricos/Energía/energíanuclear.htm>

<http://www.iter.rcanaria.es/desaladora.html>

http://www.tpagro.com/plástico_para_invernadero.htm

<http://www.cea.sagar.gob.mx>

<http://www.cepis.ops-oms.org>

<http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Facility/8776/pag02.htm>

<http://www.conae.gob.mx>

<http://www.conae.gob.mx/er/biomasa.htm>

<http://www.conae.gob.mx/er/eólica.htm>

<http://www.conae.gob.mx/er/energíasrenovables2.htm>

<http://www.conae.gob.mx/er/mareomotriz.htm>

<http://www.conae.gob.mx/er/fotovoltaica.htm>

http://www.indicadores_energéticos.htm

<http://www.inta.gob.ar/procadis/invernad.htm>

<http://www.nortecastilla.es/canalagro/datos/hortalizas/tomate.htm>

<http://www.postharvest.ucdavis.edu/producefacts/español/tomate.htm>

http://www.infragro.com/industria_auxiliar/control_climático_2.asp

ANEXOS

Anexo I.- Irradiación global media en la República Mexicana, datos en KWh/m²-dia

Estado	Ciudad	Núm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Sonora	Hilo	1	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9
Sonora	Guaymas	2	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6
Chihuahua	Chihuahua	3	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8
Coahuila	P.negra	4	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9
Coahuila	Saltillo	5	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.60	5.2	4.4	3.6	3.6
N. León	Monterrey	6	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0
San Luis Potosí	Río Verde	7	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3
San Luis Potosí	San Luis Potosí	8	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7
Zacatecas	Zacatecas	9	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1
Campeche	Campeche	10	4.0	4.1	5.5	5.8	5.5	4.9	4.9	5.1	4.7	4.4	4.2	3.7
Guanajuato	Guanajuat	11	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6
Colima	Colima	12	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9
Colima	Manzanillo	13	ND	ND	ND	ND	ND							
Aguascalie	Aguascalie	14	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0
Guerrero	Chilpancin	15	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8
Guerrero	Acapulco	16	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	4.9	5.2	5.4	5.0	4.8
Nayarit	Tepic	17	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8
Veracruz	Tuxpan	18	3.1	3.8	4.4	4.8	4.7	4.4	4.7	5.5	4.4	4.1	3.4	3.1
Veracruz	Córdoba	19	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.1
Veracruz	Orizaba	20	3.3	3.5	3.9	4.2	4.9	4.4	4.5	4.6	4.3	3.6	3.3	3.1

Veracruz	Jalapa	21	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.5	4.6	4.3	3.6	3.3	3.0
Veracruz	Veracruz	22	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6
Chiapas	Arriaga	23	4.1	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.3	5.1	4.7
Chiapas	Tuxtla	24	5.1	4.4	4.6	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	4.1	3.7
Chiapas	Scrístóbal	25	3.8	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7
Chiapas	Tapachula	26	4.0	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1
Q.Roo	Chetuma	27	5.4	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7
Q.Roo	Cozumel	28	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8
Oaxaca	Salina cruz	29	3.9	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.2	5.7
Oaxaca	Oaxaca	30	5.4	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4
Jalisco	Colotlán	31	4.9	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1
Jalisco	Lagos de Moreno	32	4.6	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0
Jalisco	Guadalaja	33	4.5	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0
Durango	Durango	34	4.6	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9
Tamaulipas	Soto la marina	35	4.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2
Tamaulipas	Tampico	36	3.4	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2
Yucatán	Progreso	37	3.3	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0
Yucatán	Valladolid	38	4.1	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5
Yucatán	Mérida	39	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.5	5.5	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8
B. Calif.	La paz	40	3.7	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2
B. Calif.	San Javier	41	4.4	4.6	5.6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7
B. Calif.	Mexicali	42	4.2	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.	3.9
Sinaloa	Mazatlán	43	4.1	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9
Sinaloa	Culiacán	44	3.9	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4
Querétaro	Querétaro	45	3.6	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4
D.F	Tacubaya	46	5.0	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8
México	Toluca	47	4.4	4.9	5.3	5.4	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	3.9

Tlaxcala	Tlaxcala	49	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.5	5.2	5.1	4.9	4.7	4.4
Puebla	Puebla	50	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4
Hidalgo	Pachuca	51	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.9	5.3	4.9	4.6	4.2
Michoacán	Morelia	52	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7

Anexo II.- Período de siembra y cosecha de los principales cultivos del Noroeste del País.

CULTIVO	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AJONJOLI												
ALFALFA												
ALGODÓN												
ARROZ												
CALABAZA												
CARTAMO												
CEBADA												
CHICHARO												
CHILE												
TOMATILLO												
FRIJOL												
GARBANZO												
MAIZ												
MELON												
PAPA												
PEPINO												
SANDIA												
SOYA												
SORGO												
TOMATE												
TRIGO												

Epoca de cosecha

Epoca de siembra

Anexo III. Temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco

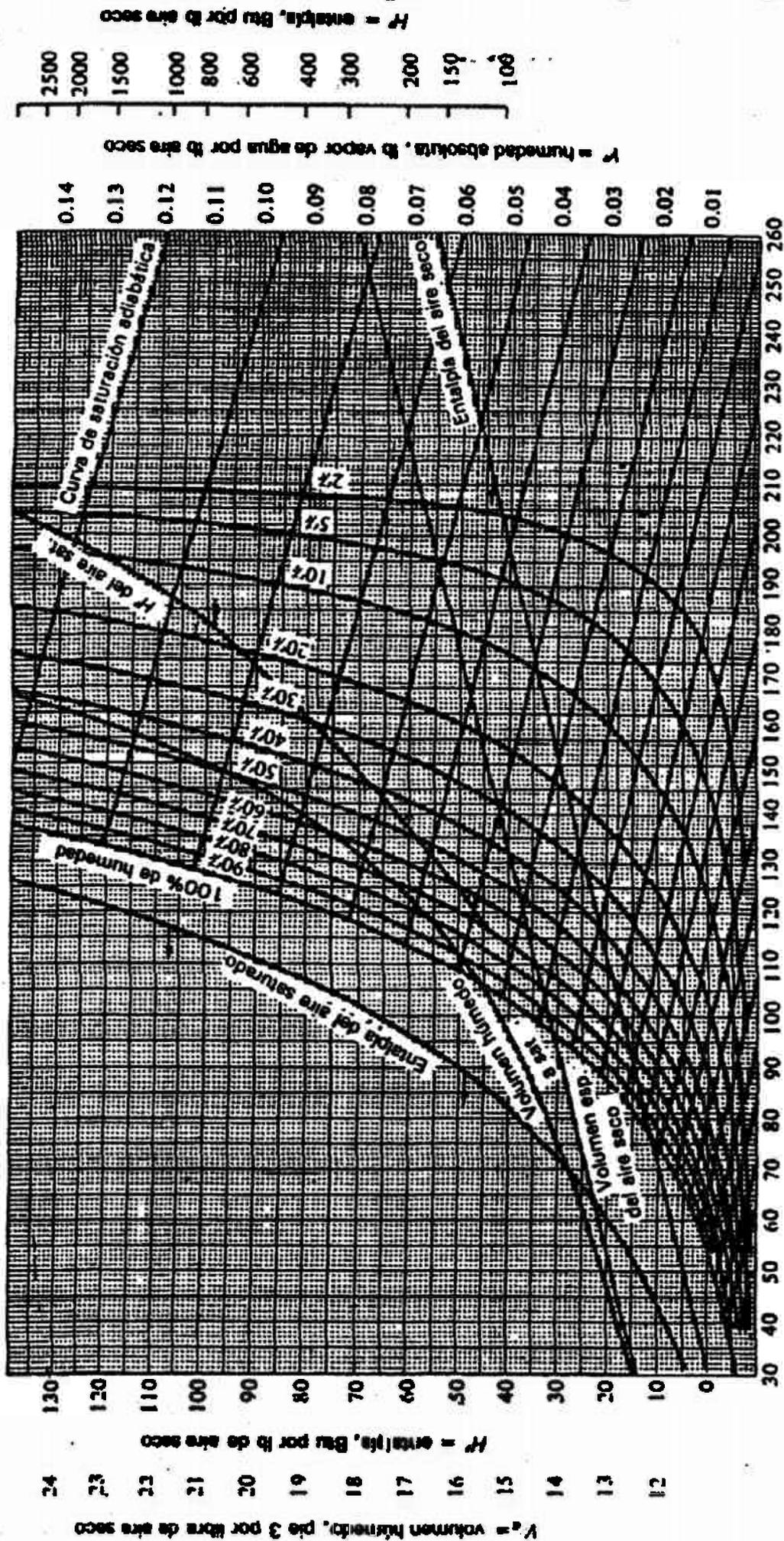
Temperatura aproximada de bulbo húmedo y bulbo seco para Bahía de Kino en época de verano.

hora	aire		Poco aire	
	Tbh °C	Tbs °C	Tbh °C	Tbs °C
9:00	32	21	32	22
10:00	33	23	32.9	22.5
11:00	34.05	24	34.9	25
12:00	36	25	35	25.5
13:00	37	25	35	25.5
14:00	38	25	36	26.5
15:00	38	26	38.5	27
16:00	36	26	37	26.5
17:00	36	25	37	25.5
18:00	35.8	24	36	24.5

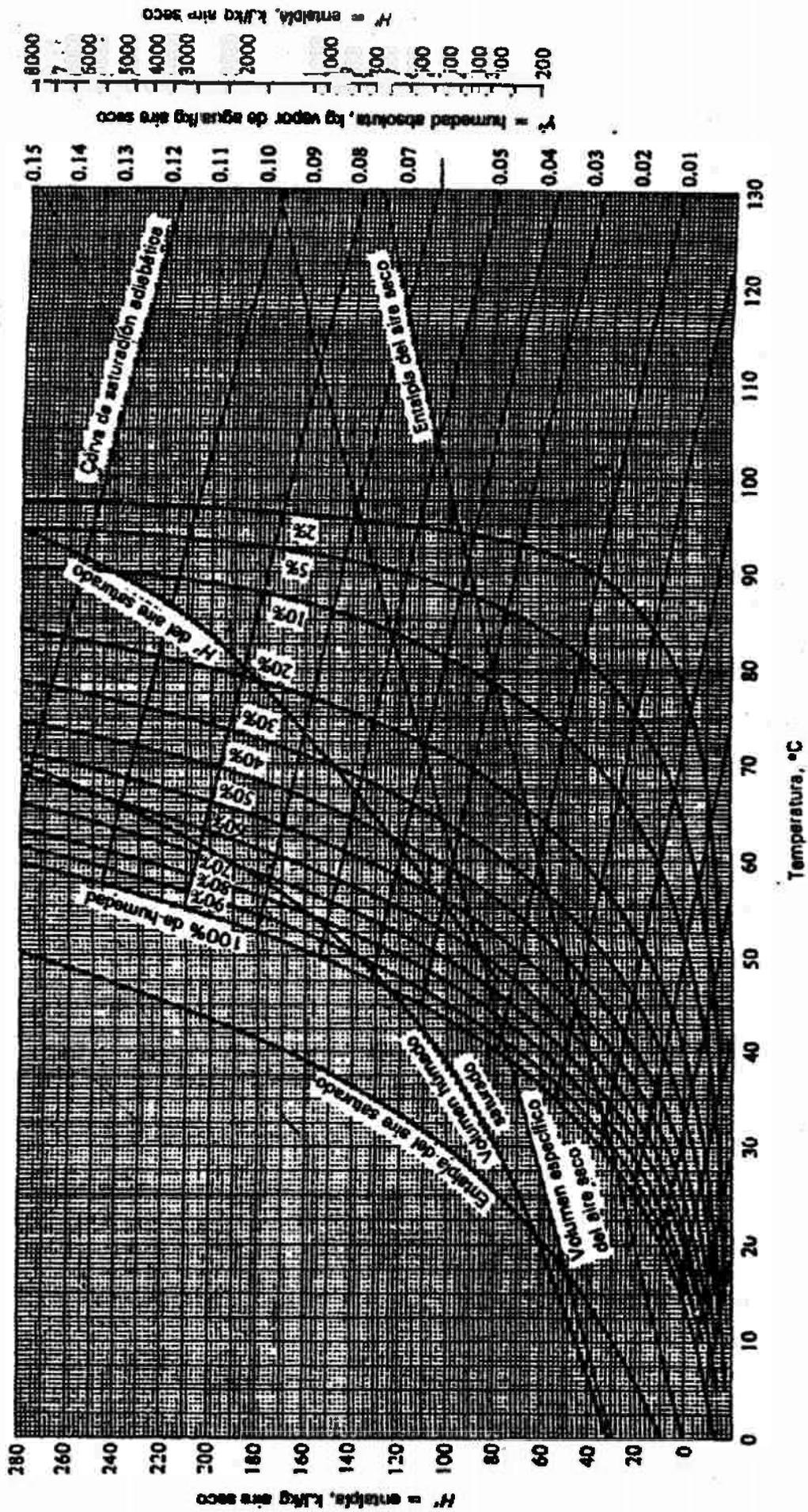
Temperatura aproximada de bulbo húmedo y bulbo seco para Bahía de Kino en época de invierno.

hora	aire		Poco aire	
	Tbh °C	Tbs °C	Tbh °C	Tbs °C
9:00	10	15	10	15
10:00	11	15	10	15
11:00	12.5	16.5	12.5	16.5
12:00	13.5	17	14.5	17
13:00	14.8	18	15	18.5
14:00	16	20	19	22.5
15:00	15.5	18.9	15.8	18.5
16:00	14	18.5	14.5	18.5
17:00	12	17.5	12	17.5
18:00	9	17	9	16.8

Anexo IV.- Carta Psicrométrica para el aire-vapor de agua. (unidades inglesas).



Anexo V.- Carta Psicrométrica para el aire - vapor de agua (unidades mks.)



Anexo.- VI Automatización del invernadero.

En el momento actual la mayor parte de los invernaderos no están automatizados o lo están en un nivel muy pequeño. Se puede decir que los invernaderos que se consideran bien instalados disponen de un programador que actúa sobre el riego, calefacción y ventilación, y que las señales que llegan al programador proviene de un sistema simple de sensores o temporizadores y que en general se trata de un sistema no inteligente y por ello pueden comparar los distintos valores proporcionados por los sensores y tomar decisiones. Aun así son de gran utilidad porque el cultivador, puede estar tranquilo frente a una helada nocturna o a una elevación excesiva de temperatura.

Otra posibilidad que está más en consonancia con el momento actual será el empleo de un pequeño ordenador que recibe las señales de los sensores y está programado para tomar decisiones y enviar órdenes mediante un mecanismo de relés a los diversos sistemas instalada.

Lo que interesa controlar y actuar sobre ellas para una buena marcha del invernadero: temperatura ambiente, humedad relativa, radiación, radiación ultravioleta y nivel de CO₂ en ppm.

Los mecanismos de que se puede disponer para actuar sobre los posibles problemas: calefacción, ventilación mediante ventiladores o aspiradores, ventilación mediante ventanas laterales o cenitales, humidificadores ambientales, sistema de riego, mallas de sombreado y depósito de CO₂.

Está claro si se piensa en automatizar todos estos sistemas deben poderse activar eléctricamente, lo cual significa que la calefacción estará alimentada con combustible líquido o gaseoso será eléctrica; sobre cremalleras o guías que se moverán a motor y que el sistema de riego, de humidificación y de abonado carbónico se activará mediante electroválvulas.

Una electroválvula es una válvula que en su posición de reposo puede estar normalmente cerrada y que al recibir una señal eléctrica se abre lentamente y que en el momento en que deje de recibir la señal volverá a la posición de cerrado también lentamente.

Respecto a los sensores, los más sencillos y económicos son los de temperatura. Suelen ser una termorresistencia, es decir, una resistencia cuyo valor varía con la temperatura. Las hay de dos tipos, las que aumentan la resistencia al aumentar la temperatura y las que la disminuye al aumentar la temperatura. Estas resistencias se colocan en un circuito "si o no", y en función del valor de esta resistencia el circuito permite o no el paso de la corriente que pondrá en marcha el sistema.

El sensor de humedad relativa puede ser de dos termorresistencias, una seca y otra húmeda.

El de CO₂ es un sensor de rayos infrarrojos y los sensores de iluminación, células fotoeléctricas.

Cada sensor lleva asociado un sistema electrónico, por lo que, a pesar de ser sistemas sencillos, conviene comprar un sistema completo a una casa especializada que posteriormente se ocupará del mantenimiento de los equipos.

El sistema que utiliza un programador será la automatización más sencilla, pues su función consiste únicamente en activar el sistema correspondiente cuando el sensor que controla la función dé un valor inferior o superior al que se haya prefijado en el programa.

A primera vista puede parecer suficiente que si baja la temperatura se ponga en marcha la calefacción, si tenemos exceso de temperatura se abra la ventilación.

El problema no es tan sencillo si se desea obtener óptimos de rentabilidad para la instalación, por ello se propone un ejemplo real. Se considera un invernadero con una gran masa vegetal y en primavera.

Durante la noche se ha aportado calefacción, por lo que se tiene una temperatura adecuada. A las siete de la mañana ha salido el sol y tenemos suficiente iluminación para que realice la fotosíntesis; por otra parte durante la noche la respiración de las plantas ha proporcionado CO₂ de tal forma que se tiene 400ppm, y la humedad relativa es del 80%. Se puede decir que las condiciones son buenas, pero a medida que aumenta la iluminación, porque el sol va subiendo en el horizonte, el invernadero se calienta excesivamente, disminuyendo rápidamente la humedad relativa y el número de ppm de

dióxido de carbono. La solución adoptada habitualmente por el cultivador de invernadero suele ser la apertura de la ventilación, con ello se renueva el aire, se estabiliza la humedad relativa al valor exterior, al igual que la temperatura y el nivel de CO_2 . En realidad es un solución, aunque seguro que no es la mayor rentabilidad no en general la más adecuada.

En realidad resulta complejo realizar manualmente estas funciones ya que, en realidad, las variables no son independientes sino que están interrelacionadas. Por lo que resulta muy ventajoso estudiar el programa con los valores adecuados de estos parámetro para el cultivo y dejar que posteriormente sea un ordenador quien reciba los datos de los sensores, los compare con la información que tiene el programa y dé las ordenes a los diversos sistemas para obtener los óptimos económicos y de funcionamiento.

Es natural que, cuando se hable de introducir un ordenador en el proceso, preocupe desde el punto de vista económico, cuando en realidad es lo más barato del invernadero. Se puede decir que el sistema de ventilación con ventanas movidas a motor vale más dinero que el sistema de automatización. Actualmente son muchas las empresas dedicadas a automatización que están estudiando programas para invernaderos y no debe olvidarse que los sistemas electrónicos son los únicos que, a medida que pasa el tiempo, su precio disminuye.