

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

### **PLANTA PILOTO POTABILIZADORA DE AGUA DE MAR CON ENERGÍA SOLAR**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**MONTOYA PÉREZ PAÚL FRANCISCO**

**polo.montoya@gmail.com**

**DIRECTOR: DOCTOR CARLOS QUEVEDO**

**carlos.quevedo@epn.edu.ec**

**Quito, FEBRERO 2009**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Paúl Francisco Montoya Pérez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Paúl Montoya Pérez**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paúl Francisco Montoya Pérez,  
bajo mi supervisión.

---

**Dr. Carlos Quevedo**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios siempre presente en mi vida. A todos mis amigos y Profesores de la Universidad que han sido durante la carrera un soporte indispensable para culminar mis estudios. A todos y cada uno de los compañeros de TIMEESCI por su profesionalismo y ayuda permanente. Un agradecimiento especial al Dr. Carlos Quevedo por su fundamental apoyo y confianza en el desarrollo de la investigación y al Ingeniero Jorge Escobar por su guía incondicional a lo largo de toda la carrera.

## **DEDICATORIA**

A Dios, sustento de mi fe, a mis Padres, incondicionales y amorosos, y a mi Patria que me recibió en su seno y a quien debo dar testimonio de mi desempeño profesional.

## CONTENIDO

CONTENIDO	1
TABLA DE FIGURAS	11
TABLA DE FOTOGRAFÍAS	13
RESUMEN	16
PRESENTACIÓN	18
1. PLANTA PILOTO POTABILIZADORA DE AGUA DE MAR CON ENERGÍA SOLAR	19
1.1 INTRODUCCIÓN	19
1.1.1 LA IMPORTANCIA DEL AGUA PURA	20
1.2 FUENTES DE AGUA	20
1.2.1 ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEOS	20
1.2.2 ABASTECIMIENTOS SUPERFICIALES	21
1.2.3 ABASTECIMIENTOS NUEVOS	22
1.3 MÉTODOS DE PURIFICACIÓN	22
1.3.1 AUTO PURIFICACIÓN Y REPOSO	23
1.3.2 AERACIÓN	24
1.3.3 FILTRACIÓN LENTA POR ARENA	25
1.3.4 ÓSMOSIS INVERSA	26
1.3.5 MEZCLADO, COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN	32
1.3.6 LA DESTILACIÓN	33
1.4 ABLANDAMIENTO	34
1.4.1 PRECIPITACIÓN	34
1.4.2 PERMUTACIÓN IÓNICA	34
1.5 CONTROL DE OLORES Y SABORES	35
1.5.1 PREVENCIÓN	35

1.6	LA DESTILACIÓN SOLAR	38
1.6.1	ANTECEDENTES HISTÓRICOS	39
1.6.2	MEDIDAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA DESTILACIÓN SOLAR	41
1.6.3	DESTILADORES SOLARES DE ESTANQUE	43
1.6.4	OTROS DESTILADORES SOLARES	45
2.	MODELO MATEMÁTICO	54
2.1	INTRODUCCIÓN	54
2.2	PROCESO DE ADICIÓN DE CALOR Y VAPORIZACIÓN DEL AGUA SALADA EN UN MÓDULO SOLAR PATENTADO.	54
2.2.1	CÁLCULOS DEL PROCESO	54
2.3	FLUJO DE VAPOR A TRAVÉS DE TUBERÍAS	56
2.3.1	CÁLCULO DEL PROCESO	56
2.4	CONDENSACIÓN DEL VAPOR LIBRE DE SAL EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO PARALELO.	60
2.4.1	CALCULO DEL PROCESO NIVEL DEL MAR	61
2.4.2	CALCULO DEL PROCESO PARA QUITO	63
2.4.3	OBSERVACIONES	64
3.	PRUEBAS REALIZADAS	65
3.1	CONSIDERACIONES	65
3.2	ALTERNATIVAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA PLANTA.	66
3.3	SENSOR DE NIVEL AUTOMÁTICO	67
3.4	JUSTIFICACIÓN TEÓRICA DE LA SIMULACIÓN DEL MODULO SOLAR CON UN QUEMADOR DE GAS PROPANO-BUTANO	67
3.4.1	JUSTIFICACIÓN	68

3.4.2	CONSIDERACIONES	68
3.4.3	CÁLCULOS REALIZADOS	68
3.4.4	OBSERVACIONES	73
3.5	CONCENTRACIÓN DE SAL EN EL AGUA	73
3.6	ALTERNATIVAS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA PLANTA.	74
3.6.1	ALTERNATIVA 1	74
3.6.2	ALTERNATIVA 2	84
3.6.3	ALTERNATIVA 3	86
3.6.4	ALTERNATIVA 4	91
3.6.5	ALTERNATIVA 5	94
3.6.6	ALTERNATIVA 6	98
3.6.7	CONCLUSIONES	101
4.	CONSTRUCCIÓN	103
4.1	INTRODUCCIÓN	103
4.2	PANELES SOLARES	103
4.3	CONEXIONES DEL EQUIPO	106
4.4	CONSIDERACIONES	114
5.	SEGUNDO PROTOCOLO DE PRUEBAS	115
5.1	NIVEL DE LLENADO	115
5.2	ANGULO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES	116
5.3	PRUEBA 1	116
5.3.1	RESULTADOS OBTENIDOS	117
5.3.2	OBSERVACIONES	118
5.3.3	CAMBIOS A EFECTUAR	120
5.4	PRUEBA 2	120



5.4.1	RESULTADOS OBTENIDOS	125
5.4.2	OBSERVACIONES	125
5.4.3	CAMBIOS A EFECTUARSE	125
5.5	PRUEBA 3	125
5.5.1	RESULTADOS OBTENIDOS	127
5.5.2	OBSERVACIONES	127
5.5.3	CAMBIOS A EFECTUARSE	127
5.6	PRUEBA 4	128
5.6.1	RESULTADOS OBTENIDOS	131
5.6.2	OBSERVACIONES	131
5.6.3	CAMBIOS A EFECTUARSE	131
5.7	PRUEBA 5	132
5.7.1	RESULTADOS OBTENIDOS	133
5.7.2	OBSERVACIONES	134
5.7.3	CAMBIOS A EFECTUARSE	134
5.8	VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN	134
5.8.1	OBSERVACIONES	134
5.9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
5.9.1	CONCLUSIONES	135
5.9.2	RECOMENDACIONES	136
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO	138
6.1	INTRODUCCIÓN	138
6.2	MATERIALES DE INVESTIGACIÓN	138
6.3	MATERIALES DEL EQUIPO	139
6.4	MANO DE OBRA DE INVESTIGACIÓN	141
6.4.1	DISEÑO E INVESTIGACIÓN	141

6.4.2	CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO	141
6.5	MANO DE OBRA DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO	142
6.5.1	SUPERVISIÓN E INSPECCIÓN	142
6.5.2	CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	142
6.6	COSTOS TOTALES	143
6.6.1	COSTO DE LA INVESTIGACIÓN	143
6.6.2	COSTOS DE UN EQUIPO NUEVO	143
6.6.3	COSTOS COMPLEMENTARIOS	144
6.6.4	PRECIO DE VENTA	146
6.7	EVALUACIÓN DEL BENEFICIO	146
6.8	OTROS PROVEEDORES	147
7.	BIBLIOGRAFÍA	148
7.1	VÍNCULOS DE INTERNET	148

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1-1 Proceso de filtración por arena _____	25
Figura 1-2 Esquema de funcionamiento de un purificador solar o eólico de ósmosis inversa _____	26
Figura 1-3 Proceso de destilación normal del agua _____	34
Figura 1-4 ALGAS QUE OBTURAN EN FILTROS _____	36
Figura 1-5 ALGAS QUE OCASIONAN OLORES Y SABORES _____	37
Figura 1-6 DESTILADOR SOLAR DE ESTANQUE PORTÁTIL _____	43
Figura 1-7 Corte esquemático de un destilador solar de estanque _____	44
Figura 1-8 Diagrama esquemático de una planta de destilación solar, con sus componentes principales _____	44
Figura 1-9 Unidad de compresión destilación que utiliza energía eléctrica de una central solar. _____	45
Figura 1-10 Unidad evaporador de etapas múltiples calentado con vapor obtenido de un colector solar concentrador _____	46
Figura 1-11 Evaporador de etapas múltiples calentado con vapor obtenido de un colector de planchas planas _____	47
Figura 1-12 Destilador de etapas múltiples con cubierta de vidrio y condensador evaporador de chapas de cobre _____	48
Figura 1-13 Batea evaporadora con cubierta de vidrio y superficies reflectoras _____	49
Figura 1-14 Destilador de plástico extruido con mecha negra para la evaporación y el enfriamiento _____	50
Figura 1-15 Destilador solar con bateas inclinadas _____	51
Figura 1-16 Destilador solar del tipo de mecha inclinada _____	52
Figura 1-17 Destilador solar experimental de evaporación rápida de varias etapas, puerto Peñasco, sonora, México. _____	53
Figura 3-1 Distribución de calor alrededor del tubo del módulo _____	71
Figura 3-2 Esquema de funcionamiento de alternativa 1 para el banco de pruebas con un quemador de GLP _____	82
Figura 3-3 Esquema de funcionamiento de alternativa 2 para el banco de pruebas con un quemador de GLP _____	85

Figura 3-4 Esquema de funcionamiento de alternativa 3 para el banco de pruebas con un quemador de GLP _____	88
Figura 3-5 Esquema de funcionamiento de alternativa 4 para el banco de pruebas con un quemador de GLP _____	93
Figura 3-6 Esquema de funcionamiento de la alternativa 5 para el banco de pruebas con un quemador de GLP _____	96
Figura 3-7 Esquema de funcionamiento de alternativa 6 para el banco de pruebas con un quemador de GLP _____	100
Figura 4-1 Esquema 3D del sensor de nivel y sus componentes _____	107
Figura 4-2 Esquema 3D de la conexión en la parte inferior de los paneles _____	108
Figura 4-3 Conexión en la parte inferior del panel izquierdo, detalle de los elementos conectados _____	1
Figura 4-4 Conexión inferior del panel derecho, detalle de los accesorios conectados _____	110
Figura 4-5 Conexión superior de los paneles, detalle de los elementos conectados _____	111
Figura 4-6 Conexión entre tanques de agua destilada y agua salada, detalle de los componentes _____	112
Figura 4-7 Vista lateral del equipo en 3 dimensiones _____	113
Figura 5-1 Circuito cerrado de un equipo fototérmico.- el agua caliente y fría están en contacto de modo que la caliente se mueve al tanque en la parte superior del equipo y la fría permanece en el panel, parte inferior del panel permitiendo que el calor se almacene en el tanque aislado. _____	118
Figura 5-2 Circuito de agua vapor en el equipo de destilación solar.- el nivel de llenado del panel permite que exista una zona de recalentamiento y al mismo tiempo impide que el agua caliente que no se ha evaporado pierda su energía con el ambiente por la parte superior del panel. _____	119
Figura 5-3 Tapón de bronce adaptado para sensor de nivel de electrodos. _____	120
Figura 5-4 Vista inferior de tapón para sensor de nivel de electrodos _____	121
Figura 5-5 Detalle del tapón y electrodos de sensor de nivel _____	121
Figura 6-1 Esquema ilustrativo de los elementos que se incluyen en los costos complementarios _____	145

## TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1 Vista superior del condensador de cobre, ingreso de 1 pulgada, salida de 1/2 pulgada	60
Fotografía 2-2 Proceso de soldadura de plata en el condensador de tubos paralelos	61
Fotografía 3-1 Censor de nivel de electrodos FLRP301	67
Fotografía 3-2 Tramo de tubería expuesto a la convección	71
Fotografía 3-3 Primera alternativa para el simulador del módulo solar con un quemador de GLP	75
Fotografía 3-4 Tanque fuente de agua salada con termómetro a la entrada	76
Fotografía 3-5 Serpentín de condensación de vapor hecho de cobre (vista superior del tanque fuente de agua salada)	76
Fotografía 3-6 Tanque fuente de agua salada, vista frontal	77
Fotografía 3-7 Tanque de almacenamiento y control de nivel	78
Fotografía 3-8 Tanque de almacenamiento de agua destilada de acero inoxidable con visor de nivel	79
Fotografía 3-9 Simulador de módulo solar con quemador de GLP	80
Fotografía 3-10 Vista superior del quemador de GLP	81
Fotografía 3-11 Electroválvula y conexión al tanque de almacenamiento y control de nivel	81
Fotografía 3-12 Vista lateral de alternativa 3 para el banco de pruebas con un quemador de GLP	89
Fotografía 3-13 arreglo de tubos paralelos de tubería de cobre de 1 ½ pulgadas.	89
Fotografía 3-14 Arreglo de tubos paralelos de cobre, aislamiento interno	89
Fotografía 3-15 Arreglo de tubos paralelos con aislamiento externo y conexión a condensador de vapor.	90
Fotografía 3-16 Tanque fuente de agua salada, completamente aislado con recipiente plástico transparente	97
Fotografía 3-17 Tubo de cobre de 2" adaptado para condensar el vapor salado	98

Fotografía 3-18 Tubo de vidrio resistente al calor para controlar el nivel de llenado del módulo solar_____	101
Fotografía 3-19 Tubo de 2 pulgadas para expansión de vapor y separación de vapor salado y vapor libre de sal_____	101
Fotografía 4-1 Extremo del panel solar_____	105
Fotografía 4-2 Vista frontal del módulo solar_____	105
Fotografía 4-3 Vista en perspectiva del módulo solar_____	106
Fotografía 4-4 Recipiente de electrodos para el sensor de nivel_____	106
Fotografía 4-5 Conexión inferior a los paneles completamente aislada, con electro válvula._____	108
Fotografía 4-6 Conexión inferior de panel izquierdo con un tapon inferior para sacar la sal y una llave para vaciar los paneles_____	109
Fotografía 4-7 Conexión inferior del panel derecho con un tapon para desalojar la sal y una llave para vaciar el panel._____	110
Fotografía 4-8 Conexión superior de los paneles con accesorios de acero inoxidable, tubo de expansión, termómetro y unión al serpentín de condensación._____	111
Fotografía 5-1 Vista posterior del equipo con el envase plástico para el agua destilada_____	117
Fotografía 5-2 Vista frontal del equipo_____	117
Fotografía 5-3 Tapón con electrodos para sensor de nivel instalado sobre el panel_____	122
Fotografía 5-4 Tanque de acero inoxidable para recolectar el agua destilada_____	122
Fotografía 5-5 Tanque de acero inoxidable conectado al equipo_____	123
Fotografía 5-6 Sensor de nivel conectado a la parte superior del panel._____	124
Fotografía 5-7 Electroválvula conectada a paneles y sensor de nivel_____	124
Fotografía 5-8 Sensor de nivel ubicado en el extremo inferior del panel_____	126
Fotografía 5-9 Tubo vertical aislado para electrodos de sensor de nivel_____	126
Fotografía 5-10 vista superior del tubo plástico conectado para el sensor de nivel_____	128
Fotografía 5-11 sensor de nivel modificado con tubo plástico para evitar desbordamiento_____	129

Fotografía 5-12 Torre metálica en forma de columna y tanque reserva de agua salada montado para pruebas_____	130
Fotografía 5-13 Vista superior del tanque de reserva con el condensador de cobre, después de haber recibido mantenimiento_____	132
Fotografía 5-14 Vista exterior del tanque de acero inoxidable para agua salada, después de su mantenimiento_____	132
Fotografía 5-15 Extensión del tubo de expansión del vapor, vista lateral_____	133
Fotografía 5-16 vista frontal del tubo de expansión extendido y el tanque de agua salada después del mantenimiento_____	133

## RESUMEN

El Proyecto contempla el diseño y construcción de una planta piloto para la potabilización de agua de mar mediante destilación utilizando energía solar. En la actualidad la demanda de fuentes de agua potable apta para consumo humano es muy grande sobre todo en las zonas costeras de nuestro país debido a la falta de redes que alcancen las zonas alejadas de las grandes ciudades, y la falta de recursos para implementarlas, entonces es necesario crear una alternativa como es la utilización de energías renovables para reducir costos y llegar a zonas alejadas, no solo por la salud de los beneficiarios, sino también por el avance tecnológico que representaría para nuestro país.

La falta de soluciones técnicas y eficaces para el problema planteado hace muy necesario el aporte que a través de la Escuela Politécnica Nacional hará este proyecto de titulación dando como resultado además la mejora en las condiciones de vida de las personas beneficiadas.

### OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### *Objetivo General:*

Diseñar y construir una planta piloto potabilizadora de agua de mar a flujo continuo que trabaje con energía solar.

#### *Objetivos específicos:*

- Realizar un estudio teórico sobre los procesos de destilación de agua y las condiciones de salinidad que presentan nuestras aguas costeras aptas para este proceso
- Construir un prototipo de planta piloto que permita la efectiva potabilización del agua de mar.

### JUSTIFICACIÓN

Crear una alternativa efectiva y accesible para la obtención de agua de mar en zonas costeras mediante el uso de energía solar, como respuesta a las



necesidades del país y el mundo de encontrar nuevas formas de utilizar las energías renovables.

#### MARCO DE REFERENCIA

##### *a) Teórico*

- Mecánica de Fluidos
- turbo máquinas
- Electrónica
- Transferencia de calor
- Termodinámica

##### *b) Marco Conceptual*

Para la elaboración de este proyecto se tomará como base a la Ingeniería Mecánica, en especial a lo que es referente a mecánica de fluidos; y se relacionará con la Ingeniería electrónica a través de la creación de un circuito que controle el sistema de modo automático.

#### HIPÓTESIS DE TRABAJO

El equipo será diseñado y construido de tal forma que permita obtener agua potable a partir de agua de mar a flujo constante, el equipo requerirá de un sistema de control electrónico para su funcionamiento continuo, así como un sistema que permita realizar mantenimiento cada período de tiempo.

## PRESENTACIÓN

Se ha realizado una investigación extensa y suficiente para determinar un sistema funcional para potabilizar agua de mar a través del proceso de destilación, utilizando únicamente energía solar como fuente de energía, del mismo modo aclárese que como todo proyecto de investigación no es definitivo, y por tanto susceptible de mejorarse e implementen nuevos elementos que incrementen su eficiencia y efectividad. Para enfrentar los problemas provocados por la acción agresiva del agua salada sobre todo elemento en general, se escogieron accesorios y materiales como acero inoxidable, cobre y plástico que presentan una importante resistencia a la acción del agua salada en las áreas que tienen contacto con la misma, se utilizo además materiales aislantes como madera, plástico y polietileno expandido para el aislamiento también aluminio y acero negro para las partes estructurales del equipo, el equipo cuenta con paneles solares de una eficiencia del 82 %, y una eficiencia del equipo del 71 %, lo que nos da como resultado una eficiencia global del 58 %, recordemos además que los paneles solares promedio tienen una eficiencia del 40 % lo que sería una eficiencia global del 28 %, el sistema de realimentación de energía en el condensador, contempla una ventaja importante del diseño propuesto.

# CAPITULO I

---

## 1. PLANTA PILOTO POTABILIZADORA DE AGUA DE MAR CON ENERGÍA SOLAR

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene los resultados y explicaciones de las alternativas ensayadas para la construcción del banco de pruebas previa la construcción de la planta piloto, así también los resultados obtenidos con la planta piloto y el respectivo análisis económico.

El objetivo del presente proyecto es encontrar la alternativa más efectiva de destilación mediante la utilización de energía solar para optimizarla posteriormente en el proceso de pruebas con la alternativa elegida.

En el presente trabajo nos detenemos, conscientemente, en los temas de potabilización general del agua, proveniente de diferentes fuentes de abastecimiento del líquido vital.

Nos detenemos también en la exposición y explicación de los múltiples proyectos que, históricamente, intentaron y se aplicaron, efectivamente, para potabilizar el agua por diferentes métodos y sobre todo por destilación con Energía Solar.

Decidimos detenernos un poco en lo indicado anteriormente, puesto que el presente trabajo pretende exponer un nuevo concepto y aplicación óptima de la Energía Solar Foto-térmica, como se podrá ver en los capítulos correspondientes.

### **1.1.1 LA IMPORTANCIA DEL AGUA PURA**

Solamente el oxígeno es más esencial que el agua en sostener la vida de todos los organismos vivos. Seres humanos pueden vivir por varias semanas sin alimento, pero apenas algunos días sin el agua. Esto no nos sorprende cuando consideramos que casi 3/4 de nuestro cuerpo está compuesto de agua. Porque el agua es tan esencial al sano mantenimiento de nuestros huesos, tejidos finos y músculos. Es importante que bebamos agua pura y libre de contaminantes a como sea posible.

## **1.2 FUENTES DE AGUA**

El agua circula indefinidamente a través de su interminable ciclo hidrológico de precipitación de lluvia, escurrimiento, infiltración, retención o almacenamiento, evaporación, precipitación, y así sucesivamente. Se entiende por fuente de abastecimiento de agua aquel punto o fase del ciclo natural del cual se desvía o aparta el agua, temporalmente, para ser usada, regresando finalmente a la naturaleza. Para nuestra utilización recurrimos tanto a los *abastecimientos subterráneos como a los superficiales*. La manera en que administramos el agua determina que las fuentes naturales se renueven o no, los estragos causados en ciertas zonas del mundo por la no renovación de las fuentes naturales de agua, demuestra como la desperdiciamos y descuidamos.

La consecuencia grave que ha conllevado nuestra conducta es el de convertir el agua en un recurso no renovable, cuando en la naturaleza se purifica y renueva sin problemas.

### **1.2.1 ABASTECIMIENTOS SUBTERRÁNEOS**

Son abastecimientos para pequeñas poblaciones que por lo general presentan una mayor dureza, sin embargo estas aguas requieren de un menor tratamiento por que se purifican en las capas de los suelos; esto no quiere decir que siempre

el agua será dura o que estará purificada, todo dependerá de la configuración del suelo. Existen tres tipos de abastecimientos subterráneos:

#### *1.2.1.1 Pozos poco profundos*

Hasta 30 m de profundidad y entre 1.2 y 1.80 m de diámetro.

#### *1.2.1.2 Pozos profundos*

Mayores a 30 m de profundidad, 15 a 30 cm., de diámetro, requieren de un sistema de bombeo para extraer el agua.

#### *1.2.1.3 Manantiales*

Son abastecimientos que aparecen en la superficie a través de rocas, muchos de los cuales no se puede determinar su procedencia se deben proteger de los contaminantes externos y siempre deben estar tapados para que el agua superficial no ingrese al manantial.

### **1.2.2 ABASTECIMIENTOS SUPERFICIALES**

En general, los manantiales ofrecen agua bastante purificada, sin embargo se afectan fácilmente por la naturaleza o por acción del hombre, las fuentes superficiales de agua son por lo general las más utilizadas en las grandes ciudades, los ríos con riberas habitadas suelen estar contaminados por la acción del hombre, los lagos, represas y embalses suelen tener una mejor calidad de agua por sedimentación.

#### *1.2.2.1 Ríos*

La turbiedad y la contaminación varían mucho de un día al otro, así como también la temperatura en épocas de verano, hace poco deseable el agua de los ríos, sin

embargo requiere menos infraestructura y permisos para disponer del agua.

#### *1.2.2.2 Lagos naturales*

Los lagos ofrecen una de las mejores fuentes de agua, por su disponibilidad casi ilimitada y por su calidad, la cual debe estudiarse ñeque parte de los lagos se debe tomar, así también su temperatura no varía mayormente en todo el año.

#### *1.2.2.3 Embalses*

Al contener el caudal de un río en una represa conseguimos los beneficios de la sedimentación, sin embargo esto puede producir olores y sabores extraños por la presencia de algas.

### **1.2.3 ABASTECIMIENTOS NUEVOS**

Aparte de los abastecimientos de agua naturales y las plantas de tratamiento convencionales para reutilizar el agua. En zonas carentes de estos abastecimientos el alto costo de transportar agua potable ha buscado alternativas como son la destilación de agua sobre todo para liberarla de sal, su bajo volumen de producción los hace aún costosos y tal vez injustificados, problema al cual la tesis presente da una alternativa. Creando así una nueva fuente de suministro de agua con un mínimo de contaminación ambiental y lo que es más importante proveyendo de una mejor calidad de vida a estas regiones.

## **1.3 MÉTODOS DE PURIFICACIÓN**

Los métodos de purificación varían grandemente de acuerdo a su uso, es así que el agua para consumo humano no debe contener ningún tipo de impureza suspendida o disuelta que afecte su

aparición, aún más importante se deben eliminar todo tipo de impurezas no visibles que resulten peligrosas para la salud del consumidor, como bacterias.

El agua para usos industriales requiere un tratamiento especial de acuerdo a como se la emplee, esto puede ser para generar vapor para enfriamiento, para limpieza etc. El presente trabajo dedica su objetivo a producir agua para consumo doméstico.

### **1.3.1 AUTO PURIFICACIÓN Y REPOSO**

La naturaleza provee cierto grado de auto purificación mediante los procesos de sedimentación, filtración y aeración, para cada caso suele afirmarse que tras doce kilómetros de recorrido el agua se habrá purificado, cosa que no es cierta debido a que el tiempo en todos los casos es el factor más importante, pasando por la concentración de bacterias, luz solar, temperatura y la cantidad de oxígeno. Contrario a lo que se piensa si la velocidad de flujo es muy alta requerirá mucho más tiempo y distancia para purificarse, así mismo la mayor cantidad de oxígeno no acelera el proceso de purificación.

Se puede identificar algunas zonas en la etapa de purificación del agua como son la "zona de contaminación reciente", se verifican cambios biológicos como la desaparición gradual de plantas verdes.

Siguiendo corriente abajo esta la "zona de descomposición activa", donde se verifica presencia de gusanillos rojos que hunden su extremo inferior en el lodo negro del fondo, sin existe oxígeno suficiente no se producirán olores, las caídas de agua y las corrientes de aire ayudan a proveer de oxígeno para la purificación pero el incrementar este no acelera el proceso. La no existencia de suficiente oxígeno produce un estado del agua lechosa, gris o negra, acompañada de olores desagradables y gases.

Con el tiempo se puede producir humus útil para cultivos, así mismo hay mayor presencia de nitratos que recupera el oxígeno del agua y nuevamente plantas verdes vuelven aparecer esta se conoce como la "zona de recuperación".

En los lagos y embalses se verifican de igual manera estas zonas, esto aunque no estén bien delimitadas las zonas, pueden presentarse en estos casos vegetación y olores desagradables, dependiendo de la concentración de bacterias y micro organismos.

A pesar de todo este proceso, se requiere en muchos casos de un proceso adicional de purificación, pues esto no asegura que sea apta para el consumo.

### **1.3.2 AERACIÓN**

Provee tres beneficios:

- Introduce oxígeno al agua
- Permite el escape de los gases disueltos como el bióxido de carbono y el y el ácido sulfhídrico
- Elimina sustancias volátiles que causan mal olor y sabor.

La introducción el oxígeno es la primera etapa del proceso de eliminación de hierro y manganeso por filtración. Al eliminar el bióxido de carbono se logra reducir al mínimo el efecto corrosivo del agua. Debido a la presencia de gas en la atmósfera es difícil reducir su concentración a 5 ppm, de igual manera los olores y sabores se eliminan levemente, y se requiere siempre un proceso complementario de purificación.



Se puede realizar de distintas maneras como la pulverización, o la descargarla por una tubería elevada que la lleva por una serie de placas de las que caiga agua a través de pequeños agujeros, a veces con pedazos de piedra triturada del fondo o derramando por los bordes.

Si la concentración de oxígeno disuelto es de 7 a 10 ppm, la del bióxido de carbono es de 3 a 5 ppm, y no hay ácido sulfhídrico, el proceso de aeración se considera exitoso.

### 1.3.3 FILTRACIÓN LENTA POR ARENA

La filtración lenta por arena tiene una limitación de 10 a 30 ppm para poder ser eliminada, así mismo la coloración se puede reducir en un 40 %. La producción es baja, puede llegar hasta unos 47 000 m<sup>3</sup> por hectárea de lecho de arena. El gráfico a continuación nos muestra un esquema del proceso.

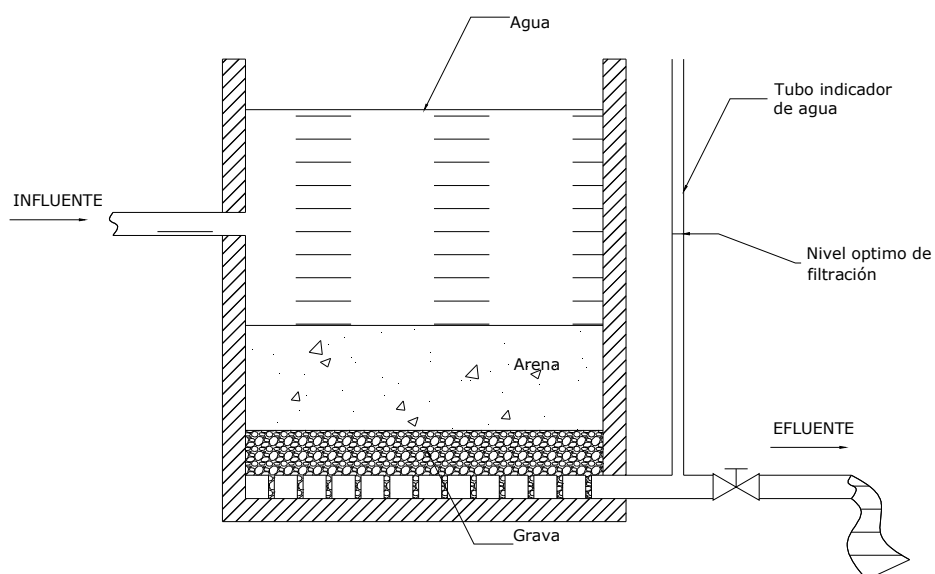


Figura 1-1 Proceso de filtración por arena

Es importante recordar que si el nivel de agua del tubo indicador es muy alto no está funcionando el filtro y si es muy bajo el filtro necesita limpieza, así mismo la válvula debe permitir el paso continuo de agua.

### 1.3.4 ÓSMOSIS INVERSA

Como método de desalación de agua en las décadas del 70 y 80 se investigó, en Arabia Saudita entre otros países la ósmosis inversa como método de purificación del agua, obteniéndose resultados muy buenos en cuanto al proceso de purificación, paralelamente se adaptaron estos equipos de purificación par utilizar energía solar o eólica, de manera indirecta, es decir como fuente de energía eléctrica.

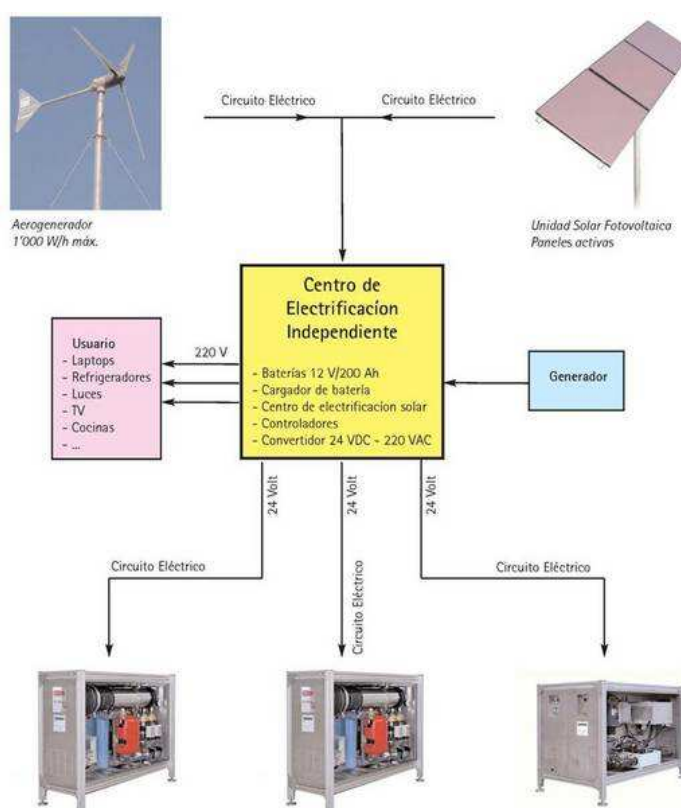


Figura 1-2 Esquema de funcionamiento de un purificador solar o eólico de ósmosis inversa

Para entender de mejor manera este proceso de purificación de agua echaremos un vistazo general a su proceso.

#### 1.3.4.1 Ósmosis

La ósmosis u osmosis es un fenómeno físico-químico relacionado con el comportamiento del agua (como

solvente de una solución) ante una membrana semipermeable para el solvente (agua) pero no para los solutos. Tal comportamiento entraña una difusión simple a través de la membrana del agua, sin "gasto de energía". La ósmosis es un fenómeno biológico importante para la fisiología celular de los seres vivos.

Se denomina *membrana semipermeable* a la que contiene poros, al igual que cualquier filtro, de tamaño molecular. El tamaño de los poros es tan minúsculo que deja pasar las moléculas pequeñas pero no las grandes (normalmente del tamaño de micras). Por ejemplo, deja pasar las moléculas de agua que son pequeñas, pero no las de azúcar, que son más grandes.

Si una membrana como la descrita separa un líquido en dos particiones, una de agua pura y otra de agua con azúcar, suceden varias cosas, explicadas a fines del siglo XIX por Van 't Hoff y Gibbs empleando conceptos de potencial electroquímico y difusión simple, entendiendo que este último fenómeno implica no sólo el movimiento al azar de las partículas hasta lograr la homogénea distribución de las mismas (y esto ocurre cuando las partículas que aleatoriamente vienen se equiparan con las que aleatoriamente van), sino el equilibrio de los potenciales químicos de ambas particiones. Los potenciales químicos de los componentes de una solución son menores que la suma del potencial de dichos componentes cuando no están ligados en la solución. Este desequilibrio genera un flujo de partículas solventes hacia la zona de menor potencial que se expresa como presión osmótica mensurable en términos de presión atmosférica (p. ej.

"existe una **presión osmótica de 50 atmósferas** entre agua desalinizada y agua de mar"), que está en relación directa con la osmolaridad de la solución. El solvente fluirá hacia el soluto hasta equilibrar dicho potencial o hasta que la presión hidrostática equilibre la presión osmótica.<sup>[1][2]</sup>

El resultado final es que, aunque el agua pasa de la zona de baja concentración a la de alta concentración y viceversa, hay un flujo neto mayor de moléculas de agua que pasan desde la zona de baja concentración a la de alta.

Dicho de otro modo: dado suficiente tiempo, parte del agua de la zona sin azúcar habrá pasado a la de agua con azúcar. El agua pasa de la zona de baja concentración a la de alta concentración.

Las moléculas de agua atraviesan la membrana semipermeable desde la disolución de menor concentración (disolución hipotónica) a la de mayor concentración (disolución hipertónica). Cuando el trasvase de agua iguala las dos concentraciones, las disoluciones reciben el nombre de isotónicas.

En los seres vivos, este movimiento del agua a través de la membrana celular puede producir que algunas células se arruguen por una pérdida excesiva de agua, o bien que se hinchen (posiblemente hasta reventar) por un aumento también excesivo en el contenido celular de agua. Para evitar estas dos situaciones, de consecuencias desastrosas para las células, estas poseen mecanismos para expulsar el agua o los iones mediante un transporte que requiere gasto de energía.

#### *1.3.4.2 Ósmosis inversa*

Lo descrito hasta ahora es lo que ocurre en situaciones normales, en las que los dos lados de la membrana están a la misma presión; si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración al de baja concentración.

Se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, por eso se llama ósmosis inversa. Téngase en cuenta que en la ósmosis inversa a través de la membrana semipermeable sólo pasa agua. Es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración.

Si la alta concentración es de sal, por ejemplo agua marina, al aplicar presión, el agua del mar pasa al otro lado de la membrana. Sólo el agua, no la sal. Es decir, el agua se ha desalinizado por ósmosis inversa, y puede llegar a ser potable.

#### *1.3.4.3 Desalación*

Mediante este procedimiento es posible obtener agua desalinizada (menos de 15.000 micro-siemens/cm de conductividad eléctrica) partiendo de una fuente de agua salobre, agua de mar, que en condiciones normales puede tener entre 20.000 y 55.000 micro siemens/cm de conductividad.

La medida de la conductividad del agua da una indicación de la cantidad de sales disueltas que contiene, dado que el agua pura no es un buen conductor de la electricidad (su potencial de disociación es menor de 0.00001).

La ósmosis inversa o reversa (RO) se ha convertido hoy en día en uno de los sistemas más eficientes para desalinizar y potabilizar el agua, siendo usada en barcos, aviones, industrias, hospitales y domicilios.

Mediante ósmosis inversa se consigue que el agua bruta que llega a la desalinizadora se convierta por un lado en un 40 % de agua producto y un 55-60 % de agua salobre.

La clave está en la constitución del fajo de membranas que intercalan redes-canales de circulación entre capa y capa y finalmente convergen en el centro del sistema. Como hay un flujo de entrada y dos flujos de salida, al uno se le conocen como rechazo salino y al otro como flujo de permeado y sus valores dependerán de la presión de entrada impuesta al sistema. Por lo general es factible encontrar membranas confeccionadas con poliamida o acetato de celulosa (este último material está en desaparición) con un rechazo salino de entre 96.5-99.8 %. Existen membranas especializadas para cada tipo de agua, desde agua de mar hasta aguas salobres.

Los equipos de ósmosis inversa industriales montan varios trenes o carros de membranas interconectadas entre sí, una bomba de alta presión, medidores de TDS, pH y caudalímetros de columna. Existen equipos que se ubican en grandes salas debido a su enorme tamaño.

Para el óptimo funcionamiento de estos sistemas, se requiere mantener un anti-incrustante contra sílice (sílice gelificada neutra) que obtura el sistema, además

de un biocida para mantener libre de biomasas las capas del sistema.

La ósmosis inversa tiene algunas restricciones, hay ciertas especies químicas que el sistema no es capaz de retener, estos el arsenito ( $As+3$ ), la sílice neutra (ya mencionada) y el boro. Para retener estas especies hay que realizar una modificación del estado químico de la especie, ya sea vía oxidación, co-precipitación o cambios de pH del medio. Por ejemplo el arsenito ( $As+3$ ) experimenta un rechazo de menos de 25%, el arseniato ( $As+5$ ) es capaz de ser retenida en un 95-98%.

Las incrustaciones en las membranas son un factor no despreciable en la eficiencia del equipo, esto ocurre cuando se pretende forzar el caudal de permeado, ocurriendo frentes de saturación en la superficie de la membrana. Otras sustancias son incrustantes, tales como la mencionada sílice, biomasas de microorganismos. Una vez incrustada la membrana, solo es posible revertir la situación desmontando la unidad y tratándola con mezclas de ácidos fuertes y sometiéndolas a contracorriente.

Un desarrollo tecnológico reciente especialmente relevante es el de la ósmosis inversa para desalinización basada en energía solar fotovoltaica, empleando sólo y exclusivamente una pequeña batería para que todo funcione correctamente.

#### *1.3.4.4 Reducción de la dureza*

Las aguas duras contienen iones de calcio y magnesio que pueden precipitar combinados con iones como

carbonatos, sulfatos o hidróxidos estos precipitados se van acumulando (obstruyendo) las tuberías de distribución, calentadores, etc. Con la ósmosis inversa se consigue eliminar estos precipitados.

#### *1.3.4.5 Observaciones*

A pesar de las bondades de las ósmosis inversa y el progreso conseguido estos sistemas por su baja eficiencia energética tienen un costo que aun es muy elevado. Hemos de recordar que su relación con las energías alternativas es reducida, debido a que su empleo se enfoca en usar energía eléctrica de cualquier fuente, de este modo y tomando en cuenta que la eficiencia de los paneles solares foto-voltaicos es en promedio un 15 %, la eficiencia del equipo ser reducirá aún más. Ante esto y recordando que el objetivo de la tesis, no profundizaremos mas en este tema.

### **1.3.5 MEZCLADO, COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN**

Las limitaciones de tiempo y cantidad de agua producida con la filtración lenta han dado como resultado nuevos procesos de purificación mediante la utilización de filtros un proceso conjunto consta de estos 4 subprocesos como son:

#### *1.3.5.1 Mezclado*

Consiste en la distribución uniforme y rápida de de un coagulante u otro producto químico, en el agua que se esté tratando, antes que se verifiquen reacciones químicas en proporción notable.



### *1.3.5.2 Coagulación*

Se refiere a la formación de flóculos precipitados e incipientes mediante los cambios físico-químicos que tienen lugar entre el coagulante soluble y la alcalinidad del agua.

### *1.3.5.3 Floculación*

Consiste en agitar suavemente el agua tratada con coagulante, durante un período de tiempo apreciable, hará completar las reacciones de coagulación, hasta alcanzar condiciones que permitan que el material floculante se junte y adhiera formando grandes masas de flóculos.

### *1.3.5.4 Sedimentación*

Consiste en el depósito de los flóculos en estanques especialmente diseñados para tal propósito. Por lo general, un tanque de sedimentación es una estructura a través de la cual fluye agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo del tanque, saliendo de éste un agua relativamente clara.

\* Materiales como el hierro y el manganeso suelen sedimentarse por su propio peso o son eliminados por procesos de filtración. Así mismo cuando se encuentran mezclados con materia orgánica se los puede eliminar mediante aeración.

## **1.3.6 LA DESTILACIÓN**

Cuando el agua es hervida, sube como vapor y cuando se enfría, se convierte de nuevo en Agua... Agua Pura. El

proceso de destilación duplica el ciclo hidrológico de la naturaleza.

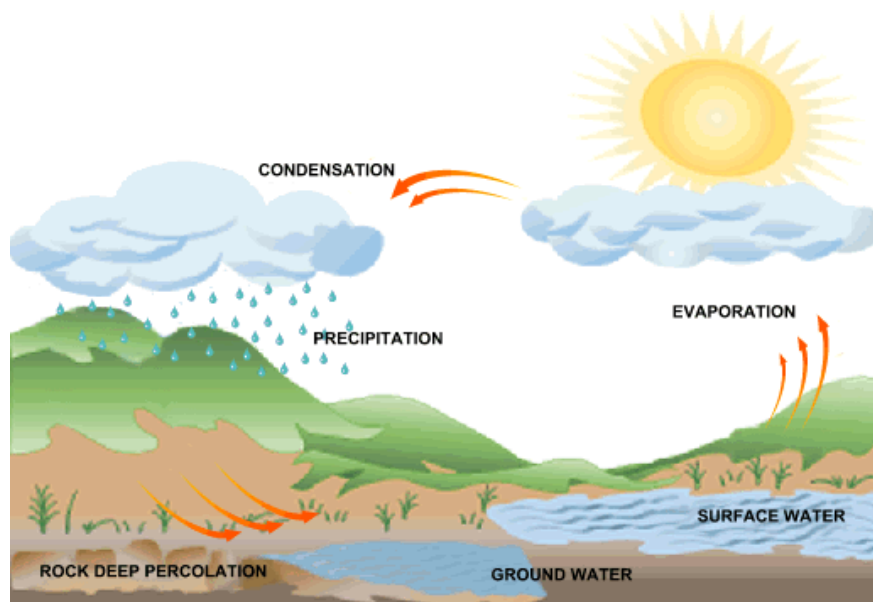


Figura 1-3 Proceso de destilación normal del agua

El proceso de destilación es un procedimiento de purificación del agua de alta efectividad que se ha comprobado durante mucho tiempo y que consiste en tratar el agua hasta que su evaporación, y una vez que el vapor se ha condensado, se lo recoge.

## 1.4 ABLANDAMIENTO

Los métodos más conocidos son:

### 1.4.1 PRECIPITACIÓN

Usando ya sea solamente cal, o cal y carbonato de sodio (sosa calcinada), o cal y bióxido de carbono, para hacer que precipiten el calcio y el magnesio en forma de compuestos insolubles.

### 1.4.2 PERMUTACIÓN IÓNICA

Consiste en filtrar agua a través de arena especial llamada zeolita natural, "arena verde o glaucomita", o a través de zeolitas sintéticas.

## **1.5 CONTROL DE OLORES Y SABORES**

El control de olores y sabores suele ser el más complejo problema de solucionar en el tratamiento de aguas, pues dependiendo del causante se utiliza un proceso especial, señalaremos los olores principalmente producidos por la presencia de microorganismos y algunas sustancias químicas,

### **1.5.1 PREVENCIÓN**

Añadir sulfato de cobre es el procedimiento preventivo más efectivo conocido, se puede usar hasta con concentraciones de hasta 12mg/lit. Sin que haya peligro de envenenamiento. Sin embargo sobre los 4mg/lit. Puede producir problemas de sabor, pero este valor suele ser suficiente para matar la gran mayoría de flora y fauna microscópica y no afectar a peces si existen. Los gráficos a continuación muestran los posibles causantes de malos olores y sabores.

## ALGAS QUE OBTURAN LOS FILTROS

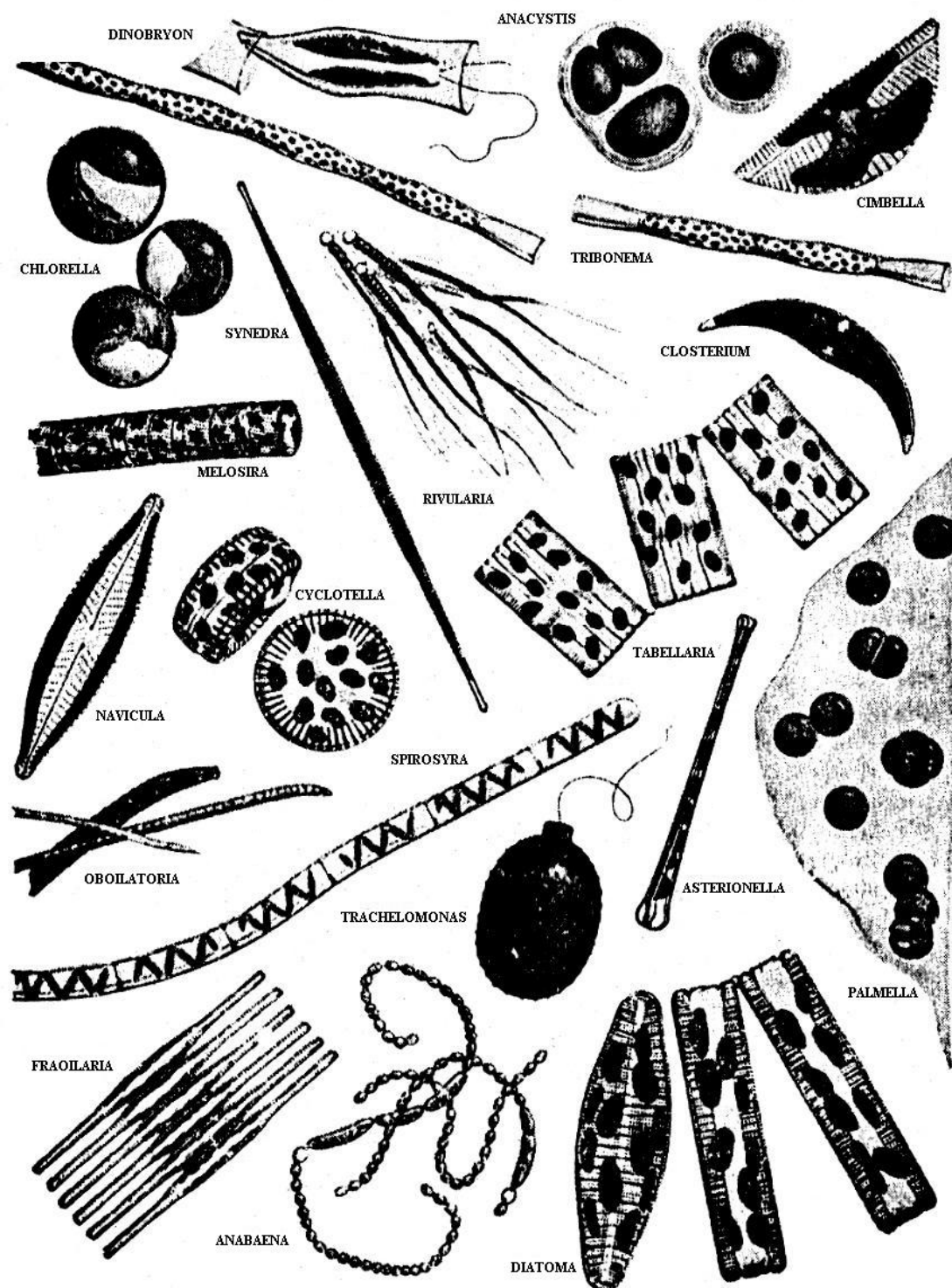


Figura 1-4 ALGAS QUE OBTURAN EN FILTROS

FUENTE: "Algae of importance in Water Supplies", Palmer, Tarzwell y Walter, Public Works Magazine, junio de 1955.

## ALGAS SAPIDAS Y OLOSAS

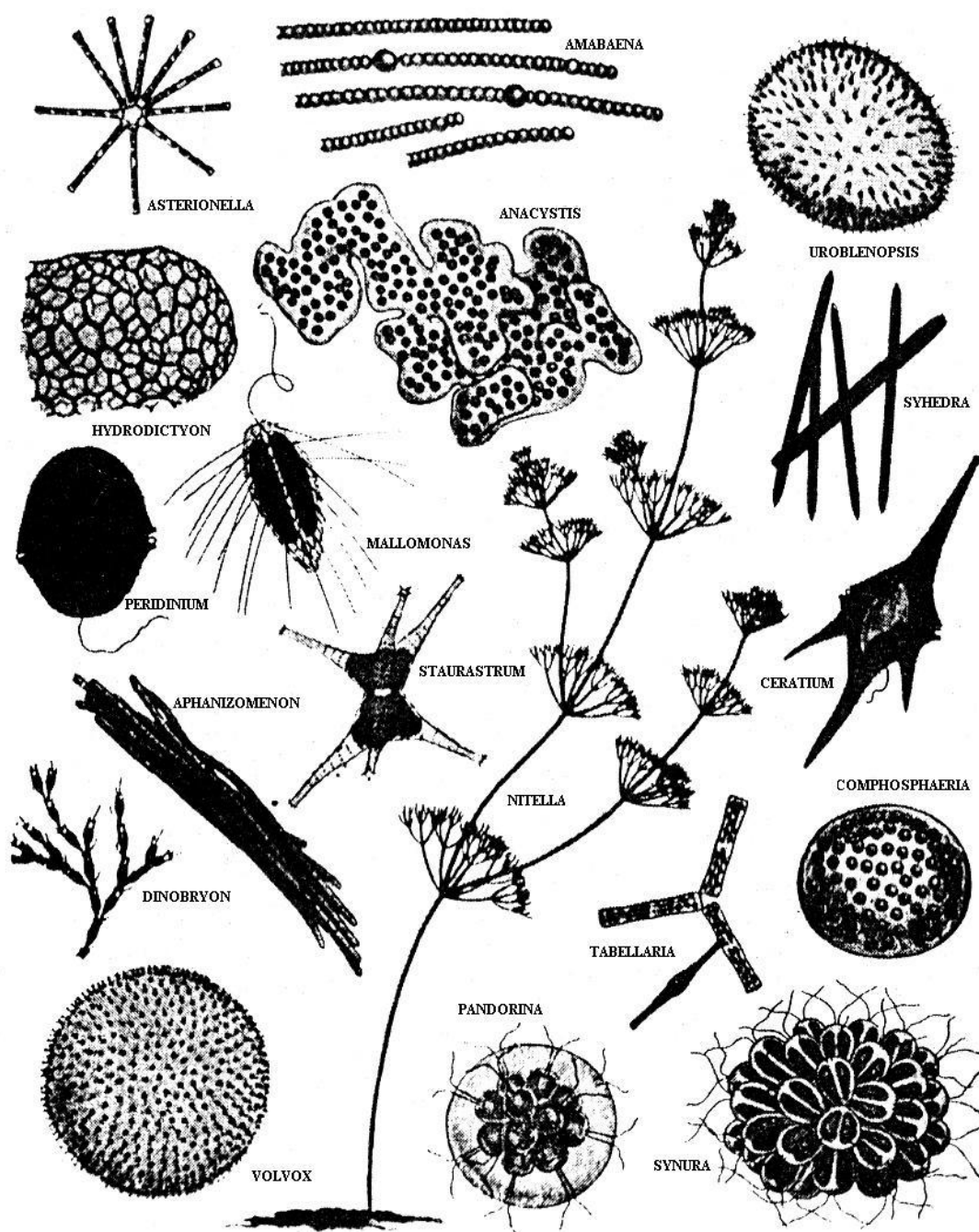


Figura 1-5 ALGAS QUE OCASIONAN OLORES Y SABORES

FUENTE: "Algae of importance in Water Supplies", Palmer, Tarzwell y Walter, Public Works Magazine, junio de 1955.

Sin embargo la aplicación continua de sulfato de cobre puede ser perjudicial para los peces pues se quedarán sin alimento, por lo que se restringe su uso a los depósitos para consumo.

Se puede también utilizar cloro para controlar el crecimiento de microorganismos pero este reacciona con la materia orgánica y es disipado por la luz solar, además el exceso de este produce sabor y olor inconvenientes.

En las zonas poco profundas de los depósitos proliferan con frecuencia las algas. Esto se debe corregir con sulfato de cobre. Es importante disponer de tomas de agua a distintos niveles, pues en la superficie se ubica la mayor parte de los microorganismos mientras que en el fondo se encuentran microorganismos en descomposición así como hierro y manganeso.

## 1.6 LA DESTILACIÓN SOLAR

La Destilación del agua es el proceso de agua hirviendo en un compartimiento que resulta en la creación de vapor. A medida que se levanta el vapor, este pasa a través de serpentinas refrescantes y se acumula como agua pura. Todos los contaminantes son abandonados detrás en el tanque de hervir y los gases se vaporizan en las temperaturas más bajas. Al punto que hierve el agua son liberados a través de orificios para el volátil gas. Esencialmente, destilación duplica el ciclo de la madre naturaleza de evaporación y precipitación. Es altamente eficaz en remover todos los Inorgánicos, Orgánicos y Contaminantes Radio-nucleótidos. Éstos incluyen metales pesados, Amoníaco, Nitrato, Cloruro, Fluoruro, Radio 226, Contaminantes orgánicos industriales y Agentes contaminadores. Destilación es también altamente eficaz en remover Insecticidas Comúnmente Usados, Herbicidas, y Plomo; así como también, todas las bacterias y virus.

El procedimiento propuesto procura acelerar el calentamiento con el uso de paneles foto-térmicos, así como el enfriamiento acelerado en un intercambiador de calor que a su vez caliente el agua que entra al proceso de destilación acelerando así el mismo.

Uno de los principales problemas previstos es el manejo de la sal, pues no conocemos de manera cierta en que tiempo ni como se comportará una vez separada del agua dentro del equipo. Para esto ante la posibilidad de que la sal sea arrastrada por el vapor se coloca un tanque a la salida del modulo solar para reducir la presión en un área mayor permitiendo que por su peso las partículas de sal contenidas en el vapor se desprendan y caigan al fondo del tanque; también hay la posibilidad de que la sal se concentre en el interior del tubo inclinado del módulo solar y por ser de mayor peso se arrastre hasta la parte inferior del mismo, para esto se cuenta con una válvula de media vuelta que nos permita determinar si la concentración de sal aumento en ese lugar.

### **1.6.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

En 1872, en Salinas - Chile, se construyo el primer proyecto importante de destilación solar tipo estanque con una superficie de 50.000 pies cuadrados y una producción de 5000 galones al día para abreviar mulas se desconoce su tiempo de trabajo y duró cerca de 40 años. Posteriormente en la segunda guerra mundial se construyeron destiladores plegables para balsas salvavidas con un funcionamiento similar al del tipo estanque, construidos en plástico con forma cónica al inferior y de casquete en la superficie para condensar el vapor al inferior y colectarlo en el casquete. Después de la segunda guerra mundial se continuaron construyendo y mejorando este tipo de destiladores utilizando cubiertas de vidrio. Al mismo tiempo en las Islas Vírgenes se construyó una pequeña unidad.

"En el año de 1954, la Oficina de Aguas Salinas (Office of Saline Waters) realizó un resumen de los posibles métodos para la destilación solar. En 1955 en la conferencia sobre el empleo de la energía solar se informó sobre los experimentos realizados en Argelia, Australia y los EE UU. Pequeños destiladores con cubierta de vidrio diseñados en Argelia se construyeron y vendieron en calidad reducida en Australia y Chipre, además d Argelia. Durante los años siguientes se aceleró el ritmo de la experimentación den los EE UU, bajo los auspicio de la oficina de Aguas Salinas. Los experimentos culminaron con la construcción de grandes unidades con cubierta de vidrio y cubierta de plástico en Daytona Beach, en florida. Estas unidades funcionaron durante varios años por cuenta de la oficina, que publicó los resultados. Entre tanto, se habían llevado a cabo nuevos trabajos experimentales en Australia, Italia, La Unión de Repúblicas Socialista Soviéticas y los EE UU.

Además la conferencia de las Naciones unidas sobre nuevas fuentes de energía, celebrada en roma del 21 al 31 de Agosto de 1961, produjo nuevas informaciones sobre la investigación y desarrollo la operación de destiladores solares en muchas partes del mundo.

En la actualidad hay grandes instalaciones en Australia, España, Grecia y Túnez, y en la Isla Pequeña San Vicente en el Caribe. En varios otros países y diversas islas del Pacífico meridional funcionan otras unidades. Todas las instalaciones existentes son del tipo estanque. Se ha propuesto otras instalaciones, entre ellas una en la República Socialista Soviética de Turkeiman, y en Gwadar, Pakistán Occidental."

**Fuente:** Naciones Unidas, "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud", Nueva York, 1972,



Como podemos apreciar la destilación solar tuvo un importante desarrollo a lo largo de la historia, hasta finales de la década de los 80, el que más destaca es el destilador de estanque por su simplicidad y disponibilidad de información para diseñarlos y construirlos, pero además de este han existido y existen propuestas distintas que mencionaremos brevemente como referencias para nuestro estudio.

## **1.6.2 MEDIDAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA DESTILACIÓN SOLAR**

Utilizaremos los siguientes parámetros para evaluar la destilación solar como método para solucionar el abastecimiento de agua.

### *1.6.2.1 El Clima*

El promedio de emisión solar se estima en  $1\text{Kw-h por m}^2$  alrededor de 4 horas de emisión solar, esto depende mucho de la región y las estaciones en la región. El Ecuador posee una posición privilegiada por dos razones básicas: la perpendicularidad de luz solar y la disponibilidad de la misma, disponemos de 6 horas de luz solar por los 365 días del año.

### *1.6.2.2 Escala de las necesidades*

La necesidad de agua potable para un usuario o una población justifica el uso de un método alternativo priorizando el agua para consumo humano y salud, de este modo se deben evitar todo tipo de usos adicionales, en promedio se utilizan 140 litros de agua dulce por persona al día. El prototipo proveerá 28 litros por día para una familia de 4 personas, entendiéndose que solo se utilizará en alimentación y aseo de manos para prevenir enfermedades

### *1.6.2.3 Emplazamiento*

La disponibilidad de superficie libre para instalar los equipos de destilación solar se establecen en las cercanías de la playa a salvo de las crecientes del oleaje.

### *1.6.2.4 Calculo del equipo*

El equipo de destilación se determinará en función de los resultados obtenidos al final del presente proyecto.

### *1.6.2.5 Diseño*

El diseño concebido para el presente trabajo de tesis se describe con detalle más adelante.

### *1.6.2.6 Cálculo del rendimiento mensual*

El rendimiento mensual se evaluará de acuerdo con las condiciones climáticas en la zona.

### *1.6.2.7 Cálculo del costo*

Una vez construido y probado el equipo se hará una evaluación final a partir de las evaluaciones continuas que se realicen durante la investigación. Es importante aclarar que el equipo está planeado para resolver las necesidades de poblaciones alejadas y do bajos recursos por lo que es importante un costo competitivo.

### *1.6.2.8 Otras consideraciones*

La tecnología existente para los medios de automatización y calidad del agua que se va a desalinizar afectarán el diseño del equipo.

### 1.6.3 DESTILADORES SOLARES DE ESTANQUE

Es el más conocido y por lo tanto el más desarrollado, también llamado destilador tipo invernadero, destilador de techo, destilador sencillo o destilador tipo convencional. En la naturaleza el agua dulce se produce por la destilación solar a gran escala, evaporando el agua superficial de los ríos y lagos, para luego en contacto con corrientes frías se congele y baje finalmente en forma de agua dulce, duplicar este proceso es precisamente lo que se logra con el destilador tipo estanque.



Figura 1-6 DESTILADOR SOLAR DE ESTANQUE PORTÁTIL

“Existen varios diseños para destiladores solares que difieren entre sí en los materiales y disposición, pero todos influyen elementos que desempeñan las mismas funciones. El depósito o estanque de agua salada debe ser impermeable, y se ennegrece para que absorba eficientemente la radiación solar. La cubierta transparente debe ser impermeable al vapor y estar inclinada a un ángulo suficiente para permitir que el agua que se condense en la superficie interior fluya por gravedad hacia las canaletas de condensado. Las canaletas de condensado deben disponerse de manera que recojan toda el agua que gotea del borde inferior de la cubierta y para que lleven el agua producida al exterior del recinto. El revestimiento del estanque puede colocarse directamente

sobre el suelo o aislarse del mismo para reducir las pérdidas de calor por el fondo. Los elementos de la estructura y las canaletas para condensado pueden construirse de metal, hormigón y otros materiales de larga vida."

**Fuente:** Naciones Unidas, "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud", Nueva York, 1972, pp. 7"

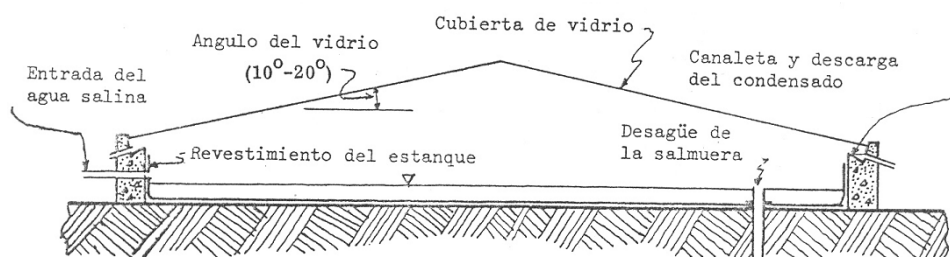


Figura 1-7 Corte esquemático de un destilador solar de estanque

**Fuente:** Naciones Unidas., "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud" Nueva York 1972, pág. 50.

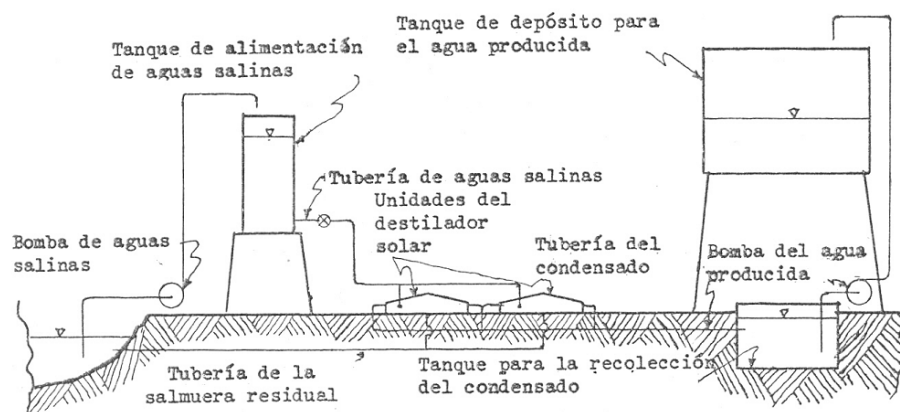


Figura 1-8 Diagrama esquemático de una planta de destilación solar, con sus componentes principales

**Fuente:** Naciones Unidas., "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud" Nueva York 1972, pág. 51.

### 1.6.4 OTROS DESTILADORES SOLARES

Dada la magnitud de la información referente a los diferentes equipos propuestos para realizar la destilación solar, nos limitaremos a mostrar su figura esquemática para conocimiento general.

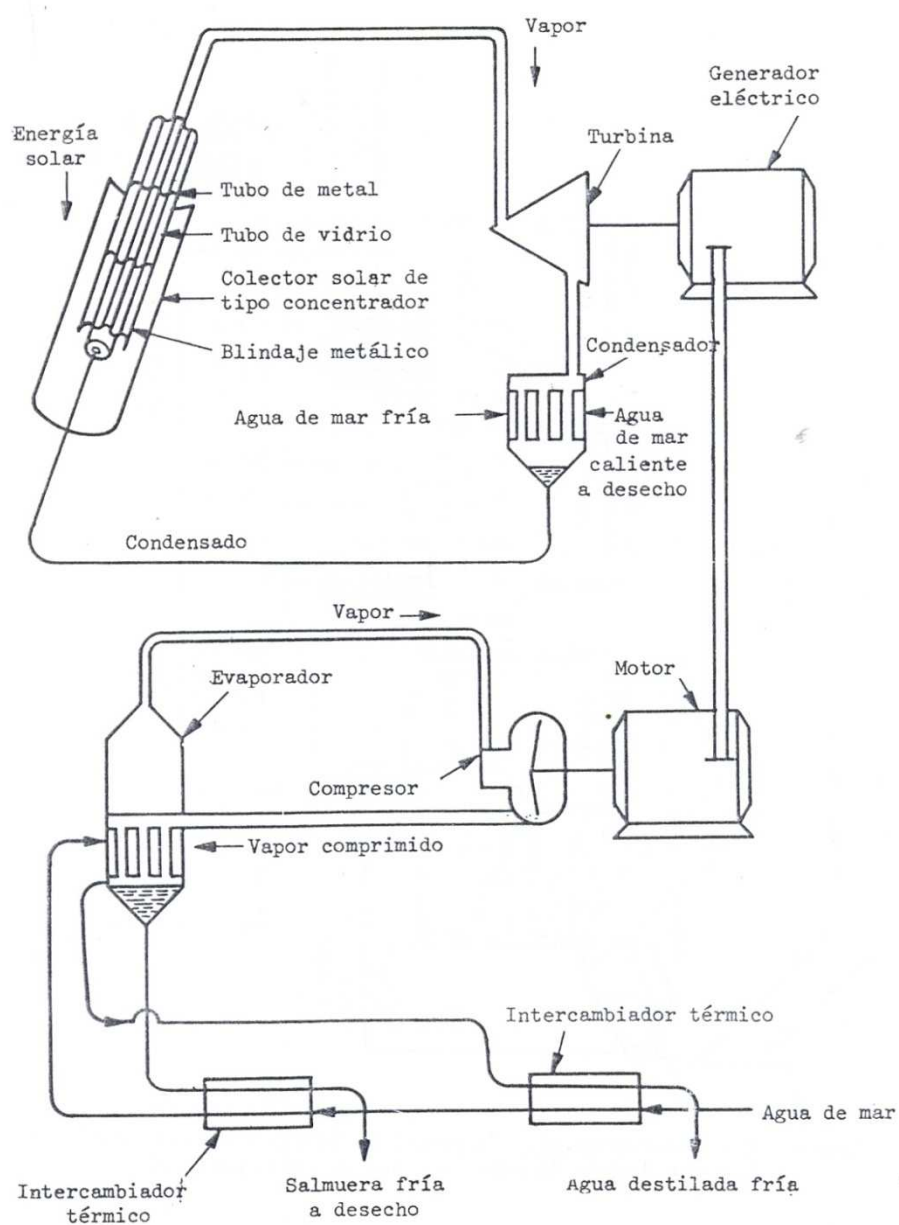


Figura 1-9 Unidad de compresión destilación que utiliza energía eléctrica de una central solar.

**Fuente:** Naciones Unidas., "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud" Nueva York 1972, pág. 75.

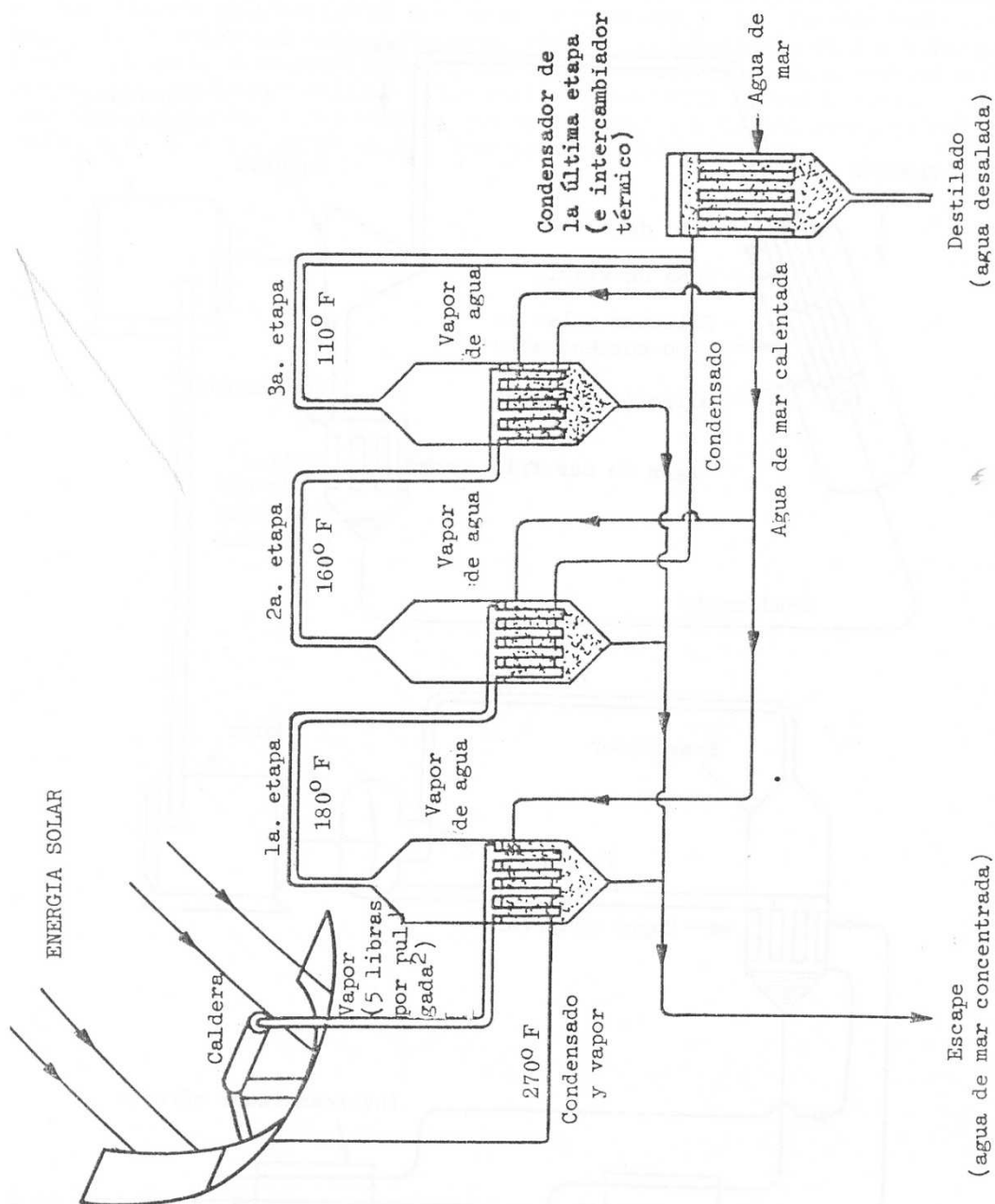


Figura 1-10 Unidad evaporador de etapas múltiples calentado con vapor obtenido de un colector solar concentrador

**Fuente:** J. W. Bloemer et al., "A practical basin-type solar still", Solar Energy (Estados Unidos de América). No.9, 1965, pág. 197.

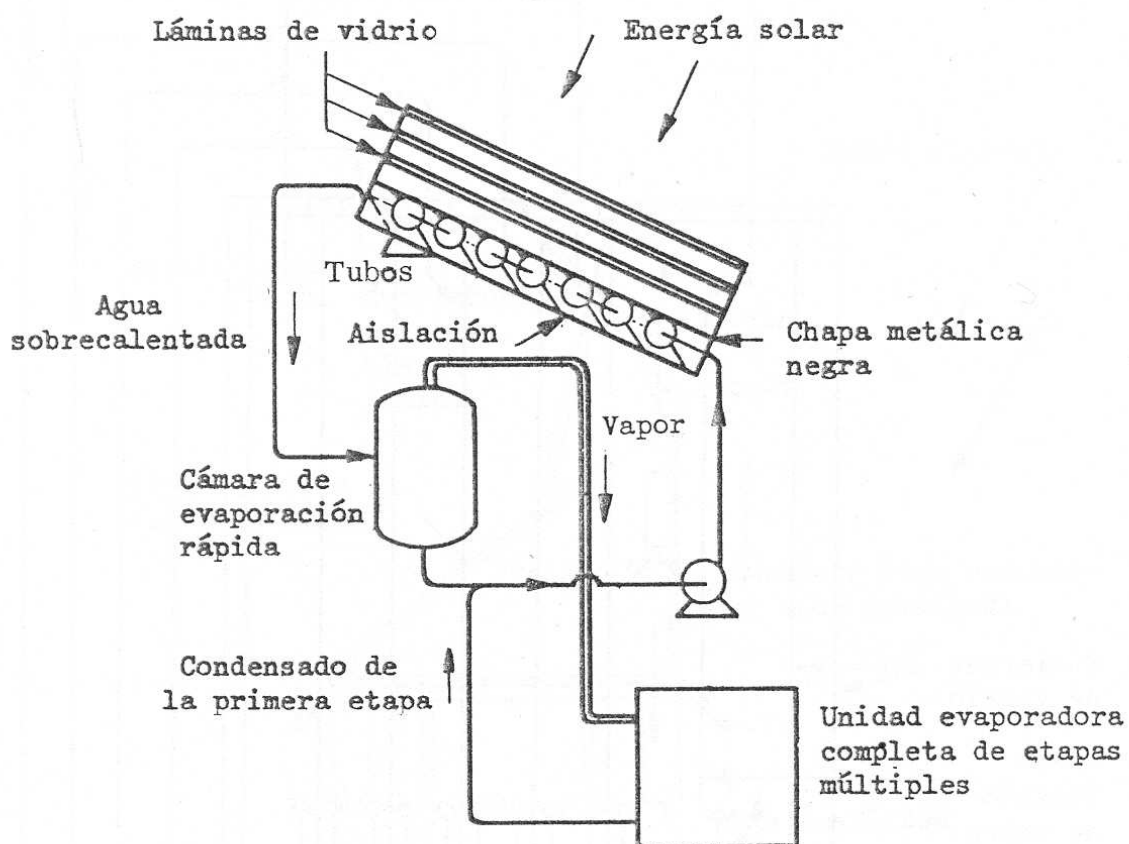


Figura 1-11 Evaporador de etapas múltiples calentado con vapor obtenido de un colector de planchas planas

**Fuente:** Naciones Unidas., "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud" Nueva York 1972, pág. 77.

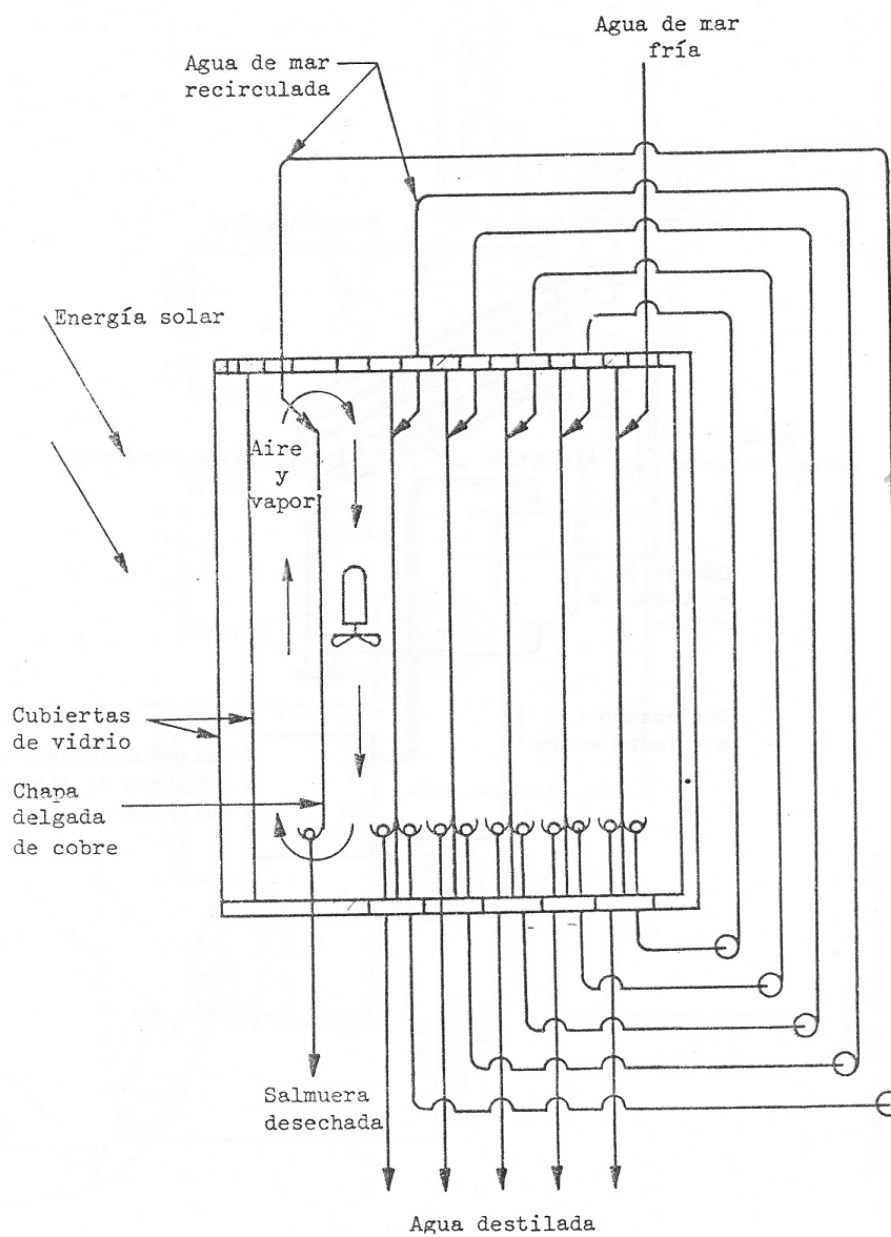


Figura 1-12 Destilador de etapas múltiples con cubierta de vidrio y condensador evaporador de chapas de cobre

**Fuente:** Naciones Unidas., "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud" Nueva York 1972, pág. 78.



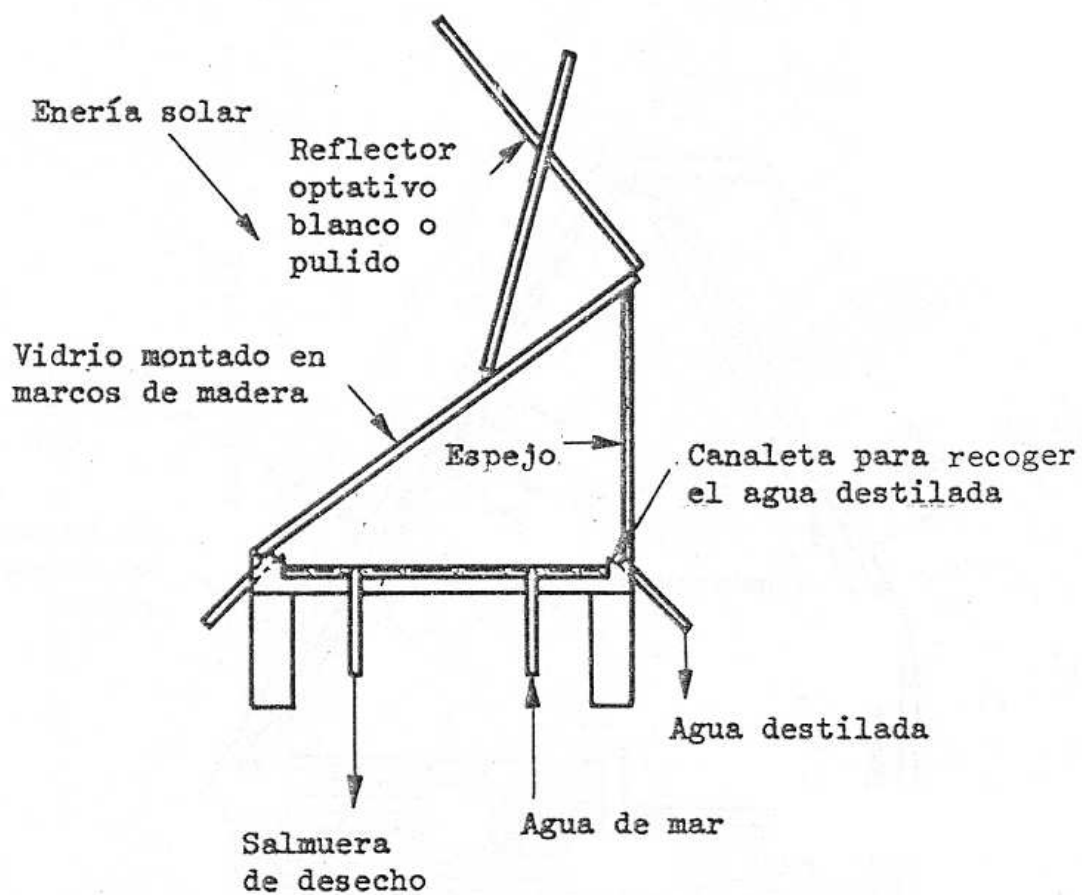


Figura 1-13 Batea evaporadora con cubierta de vidrio y superficies reflectoras

**Fuente:** Naciones Unidas., "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud" Nueva York 1972, pág. 79.

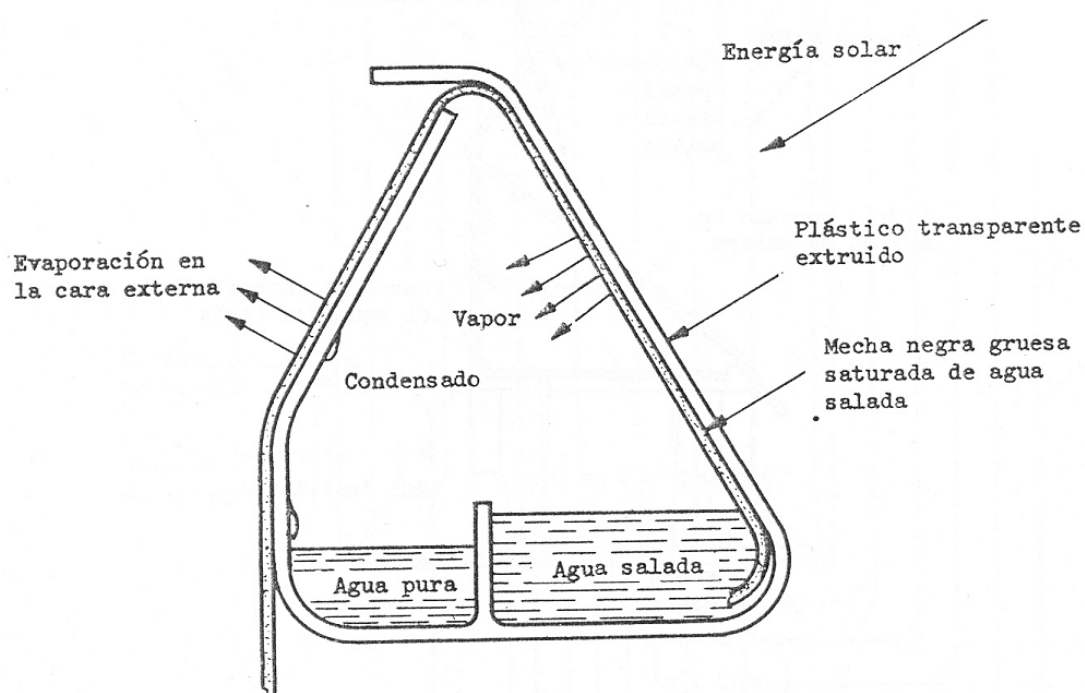


Figura 1-14 Destilador de plástico extruido con mecha negra para la evaporación y el enfriamiento

**Fuente:** Naciones Unidas., "LA DESTILACIÓN SOLAR como medio para satisfacer las necesidades de agua de poca magnitud" Nueva York 1972, pág. 80.

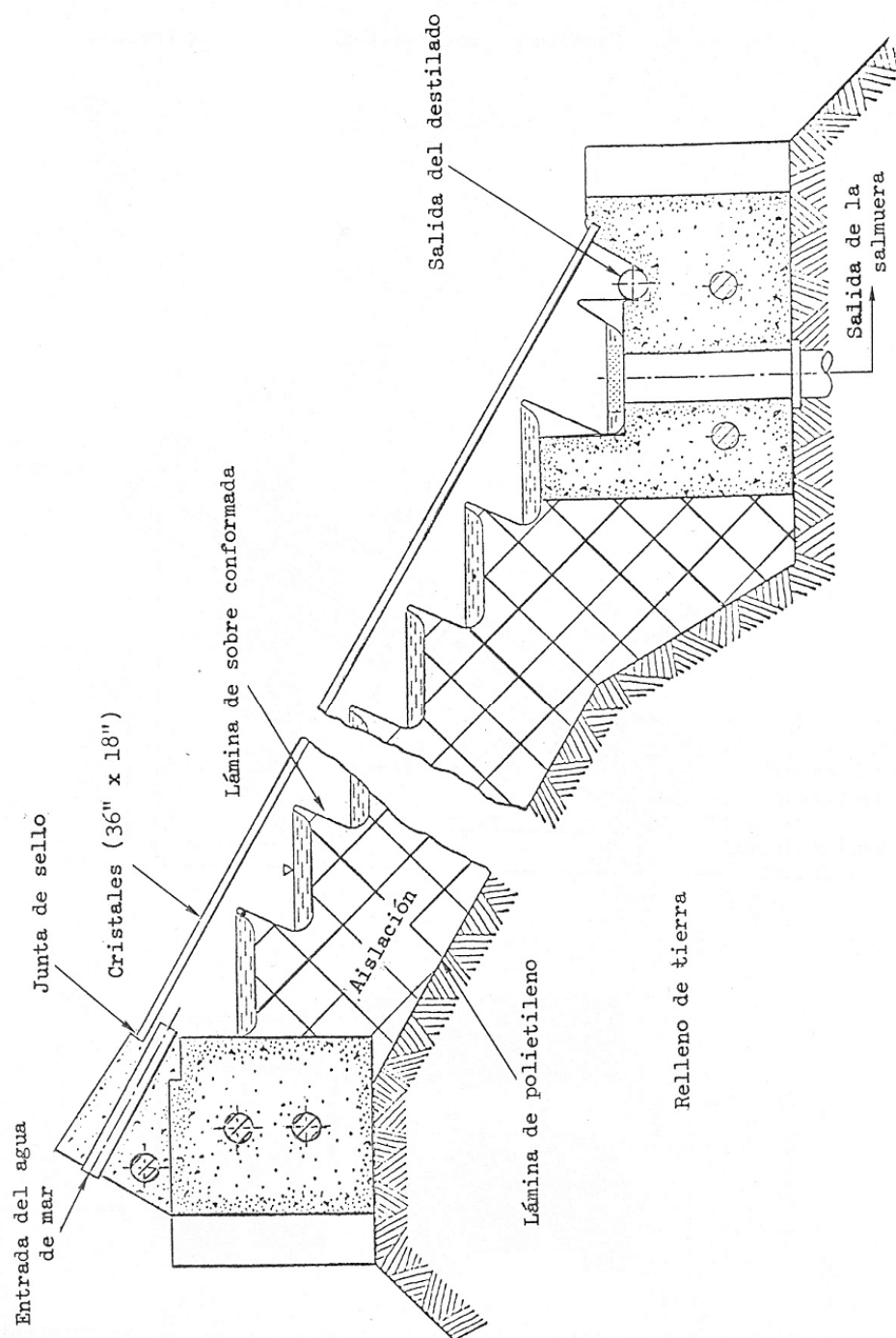


Figura 1-15 Destilador solar con bateas inclinadas

**Fuente:** E.D. Howe, "Solar distillation on the Pacific atolls", South Pacific Bulletin (Sidney, Australia), abril de 1964.

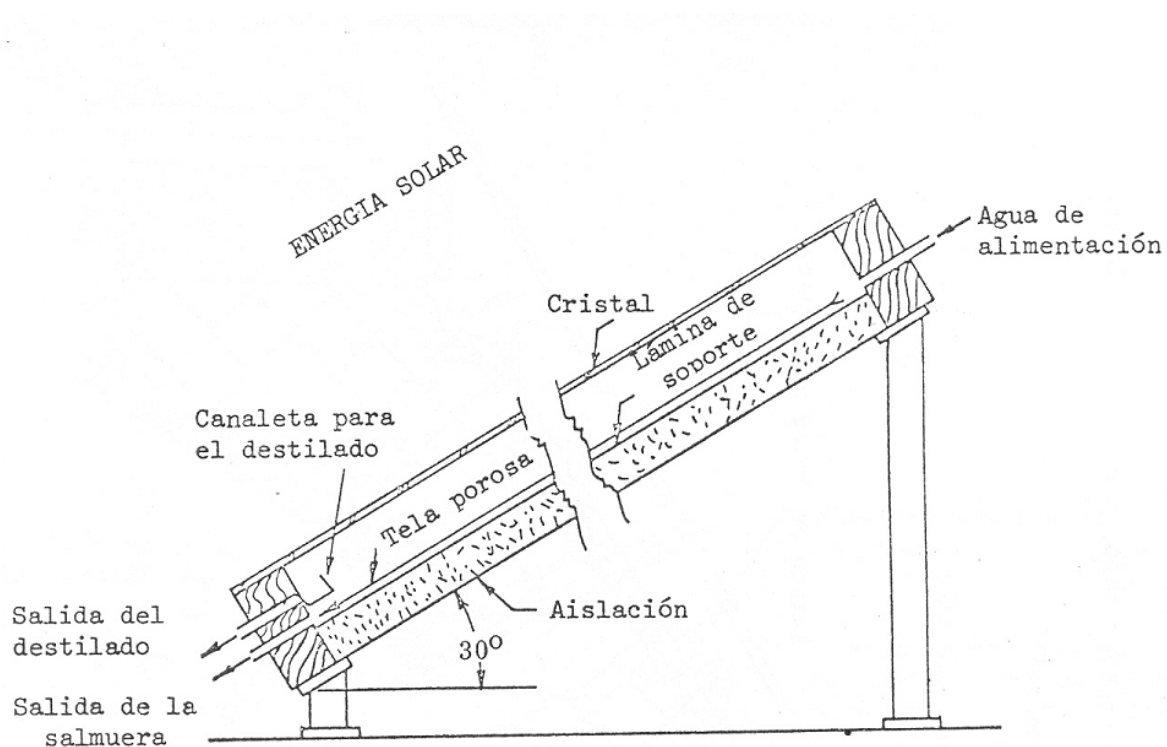


Figura 1-16 Destilador solar del tipo de mecha inclinada

**Fuente:** M. Telkes, "Flat tilted solar stills", Proceedings of the International Seminar on Solar and Aeolian Energy, Sunion, Grecia, 1961 (Nueva York, Plenum Press, 1964).