

T  
621.47  
MAL



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la

## Producción

“Estudio de factibilidad de la implementación de un Destilador Solar como abastecedor de agua de bebida a Partir de agua de mar para la Base Naval de Baltra, Galápagos “



## TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de :

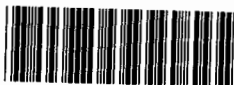


## INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Edgar Alexander (Maldonado Ortega

GUAYAQUIL - ECUADOR



D-31854

Año: 2002



## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente en el Ing. Marco Pazmiño Director de Tesis, por su invaluable ayuda.



CIB-ESPOL

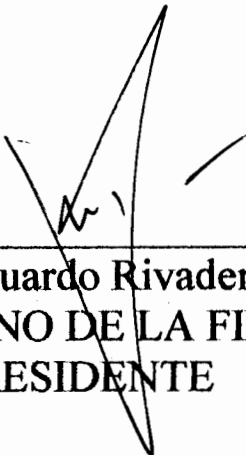
## DEDICATORIA



MIS PADRES

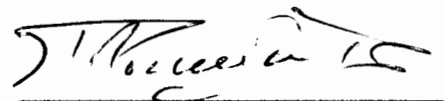
A MIS HERMANAS

## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

**Ing. Eduardo Rivadeneira P.**  
**DECANO DE LA FIMCP**  
**PRESIDENTE**



---

**Ing. Marco Pazmiño B.**  
**DIRECTOR DE TESIS**



---

**Ing. Francisco Santelli P.**  
**VOCAL**



**CIB-ESPOL**



## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Edgar Alexander Maldonado Ortega



## RESUMEN

El presente estudio desarrolla un análisis de factibilidad para implementar un sistema de abastecimiento de agua en la Base Naval en Baltra, debido a que este recurso es escaso y debe ser enviado desde el continente hacia la Isla.

Es necesario implementar una forma de abastecer de agua a esta Base Naval, por lo cual, la idea de un destilador solar se desarrollará.

La factibilidad de que este destilador solar funcione de acuerdo a las necesidades del sitio será analizada en forma minuciosa tanto técnica como económicamente, y al final se evaluará para concluir sobre esta interrogante.

En la primera parte de este estudio se hace referencia a conceptos básicos sobre radiación y en los capítulos posteriores se analiza mas específicamente el destilador solar en aspectos como materiales, características técnicas, costos de operación, etc.

## Descripción del ámbito de la Tesis:

El presente estudio incluye investigaciones referente a todo el proceso de destilación, fenómenos que ocurren, material a usarse, maximizando la energía radiante del sol como fuente térmica. Además se desarrolla los temas sobre la base de una necesidad específica que conlleva a realizar cálculos para satisfacer dicha necesidad existente.

El proyecto contempla un estudio de factibilidad, e . d, al termino del mismo se decidirá cuan viable es la implementación del destilador contra el método existente de abastecimiento de agua que posee la base naval.

El desarrollo de esta tesis se basa en un estudio teórico de conjunto tomando consideraciones practicas reales existentes en las Islas Galápagos referente a la utilización de un destilador.

En vista del fin que este tema de tesis presenta, el estudio de factibilidad, viabilidad de construcción , instalación , una análisis económico de su rentabilidad y otros aspectos a nombrar, las bases teóricas presentadas serán tomadas de estudios ya efectuados de diferentes autores, constructores y , además , de nuevas versiones innovadas fruto de estudios recientes . Estas informaciones extraídas de las redes de información o Internet ayudarán por su amplio rango de información que brindan en la actualidad.

Además, la investigación tomará profundidad en ciertos aspectos importantes y prácticos que por su relevancia amerita una investigación más minuciosa. Estos aspectos se visualizarán en el contenido de temas y subtemas que se presentarán.



Descripción del problema:

La base naval de Baltra, ubicada en las Islas Galápagos, pequeña en superficie presenta dos bases militares juntas, una Base Aérea y otra Naval. Uno de los principales problemas para el personal militar que vive en esta área es el suministro de agua de bebida y potable como parte de las necesidades básicas a satisfacer.

La cantidad de agua de bebida o llamada también agua dulce que la Base Naval de Baltra posee es producto de viajes que buques tanqueros de la Armada efectúan en el año hacia las Islas.

La falta de agua es una necesidad que no se ha podido satisfacer por completo debido a problemas con el envío de tanqueros que impide que se obtenga en la base un suministro continuo y normal de agua llegando a racionar el uso por horas durante el día, e inclusive en épocas, omitir su uso por falta de este recurso.

Los buques tanqueros que viajan a la isla para abastecerla de agua son dos, y viajan 3 veces por año, lo que implica que se debe racionar su uso por periodos, y, como se mencionó, en momentos que es imperiosa la necesidad, existe la obligación de



solicitar agua a la Base Aérea adjunta que posee un Destilador de agua cuyo funcionamiento es a base de Generadores.

Por esto se ha planteando como investigación este tema, cuya realización e instalación mejoraría de manera notable el modo de vida del personal naval que trabaja y reside en el área.

Objetivo de la Tesis:

El estudio del tema propuesto tiene como objetivo llegar a una conclusión cierta luego de un amplio análisis investigativo de la factibilidad de implementación del Destilador solar, así como los pro y contra que una instalación de este tipo conlleva, tomando en consideración que se intenta eliminar un problema real con la construcción de este tipo de abastecedores de agua dulce, utilizando dos recursos físicos existentes: La energía solar y el agua de mar abundante en la zona.

Metodología a seguir

El avance de la investigación se realizará de la misma forma como se ha presentado el temario, y las fuentes de información serán de autores e investigadores de la energía solar, revistas científicas que hablen del tema y de la red de Internet que abarca las innovaciones en esta área.

El avance será controlado periódicamente por el Director de Tesis, profundizando la investigación en temas que se considere más importantes y que no hayan sido suficientemente investigados.

Resultados que se esperan

Como se ha planteado en el objetivo, el resultado debe ser una afirmación o no de la instalación e implementación del Destilador en la Isla luego del análisis de todos los aspectos investigativos que se han efectuado durante el periodo de estudio del tema.

# INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	II
INDICE GENRAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. ACERCA DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	2
1.1 Una justificación al estudio de la energía solar .....	2
1.2 Naturaleza de la energía solar.....	8
1.3 Radiación solar .....	14
1.4 Estimación y medición de la radiación Solar.....	19
1.5 Almacenamiento de energía.....	26

## CAPITULO 2

2 DESTILACIÓN SOLAR.....	43
2.1 Tipos de destiladores solares .....	44
2.2 Optimización del destilador para la zona.....	59
2.3 Análisis Termodinámico de un destilador.....	63
2.4 Datos de radiación solar (heliofanía) en el área.....	66

## CAPITULO 3

3.DESTILADOR SOLAR APROPIADO.....	76
3.1 Decisión de tipo de Destilador a usar.....	76
3.2 Capacidad volumétrica.....	81
3.3Cálculos de la producción de agua vs. Tiempo requerido.....	87
3.4 Dimensiones físicas del destilador.....	90
3.5 Eficiencia del destilador.....	109

## CAPITULO 4

4.MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	126
4.1 Características de materiales.....	126
4.2 Costos materiales .....	142

4.3 Materiales y equipos adicionales para operación .....146

4.4 Diseño de un prototipo.....150

**CAPITULO 5**

5. ANÁLISIS ECONOMICO.....158

5.1 Economía del proceso..... 158

5.2 Análisis Costo-Beneficio del proyecto.....169

5.3 Viabilidad de la implementación del destilador .....178

5.4 Estimación tiempo vs. Recuperación de la inversión .....184

**CAPITULO 6**

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 191

**APENDICES**

**BIBLIOGRAFIA**



## ABREVIATURAS

Atm	atmósfera
C/B	costo-beneficio
C/I	Costo de inversión
C/T	Costo total
cm	centímetros
E	energía
ed	es decir
Ex	egresos
Fig	figura
IR	infrarrojo
INOCAR	Instituto oceanográfico de la Armada
INAMHI	Instituto nacional de meteorología e hidrológica
L	litros
lbs	libras
m	metro
O y M	operación y mantenimiento
P/F	valor presente de un futuro
RC	recuperación de capital
Rx	ingresos
UV	ultravioleta
$\mu$ m	micras
VA	valor anual
VIS	radiación visible
VP	valor presente
\$	dólares

## SIMBOLOGIA

Ac	área del colector
$\alpha$	absortividad
$\beta$	pendiente del plano de incidencia
$\beta_{CTE}$	coeficiente volumétrico de expansión termica
BTU	British thermal unit
c	velocidad de la luz
Cp	calor específico
°C	grados centígrados
de/dt	flujo de energía interna
$\Delta$	declinación solar
$\varepsilon$	emitancia infrarroja
°F	grados Fahrenheit
G	irradiancia
Go	irradiancia extraterrestre
Gb	irradiancia directa
Gd	irradiancia difusa
Gsc	constante solar
Gal.	galón
g	gravedad
gr	gramos
$\gamma$	acimut de la superficie
H	insolación en un día
h	coeficiente de conveccion
hr	coeficiente de radiación
hp	horse power
I	insolación o irradiación
J	joules

$^{\circ}\text{K}$	grados kelvin
kg	kilogramos
k	conductividad termica
Kcal	kilocalorías
Lbm	libras masa
l	espesor de aislamiento
M	masa
MJ	mega joules
Nu	numero de Nusselt
$\eta$	eficiencia
$\theta$	ángulo de incidencia respecto a la normal
$\phi$	latitud geográfica
$\rho$	densidad
p	perímetro del colector
Psat	presión de saturación
psi	pounds square inch
q	flujo de calor
Req	resistencia equivalente
s	segundos
$\sigma$	constante de radiación Stefann Boltzman
t	tiempo
$\tau$	transmisividad
T	temperatura
Tp	temperatura de placa
Ta	temperatura ambiente
Tg1	temperatura de cubierta 1
Tg2	temperatura de cubierta 2
Tp,m	temperatura fija media de la placa
UL	coeficiente total de perdida de calor
UT	coeficiente total de transferencia de calor
Ub	coeficiente de perdidas de calor por la base
Ue	coeficiente de perdidas de calor por los costados
$\bar{V}$	velocidad promedia del viento
W	watts
$\omega$	ángulo horario
W-h	watts por hora





CIB-ESPOL

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIG 1.3.1 Principales ángulos sobre una superficie inclinada	18
FIG 1.4.1 Piranometro	24
FIG 1.4.2 Heliografo Campbell Stockes	26
FIG 1.5.1 Partes principales de un destilador solar	28
FIG 1.5.2 Resistencia termica en un destilador placa colectora y doble cubierta	34
FIG 2.1.1 Destilador solar de gran profundidad	45
FIG 2.1.2 Destilador solar con paños	46
FIG 2.1.3 Destilador solar esferico de barrido	47
FIG 2.1.4 Destilador de simple efecto	48
FIG 2.1.5 Destilador de poceta o bandeja	50
FIG 2.1.6 Sistema multietapa	51
FIG 2.1.7 Destilador solar multiefecto	52
FIG 2.1.8 Destilador solar híbrido	53
FIG 2.1.9 Destilador de caseta	54
FIG 2.1.10 Diversos modelos de destiladores simples	57
FIG 2.1.11 Destilador plano (Flat)	58
FIG 2.1.12 Destilador con inclinación(Leaner)	58
FIG 2.4.1 heliofania mensual del año 1997	69
FIG 2.4.2 heliofania mensual del año 1998	70
FIG 2.4.3 heliofania mensual del año 1999	70
FIG 2.4.4 heliofania mensual del año 2000	71
FIG 2.4.5 heliofania mensual del año 2001	71
FIG 2.4.6 heliofania mensual del año 2002	72
FIG 2.4.7 heliofania promedio anual 1997-2001	72
FIG 2.4.8 heliofania en Guayaquil 2002	73

FIG 3.1.1	Destilador simple efecto una sola cubierta con canaletas de reacción de agua lluvia	78
FIG 3.4.1	Destilador de prueba	93
FIG 3.4.2	Destilador a usar para proyecto	94
FIG 3.4.3	Destilador vista superior	95
FIG 3.4.4	Destilador vista lateral	96
FIG 3.4.5	Destilador vista frontal	97
FIG 3.4.6	Curva pérdida de energía paredes-espesor aislante	103
FIG 3.4.7	Curva pérdida de energía paredes-costo aislante	104
FIG 3.4.8	Curva volumen destinado-espesor aislante	105
FIG 5.4.1	Diagrama de flujo de efectivo anual	185
FIG 5.4.2	Diagrama de flujo efectivo	189

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.4.1 Promedios mensuales de Heliofania en $W-h/m^2$	67
Tabla 2.4.2 Datos de heliofania de la zona de Sta Cruz. Galápagos	68
Tabla 3.2.1 Dimensiones de destiladores planos	83
Tabla 3.2.2 Dimensión de destiladores inclinados	84
Tabla 3.3.1 Datos de nivel de lluvias en la Isla de Baltra	90
Tabla 3.4.1 Relacion de espesor aislante-precio	102
Tabla 3.4.2 Pendientes de para cobertor de vidrio	108
Tabla 3.4.5 Ángulo de incidencia a 13H00 marzo	113
Tabla 3.5.2 Ángulo de incidencia a 13H00 marzo	114
Tabla 3.5.3 Entalpías de vaporización a diferente Temp. de prueba	120
Tabla 3.5.4 Valores de temperatura promedio de diferentes puntos del destilador	121
Tabla 4.1.1 Propiedades de algunos tipos de sellos	138
Tabla 4.1.2 Usos y características de otros materiales para sellos	139
Tabla 4.2.1 Costos materiales	145
Tabla 4.2.2 Costos transporte de materiales	146
Tabla 4.3.1 Costos equipos y accesorios adicionales	149
Tabla 4.4.1 Temperatura de prueba día 13-07-12	152
Tabla 4.4.2 Temperatura de prueba día 14-07-12	152
Tabla 4.4.3 Temperatura de prueba día 15-07-12	153
Tabla 4.4.4 Temperatura de prueba día 16-07-12	153
Tabla 4.4.5 Temperatura de prueba día 17-07-12	154
Tabla 4.4.6 Temperatura de prueba día 18-07-12	154
Tabla 4.4.7 Temperatura de prueba día 19-07-12	155
Tabla 4.4.8 Temperatura de prueba día 20-07-12	155
Tabla 4.4.9 Temperatura de prueba día 21-07-12	156

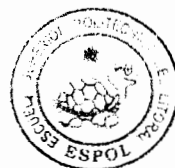
Tabla 4.4.10	Temperatura de prueba día 22-07-12	156
Tabla 4.4.11	Temperatura de prueba día 23-07-12	157
Tabla 4.4.12	Temperatura de prueba día 24-07-12	157

## INTRODUCCION

El presente trabajo realiza un estudio de la factibilidad de uso de un destilador solar en la isla de Baltra, el mismo que debe suplir de una necesidad de agua de 1200 galones diarios. Esta Base Naval tiene una capacidad de almacenamiento efectiva de 60.000 galones, lo cual restringe su uso a 50 días; los buques tanqueros que proveen de este recurso viajan cada tres meses dependiendo de su operatividad, caso contrario el personal de la base debe cumplir un régimen de agua restringido a horarios.

Se pueden usar otros métodos de obtención de agua que no son considerados ambientales y que no van acorde a lo requerido en un medio como Galápagos donde la preservación de la naturaleza es primordial. Por esto se ha optado de usar la forma más natural posible como es el sol para la obtención de agua de bebida.

El objetivo final de este estudio es responder a la interrogante sobre la implementación de una fuente de agua de bebida a partir de agua de mar usando para el efecto un destilador solar.





# CAPITULO 1

## 1. ACERCA DE LA RADIACIÓN SOLAR

La Radiación Solar como fuente alternativa de energía ha sido empleada desde hace años como medio para utilización en diversos campos de la ingeniería. En nuestro estudio deberemos hacer un análisis de este tipo de energía que a continuación se presenta.

### 1.1 UNA JUSTIFICACION AL ESTUDIO DE LA ENERGIA SOLAR

La disponibilidad de recursos energéticos es uno de los factores más importantes en el desarrollo tecnológico de las naciones. A su vez, el desarrollo tecnológico

determina la utilización de ciertos tipos de energía y, por tanto, la disponibilidad de ese recurso.

Los recursos energéticos son usados por el hombre para satisfacer algunas de sus necesidades básicas en forma de calor y trabajo. El calor es necesario para un sinnúmero de aplicaciones, como la climatización del espacio, la cocción de alimentos, o la producción o transformación de algunos compuestos químicos. La utilización doméstica del calor, con el dominio del fuego en las épocas prehistóricas y la invención de las máquinas térmicas a partir del siglo XVII, constituyen algunos de los logros tecnológicos más grandes en la historia de la humanidad. El trabajo, por otro lado, se utiliza para una variedad de procesos en los que hay que vencer fuerzas de oposición: para levantar una masa en un campo gravitacional; para deformar un cuerpo, estirar una liga o un resorte o hacer fluir un líquido o gas; para la mayoría de los procesos industriales, al transformar materia prima en producto terminado; para el transporte de personas y de mercancías y hasta para tocar cualquier instrumento musical. Calor y trabajo, en el sentido aquí expuesto, son dos necesidades básicas en cualquier grupo humano, del nivel social, económico o tecnológico que se quiera. Para producirlos, el hombre ha utilizado, a lo largo de su historia, una gran variedad de recursos energéticos. Al principio de nuestra era, por ejemplo, el calor -para calefacción, cocina, etc.- era producido en gran medida por medio de la combustión de leña, mientras que el trabajo en pequeña escala era producido por

la fuerza humana, a mediana escala se obtenía de ciertos animales domesticables - caballos, burros, bueyes, etc.- y a gran escala podía extraerse, por ejemplo, del viento que se utilizaba para mover los grandes veleros mercantes y de guerra. Las primeras máquinas térmicas de uso práctico aparecieron hacia finales del siglo XVII. En la segunda mitad del siglo XVIII, el escocés James Watt perfeccionó la máquina de vapor y con ello se facilitó la producción industrial de cantidades relativamente grandes de trabajo a partir de la combustión, primero de leña y después de carbón mineral. A principios del siglo XIX ya existían en Inglaterra y en Estados Unidos algunos barcos de vapor que efectuaban viajes comercialmente. Antes del segundo tercio de l mismo siglo, entró en servicio en Inglaterra un ferrocarril propulsado por una máquina de vapor. Las máquinas de vapor eran de "combustión externa". Este concepto implica que la fuente de calor que se utilice no es muy importante, siempre que cumpla con ciertos requisitos. Así, una máquina de vapor que puede funcionar con leña, también puede hacerlo con carbón, con petróleo o con ciertos residuos de basura. Hace más de cien años, se construyó en Francia una máquina de vapor cuya fuente de energía era el Sol. Hacia mediados del siglo XIX se inventaron los primeros motores de combustión interna. Estos requieren un combustible muy específico para funcionar.

#### La idea de no contaminación:

Con el tiempo, debido a razones técnicas y económicas, los motores de combustión interna, principalmente los de gasolina y diesel, se hicieron cada vez



más seguros, confiables, económicos y, por tanto, abundantes. Aparecieron también otras máquinas térmicas, como las turbinas y los motores a reacción, que también consumen combustibles muy específicos. Fue así como nuestra sociedad se fue haciendo extraordinariamente dependiente de los combustibles fósiles. Los combustibles fósiles comprenden principalmente el petróleo y sus derivados (gasolinas, diesel, turbosina, etc.), el gas natural y el carbón mineral.

Al principio de la explotación de estos recursos, se consideraban ilimitados y su impacto ambiental era despreciable. Sin embargo, debido al extraordinario crecimiento de la población mundial (y nacional), junto con el aumento en el consumo per. cápita de estos recursos, sólo queda petróleo disponible para su explotación económica durante la primera mitad del siglo XXI. Por otro lado, el consumo masivo de hidrocarburos está produciendo ya alteraciones de la atmósfera a nivel mundial. Los niveles de bióxido de carbono que se detectan actualmente son significativamente mayores que los que existían en 1950. Esto produce el conocido efecto invernadero, que está produciendo ya un incremento en las temperaturas promedio mundiales. No es objeto de esta tesis discutir las implicaciones geográficas, biológicas, agrícolas, económicas y sociales de este calentamiento atmosférico, pero es obvio que una alteración artificial no controlada y con consecuencias que no conocemos, no puede ser deseable. Los combustibles fósiles también son causantes de la llamada lluvia ácida, que en los bosques cercanos a las áreas altamente industrializadas está causando grandes

daños al suelo, y por tanto a la flora y la fauna. En las grandes ciudades, la combinación de las emisiones de gases de combustión, con algunos otros fenómenos naturales, como las inversiones térmicas, la humedad y la radiación solar produce algunos efectos indeseables para la salud humana, como el humo niebla (smog), las altas concentraciones de ozono y, en general, la concentración de componentes indeseables en la atmósfera. Tanto por razones económicas (próxima escasez de hidrocarburos) como ecológicas (alteración de la atmósfera y el suelo), es imperativo el desarrollo de nuevas alternativas energéticas, que sean menos agresivas contra el ambiente. El actual esquema de consumo energético a nivel global, simplemente no es sustentable, es decir, no puede mantenerse indefinidamente sin amenazar su propia existencia. Algunos modelos que consideran los efectos que está teniendo actualmente el uso y abuso de los combustibles fósiles, considerando las posibles tendencias futuras, amenazan con producir una catástrofe en contra de la humanidad, antes de que termine el siglo XXI. Existen muchas alternativas energéticas. Algunas de ellas no han sido desarrolladas por limitaciones técnicas y económicas, otras se ha utilizado sólo parcialmente

### Fuentes de Energía renovable.

Se llama energía renovable la que, administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible (en la Tierra) no

disminuye a medida que se aprovecha. Para tener un esquema de desarrollo sustentable es indispensable que la mayoría de los recursos, y particularmente la energía, sean del tipo renovable.

La principal fuente de energía renovable es el Sol. El Sol envía a la Tierra únicamente energía radiante, es decir, luz visible, radiación infrarroja y algo de ultravioleta. Sin embargo, en la atmósfera se convierte en una variedad de efectos, algunos de los cuales tienen importancia como recurso energético, tal es el caso de la energía eólica, la energía de la biomasa, la diferencia de temperaturas oceánicas y la energía de las olas.

### Energía Solar.



La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra. Nuestro país tiene una considerable (tendiendo a ser alta) incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio;

### Energía Solar Directa:



Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos

productos en procesos de producción con tecnología simple.

### Energía Solar Térmica.

Se denomina "térmica" la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas. La mayoría de este curso se centra en este tipo de aprovechamiento de la energía solar.

### Energía Solar Fotovoltaica.

Se llama "fotovoltaica" la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.



CIB-ESPOL

## **1.2 NATURALEZA DE LA ENERGIA SOLAR**

Para los fines del aprovechamiento de su energía, el Sol es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, con un diámetro de  $1.39 \times 10^9$  m, situado a la distancia media de  $1.5 \times 10^{11}$  m respecto de la Tierra. Esta distancia se llama unidad astronómica.

Se estima que la temperatura en el interior del Sol debe ser del orden de 10000000 °K, pero en la fotosfera, es decir, en la superficie externa del Sol, la temperatura "efectiva de cuerpo negro" es de 5762 °K (e.d., calculada según el modelo radio activo de un cuerpo negro). Existen, sin embargo, otras formas de calcular la temperatura de la fotosfera, que dan como resultado alrededor de 6300 °K. Es claro que nadie ha colocado un termómetro en la superficie del Sol. Su temperatura se mide por métodos indirectos, basados en diversos modelos. De ahí que no coincidan todas las estimaciones de su temperatura.

Algunos datos interesantes acerca del Sol son los siguientes: el Sol genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión -por ejemplo dos átomos de hidrógeno que producen helio, o uno de helio y uno de hidrógeno que producen litio, etc.- que se llevan a cabo en su núcleo. La generación de energía proviene, por tanto, de la pérdida de masa del Sol, que se convierte en energía de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein,  $E = Mc^2$ , donde E es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa M ; c es la velocidad de la luz.

El núcleo solar es la región comprendida dentro del 23% de su radio, a partir del centro, que corresponde a tan sólo el 15% del volumen, pero en cambio contiene el 40% de la masa y ahí se genera el 90% de la energía. En esa región, la temperatura es del orden de 107 °K y la densidad es del orden de 105 kg/m<sup>3</sup>. (Recordemos que la densidad del agua es 103 kg/m<sup>3</sup>).

A una distancia del 70% del radio solar, la temperatura es del orden de 105K y la densidad es de unos  $70\text{kg/m}^3$ . La zona que va del 70% al 100% del radio solar, se conoce como zona convectiva y su temperatura cae hasta 5000 a 6000 °K, mientras que la densidad desciende a  $10\text{-}5\text{kg/m}^3$ . La capa externa de esta región recibe el nombre de fotosfera y es considerada como la superficie del Sol, por ser ésta una región opaca, de donde se emite la gran mayoría de la radiación solar hacia el espacio; opaco, significa que no deja pasar la radiación, por ejemplo, un espejo es opaco; una fuente luminosa puede ser opaca, por ejemplo, una lámpara de neón, emite luz desde su superficie, pero no podemos ver su interior: es opaca. Por tanto, el significado técnico de esta palabra es diferente del que le damos en el lenguaje común. Técnicamente, lo opuesto a opaco es transparente.

La fotosfera es la superficie aparente del Sol cuando se observa con un filtro adecuado, filtro de soldador del #14, por ejemplo. Por ser opaca, la fotosfera impide observar el interior del Sol. Sin embargo, es claro que, como todo el Sol, desde el núcleo hasta su superficie se encuentra en forma gaseosa, no hay una superficie física claramente definida, como la hay en la Tierra. Sobre la fotosfera existen también gases, en condiciones tales que son esencialmente transparentes, que se conocen como la corona solar, observable durante los eclipses totales de Sol. La corona solar es la atmósfera del Sol. De forma similar a como sucede en la Tierra, la corona es cada vez más tenue a medida que se está a mayor distancia

del núcleo solar, hasta confundirse con el vacío relativo que existe en el espacio interestelar.

La combinación de tres factores: la distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y la temperatura del Sol, determinan un flujo luminoso, e. d., un flujo de energía que incide sobre la superficie de la Tierra. En esta y las próximas secciones, veremos cómo se calcula ese flujo de energía bajo diversas condiciones.

El flujo luminoso, es un flujo de energía, tiene unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo,  $\text{J}/\text{sm}^2$ , equivalentes a  $\text{W}/\text{m}^2$ .

Mucho se ha discutido acerca de si el Sol emite un flujo de energía constante, o se trata de una estrella variable. Algunos estudios parecen indicar que la variación de la emisión de energía, por parte del Sol, es menor al 1% a lo largo de un ciclo solar, que dura 22 años. No se conoce a ciencia cierta la causa de estas variaciones. Sin embargo para su aplicación en el campo de la ingeniería, la emisión de energía en el Sol puede considerarse constante. El recurso energético solar está mucho más ligado, en la superficie terrestre, a las variaciones meteorológicas, que a las solares.

La radiación emitida por el Sol, junto con sus condiciones geométricas respecto de la Tierra, dan por resultado que, sobre la atmósfera terrestre, incida una

cantidad de radiación solar casi constante. Esto ha dado lugar a la definición de la llamada constante solar.

La constante solar, es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera.

Aclaremos algunos puntos de esta definición. Primero, es un flujo de energía, es decir, la constante solar se refiere a una cantidad de energía que incide, instantáneamente, sobre una superficie de área unitaria. Segundo, esta superficie hipotética es perpendicular o normal a la dirección de propagación de la luz, lo cual en lenguaje no técnico equivale a decir que "ve al Sol". Es obvio que una superficie en posición oblicua respecto de la dirección del Sol, recibiría un menor flujo de energía. Tercero, nuestra superficie hipotética se encuentra situada a la distancia media de la Tierra al Sol. Es claro que la distancia desde la fuente de radiación hasta el plano en cuestión, influye fuertemente en el flujo de energía. Todos sabemos que la intensidad de la radiación solar es mucho mayor en Mercurio que en la Tierra, y que en nuestro planeta es mucho mayor que en Plutón. Como la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es circular, por lo tanto, la distancia Tierra-Sol no es constante, debe considerarse un valor promedio, para poder hablar de una constante. Por último, la superficie hipotética, debe estar colocada fuera de la atmósfera, para evitar la atenuación de la radiación



causada por la diversidad de fenómenos físicos y químicos que se verifican en la atmósfera.

El valor comúnmente aceptado para la constante solar ha variado en los últimos años, según las técnicas de medición que se han empleado, lo cual no indica que haya variado en sí la magnitud de la energía que se recibe del Sol. Podemos usar el valor:

$$G_{sc} = 1353 \text{ W / m}^2 \quad (1.2.1)$$

que, en otras unidades equivale a:

$G_{sc} = 1.940 \text{ cal/cm}^2\text{min} = 428 \text{ Btu/ft}^2\text{hr} = 4871 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$  Estos valores fueron aceptados por la NASA (1971) y por la ASTM.

### DISTRIBUCION ESPECTRAL DE LA RADIACION SOLAR.

El Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma, hasta las ondas de radio. Sin embargo, para los fines del aprovechamiento de su energía, sólo es importante la llamada radiación térmica que incluye sólo el ultra violeta (UV), la radiación visible (VIS) y la infrarroja (IR). Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación en virtud de su temperatura. A mayor temperatura ocurren dos cambios en la radiación emitida:

1. La intensidad de la emisión es mayor, refiriéndose a, un mayor número de  $W/m^2$  que abandonan el cuerpo.
2. El color o tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda, esto es, del IR al VIS y al UV, a medida que aumenta la temperatura.

La fotosfera se encuentra a unos 6000 °K y, por tanto, emite un cierto flujo de energía correspondiente a esa temperatura.

#### VARIACION DEL FLUJO DE ENERGIA CON LA DISTANCIA.

Cuando se tiene una fuente luminosa que emite en todas direcciones, la intensidad luminosa o flujo de energía varía inversamente con el cuadrado de la distancia a la fuente emisora.



CIB-ESPOL

### 1.3 RADIACION SOLAR

#### TIPOS DE RADIACION Y SUS RELACIONES GEOMETRICAS.

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera, de modo que es necesario manejar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación. Las siguientes definiciones ayudan a aclarar estos conceptos.

## Definiciones

Radiación Directa: Se conoce como radiación directa, la que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa. Generalmente se usa el subíndice "b" para indicar radiación directa, por el término que se utiliza en inglés: beam (haz, rayo).

Radiación Difusa : La radiación difusa es la que se recibe del Sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la Luna. Suele utilizarse el subíndice "d" para la radiación difusa.

Radiación Terrestre : Por otro lado, se conoce como radiación terrestre la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago, etc.

Radiación Total : Se conoce como radiación total, la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. Por ejemplo, sobre una pared o una ventana, incide la radiación directa del Sol, la difundida por las nubes y por el cielo y, además, puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto

frente a la pared o ventana. Un caso particular, pero de mucho interés práctico en el estudio de la energía solar, es el medir la radiación total sobre una superficie horizontal "viendo" hacia arriba . En este caso puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce también como radiación global. Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa.

Irradiancia: Para expresar la potencia solar y en general, de cualquier radiación se utiliza el término irradiancia. La irradiancia,  $W/m^2$ , es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie, por unidad de área. Generalmente se usa el símbolo  $G$  para la irradiancia, junto con los subíndices adecuados:  $G_o$ ,  $G_b$ ,  $G_d$ , para la irradiancia extraterrestre, directa, difusa, etc. Nótese que la irradiancia tiene la virtud de indicar muy claramente que la radiación es un fenómeno que transcurre en el tiempo, que "va de pasada", que no es estático. Es energía que incide instantáneamente sobre una superficie.

Cuando incide la radiación sobre un plano, durante un tiempo determinado, puede hablarse entonces de que incidió una cierta cantidad de energía. La cantidad de energía, por unidad de área, que incide durante un período de tiempo dado, recibe el nombre de irradiación,  $J/m^2$ , y no es otra cosa que la integral de la irradiancia durante el período en cuestión. Generalmente se usa el símbolo "I" para la insolación por hora, mientras que "H" se usa para la insolación en el período de un día. Se aplican los mismos subíndices, por ejemplo:  $H_o$  simboliza la

irradiación extraterrestre en un día;  $I_d$  simboliza la irradiación difusa en una hora, etc.

De acuerdo con lo anterior, la relación entre la irradiación y la irradiancia está dada por la expresión:

$$I(t) = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt \quad (1.3.1)$$

en donde la irradiación se está calculando desde el tiempo  $t_1$  hasta el tiempo  $t_2$  y la irradiancia  $G(t)$  se considera función del tiempo.

## PRINCIPALES ANGULOS EXISTENTES SOBRE UN PLANO DE INCIDENCIA

Consideremos por ahora el cálculo de la radiación directa sobre una superficie. El flujo de energía sobre una superficie determinada depende no sólo de la irradiancia que exista, sino también de la orientación que tenga la superficie en cuestión respecto de la dirección de propagación de la radiación. La irradiancia será máxima sobre un plano que esté en posición normal a la dirección de propagación de la radiación (es decir, que le dé "de frente" o "de cara"). En cambio, será mínima si el plano es paralelo a la radiación (es decir "de canto"). La intensidad de radiación sobre la superficie dependerá pues, del ángulo que

forme la normal de la superficie, respecto de la dirección de propagación de la radiación.

La FIG.1.3.1 muestra los diferentes ángulos a analizar para el cálculo de la energía neta que llega a una superficie.

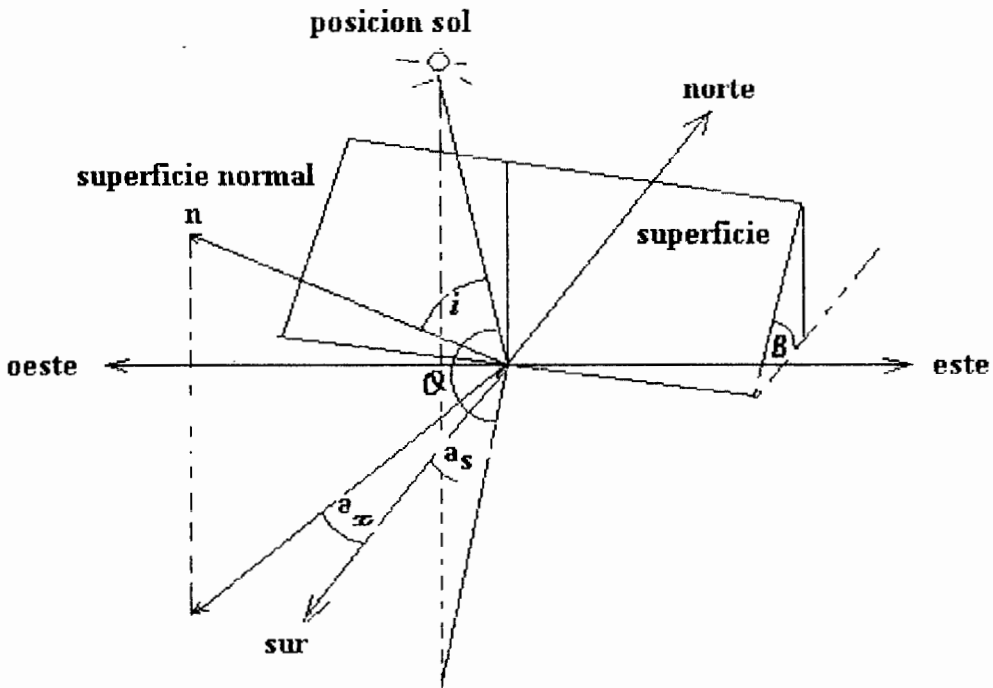


FIGURA 1.3.1 PRINCIPALES ANGULOS SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA

.  $i$  :Este ángulo se conoce con el nombre de ángulo de incidencia. Entonces, la irradiancia incidente sobre la superficie será:

$$G_t = G_n \times \cos \theta \quad (1.3.2)$$

$$G_n = G_t \times \cos 90 = G_n \quad (1.3.3)$$

en donde  $G_T$  se refiere a la irradiancia sobre un plano con cualquier inclinación (de "tilted") y  $G_n$  se refiere a la irradiancia medida sobre un plano normal a la dirección de propagación de la radiación.

Si se conoce la irradiancia normal -por ejemplo, la constante solar  $G_{sc}$  es una irradiancia normal y se conoce el ángulo  $\theta$ , mediante la ecuación anterior se puede calcular la irradiancia sobre un plano con cualquier inclinación. Como el Sol describe un movimiento aparente a lo largo del día (de oriente a poniente), y otro a lo largo del año (de sur a norte y viceversa), el valor del ángulo varía con la fecha y la hora, además de hacerlo con la orientación del plano, su inclinación respecto de la horizontal y la latitud geográfica del lugar donde se encuentre el plano en cuestión.

#### 1.4 ESTIMACIÓN Y MEDICION DE LA RADIACIÓN SOLAR

La Constante Solar La intensidad total de energía de radiación solar extraterrestre medida fuera de la atmósfera de la tierra e integrada sobre el espectro solar es llamada constante solar. Esta debe ser corregida a la distancia tierra sol, por tanto esta variación de la intensidad con ese cambio de distancia debe ser tomado en consideración. El termino constante es un nombre histórico pero en realidad varia;

sin embargo la variación no es tan grande como para causar un efecto practico desproporcionado al momento del cálculo.

Intentos por determinar el valor de la constante solar han sido realizados desde inicios del siglo anterior. Mediciones múltiples indican un valor de  $1.37 \text{ KW/m}^2$ . Por tanto, tomando en cuenta la variación de la distancia tierra-sol durante el año, la intensidad de radiación solar extraterrestre fuera de la atmósfera de la tierra varia desde  $1.32$  a  $1.47 \text{ KW/m}^2$ .

### Medidores de Radiación:

Existen varios tipos de instrumentos en uso para medición tanto de intensidad de radiación solar como de energía solar en un intervalo de tiempo dado.

La mayoría de los instrumentos miden la intensidad de algún componente de radiación solar como la intensidad del componente directo o la del componente difuso, obteniendo un total de energía sumando estos dos.

Pirheliómetros: Es un tipo de instrumentos de incidencia normal usados para medir la intensidad de la radiación solar directa sobre una superficie normal a la dirección del rayo de sol. Como medida son directamente aplicables para colectores de concentración el cual utiliza el componente directo de la radiación .





Piranómetros: Este tipo de instrumentos ha sido mayormente empleado, mide la intensidad de energía radiante que llega desde todas direcciones. Esta radiación es llamada total o global. En una posición horizontal un piranómetro mide la intensidad total, energía difusa mas directa. Si es inclinada la superficie, la porción difusa incluye la radiación reflejada desde la parte que el instrumento “mira”.

Para mediciones solamente de radiación difusa se puede utilizar piranómetros también con la diferencia de que se hace sombra sobre el elemento sensor de radiación del rayo de sol con un disco llamado opaco lo cual resultará en una medición parcial de energía que es la difusa.

### DATOS DE RADIACIÓN SOLAR EN NUESTRO PAIS

En el Ecuador existen organismos dedicados a la medición y estudio de condiciones climáticas que se presentan . Existen datos de radiación y heliofania de años anteriores tabulados en folletos de información diversa que presenta el INAMHI al igual que el INOCAR. Algunos datos recientes se presentaran en las tablas de heliofania para las islas Galápagos , tabla 2.4.1 y 2.4.2 que dan una idea del promedio de radiación a utilizar en las islas Galápagos. Organismos particulares con fines de lucro también poseen esta información detallada diaria ,

mensual de diferentes zonas, y por diferentes motivos no son divulgados públicamente.

### ESTIMACION DE LA RADIACION EN UN DIA DESPEJADO.

Hasta ahora sólo hemos calculado la radiación extraterrestre. La atmósfera ejerce un efecto de redistribución de la radiación que recibe del Sol. Por ejemplo, en un día muy despejado, una parte relativamente pequeña se convierte en radiación difusa, mientras que la mayor parte permanece como directa. La radiación difusa, en un día despejado, es la que proviene del cielo azul. En cambio, en un día nublado, la redistribución de la radiación es mucho más notable. Las nubes densas tienen un albedo (fracción de energía reflejada) muy alto, lo cual hace que, en un día densamente nublado, una gran parte de la radiación solar se refleje al espacio exterior. Además, la energía que logra pasar a través de las nubes, es únicamente radiación difusa.

Es muy difícil desarrollar modelos para predecir con precisión la presencia de nubes (posición, densidad, etc.). Existen modelos para predicción de "días promedio" en cierta fecha, pero no para fechas específicas. Por otro lado, desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía solar, no es interesante la predicción para fechas específicas, pese a que para los meteorólogos éste sea un reto interesantísimo.

En cambio, existe una diversidad de modelos para estimar la radiación solar para días despejados.

La siguiente formula empírica da la intensidad de la componente normal directa de radiación solar :

$$G = G_{ext} \times \exp\left[-0.1457(pm / 1000) - 0.1617(Wm)^{0.25}\right] \quad (1.4.1)$$

p : presión atmosférica en milibares

m: masa de aire a nivel del mar

W: vapor de agua atmosférica contenido en centímetros

$I_{ext}$ : radiación extraterrestre (que puede encontrarse tabulada)

### MEDICION DE LA RADIACION SOLAR.

Para muchas aplicaciones prácticas, no basta con calcular la radiación teórica que incide sobre un lugar o sobre un equipo solar determinado. Es necesario hacer las mediciones, para tener los valores efectivos de energía disponible o incidente sobre un colector.

Existen varios métodos para medir la radiación solar, ya sea en forma de irradiancia o de irradiación. El método más aceptado comúnmente, es el uso de un piranómetro.

Un piranómetro, es como conocemos un instrumento para medir la irradiancia global (directa más difusa), usualmente sobre una superficie horizontal.

El tipo más común de piranómetros, consiste en dos sensores de temperatura, uno de ellos expuesto a la radiación solar y ennegrecido y el otro, protegido de la radiación. Si los dos sensores se encuentran en condiciones similares en todo, menos en el hecho de estar expuestos a la radiación, habrá una diferencia de temperatura entre ellos. La hipótesis de trabajo de un piranómetro, es que la irradiancia es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos sensores. Para evitar ruido en las lecturas, causado por el viento y otros factores meteorológicos, el sensor expuesto a la radiación (y a veces también el otro) suelen estar protegidos por un hemisferio de vidrio. Este hemisferio, de características ópticas adecuadas, permite el paso de la radiación, pero evita el enfriamiento por viento, lo cual alteraría la lectura.



FIG .1.4.1 PIRANOMETRO

Un piranometro ,mostrado en la FIG. 1.4.1 se usa para medir radiación directa y difusa por separado, de la siguiente forma. Se requieren dos piranómetros. Uno de ellos se instala horizontalmente y mide radiación global. Al otro se le coloca una

"sombra" que consiste en una banda o un disco para obstruir la radiación directa. Entonces, este piranómetro medirá sólo radiación difusa. La resta de la global menos la difusa, da como resultado la directa.

Otro instrumento para medir radiación solar es el pirheliómetro. El pirheliómetro es un instrumento que se enfoca directamente al Sol para medir exclusivamente la radiación que proviene de él y de sus alrededores cercanos. Es decir, es un instrumento que mide radiación directa. A diferencia del piranómetro, que suele instalarse fijo, el pirheliómetro debe contar con un sistema de movimiento de relojería para seguir el Sol con gran precisión.

La información generada por un piranómetro debe ser registrada, ya sea por un método gráfico o electrónico. Esto permite entonces integrar las irradiancias en periodos dados, para obtener la irradiación correspondiente.

Cuando la irradiancia medida está muy por debajo de la de atmósfera clara, se debe generalmente a la aparición de nublados (suponiendo que no se trata de la sombra de un árbol, o de un eclipse). Por otro lado, ocasionalmente puede ocurrir que la radiación medida sea mayor que la calculada con el modelo de atmósfera clara. Esto puede suceder por varias razones: a) porque efectivamente haya una mayor irradiancia que la calculada, b) porque las nubes que rodean al Sol (aparentemente) produzcan un efecto de concentración de la radiación,

exagerando la lectura y c) por defecto del instrumento, que no responda adecuadamente a ciertas condiciones meteorológicas.

Existe otra opción para medir radiación, por medio de un heliógrafo mostrado en la Fig. 1.4.2 que mide horas de sol, éstas traducidas a energía mediante una constante nos puede dar la irradiación promedio en un día determinado.

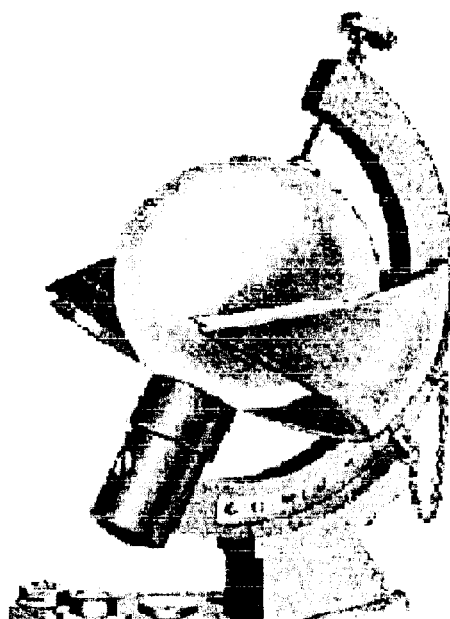


FIG 1.4.2 HELIOGRAFO CAMPBELL STOCKES

## 1.5 ALMACENAMIENTO Y COLECCION DE ENERGIA

Un colector solar, como se menciona en (22), es una especie de intercambiador de

calor que transforma la energía radiante en calor. La transferencia de energía se hace desde una fuente radiante (sol), hacia un fluido (agua o aire generalmente) que circula por los tubos o ductos del colector. El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar (longitudes de onda entre 0.29 y 2.5  $\mu\text{m}$ ) y es por naturaleza variable con el tiempo. En condiciones óptimas podemos esperar como máximo, flujos de 1100  $\text{W}/\text{m}^2$ . De esta forma, un análisis de colectores solares presenta problemas relacionados con radiación y flujos de energía pequeños y variables.

Dentro de los diversos tipos de colectores solares, los colectores solares planos son los más comunes. Estos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde se requiere que la energía sea liberada a bajas temperaturas, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente pasa los 100 °C.

Las ventajas que podemos obtener de este tipo de colectores con respecto a los colectores de enfoque, que concentran la radiación solar; es que éstos utilizan la energía solar directa y difusa, no requieren movimiento continuo para dar seguimiento al sol, prácticamente no necesitan mantenimiento y son mecánicamente de construcción más simple que los colectores concentradores. Las principales aplicaciones de estos dispositivos son en el campo del calentamiento de agua a nivel doméstico e industrial, acondicionamiento calorífico de edificios y secado de fruta y granos.

## DESCRIPCION GENERAL DE UN COLECTOR SOLAR PLANO

Las partes más importantes de un colector solar plano se presentan en la FIG.1.5.1 .La energía solar incidente, tiene que atravesar una o varias capas de vidrio o algún otro material transparente adecuado, antes de alcanzar la placa de absorción negra que es el elemento más importante del colector solar.

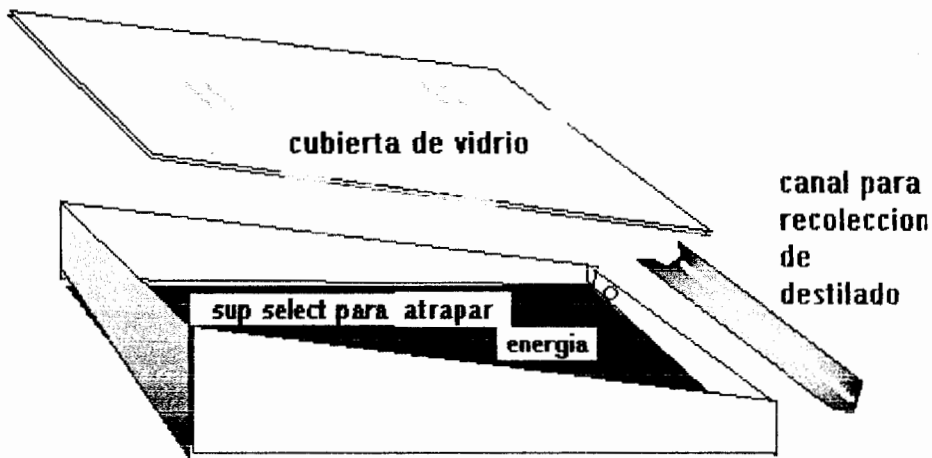


FIG. 1.5.1 PARTES PRINCIPALES DE UN DESTILADOR SOLAR

En esta placa, es donde la energía radiante es convertida en calor. Este calor, posteriormente es transferido por conducción hacia el fluido de trabajo ,agua, que es el que finalmente remueve la energía térmica del colector, según la aplicación que se le esté dando. El vidrio o su equivalente, además de permitir la entrada de la radiación solar hasta la placa de absorción, sirve también para minimizar las



pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente por la parte superior del colector.

El aislante térmico (espuma de poliuretano, polietileno, lana de fibra de vidrio pumafon o algún otro) colocado en la parte posterior y lados del colector, disminuye también las pérdidas de calor hacia el medio ambiente en esas partes. Todas las partes mencionadas se encuentran dentro de una caja que sirve como parte estructural del colector y que puede ser hecha de diversos materiales como lámina metálica, madera o plástico.

El diseño de cada colector depende fundamentalmente de la aplicación específica a la cual vaya a destinarse.

Algunos de los parámetros más importantes que se tienen que tomar en cuenta para su diseño y funcionamiento, son los siguientes: espesor y acabado de la placa de absorción o aleta; número y tipo de capas o cubiertas transparentes; tipo de aislante y espesor; tipo de fluido de trabajo y flujo de masa del mismo; inclinación y orientación del colector; condiciones ambientales como velocidad del viento y temperatura del aire y, por supuesto, la intensidad de la radiación solar.

## TIPOS DE COLECTORES SOLARES PLANOS.

Los colectores solares planos pueden ser divididos en dos categorías básicas: los que utilizan como fluido de trabajo un líquido (agua) y los que utilizan un gas (aire). En general los que calientan aire manejan flujos mucho más grandes que los que calientan agua. También podemos decir que cuando se trabaja con un líquido, este fluye normalmente por un tubo adherido a la placa absorbedora o aleta; mientras que cuando se utiliza un gas, este fluye por un ducto que forma parte de la placa de absorción y que además puede tener muy diversas formas.

## BALANCE DE ENERGIA EN UN COLECTOR SOLAR PLANO.

Solo una parte de la radiación total incidente sobre una superficie puede ser realmente transferida al fluido de trabajo, debido a las perdidas por reradiación, conducción y conveccion, otra parte se pierde por la reflexión en las cubiertas y en las placas, otra es almacenada en los componentes propios del colector , esta ultima es despreciable en estado estable, cuando el colector alcanza su equilibrio termodinámico.



El performance térmico de cualquier tipo de colector solar puede ser evaluado por un balance de energía que determina la cantidad de radiación que llega y que se entrega como energía útil a un fluido de trabajo. El balance es el siguiente :

$$I_c \times A_c \tau_s \alpha_s = q_u + q_{perdidas} + \frac{du}{dt} \quad (1.5.1)$$

donde :

$I_c$  : irradiación solar incidente sobre la superficie plana

$A_c$ : área del colector

$\tau_s$  : transmisividad efectiva del cobertor del colector

$\alpha_s$  : Absortividad de la superficie plana

$q_u$ : flujo de calor desde la superficie colectora al fluido de trabajo

$q_{perdidas}$  : flujo de calor a los alrededores

$de/dt$  : flujo de energía interna almacenada en el colector

Por otro lado, tenemos que la forma de medir el funcionamiento del colector es mediante la eficiencia de colección . Esta se define como la relación entre el calor útil y la energía solar incidente sobre el colector en un mismo período de tiempo.

Analíticamente se representa,

$$\eta_c = \frac{q_{util}}{I_c \times A_c} \quad (1.5.2)$$

De la ecuación anterior, vemos que se hace necesario conocer el calor útil para poder calcular la eficiencia del colector. Si se quiere conocer  $q_u$  por medio del balance de energía se tienen que conocer las pérdidas de calor, que son función del coeficiente total de pérdidas de calor,  $U_L$ . Conociendo alguno de estos dos términos,  $q_u$  o  $q_{perdidas}$ , podemos resolver la ecuación del balance de energía, dado que el calor absorbido lo podemos obtener por medición experimental y conociendo las características ópticas  $\tau\alpha$  de los materiales utilizados en la construcción del colector. A continuación se analiza cómo podemos evaluar alguna de las variables mencionadas para poder conocer el funcionamiento del colector.

#### COEFICIENTE TOTAL DE PÉRDIDAS DE CALOR.

La evaluación numérica del coeficiente total de pérdidas de calor  $U_L$  requiere de un análisis detallado. Debido a que es indispensable conocer este valor para poder evaluar el calor útil o las pérdidas de calor, a continuación se presenta un modelo matemático de cómo obtenerlo. El modelo toma en cuenta cómo contribuyen las distintas pérdidas de calor al coeficiente total, dando la oportunidad de analizar cada una por separado, y además hace los siguientes supuestos:

1. El colector opera en estado estable.
2. Los cabezales proveen un flujo uniforme por los tubos.
3. La absorción de la energía solar en las cubiertas es despreciable.
4. El flujo de calor a través de las cubiertas y el fondo del colector es unidimensional.
5. Las cubiertas son opacas a la radiación infrarroja.
6. La irradiación sobre la superficie del colector es uniforme.
7. El firmamento se comporta como un cuerpo negro que emite radiación infrarroja a una temperatura equivalente.

El proceso para calcular el coeficiente  $U_L$  se basa en un circuito térmico de un colector solar como el que se presenta en la FIG.1.5.1, que en este caso utiliza dos cubiertas de vidrio, cubierta superior y cubierta inferior.

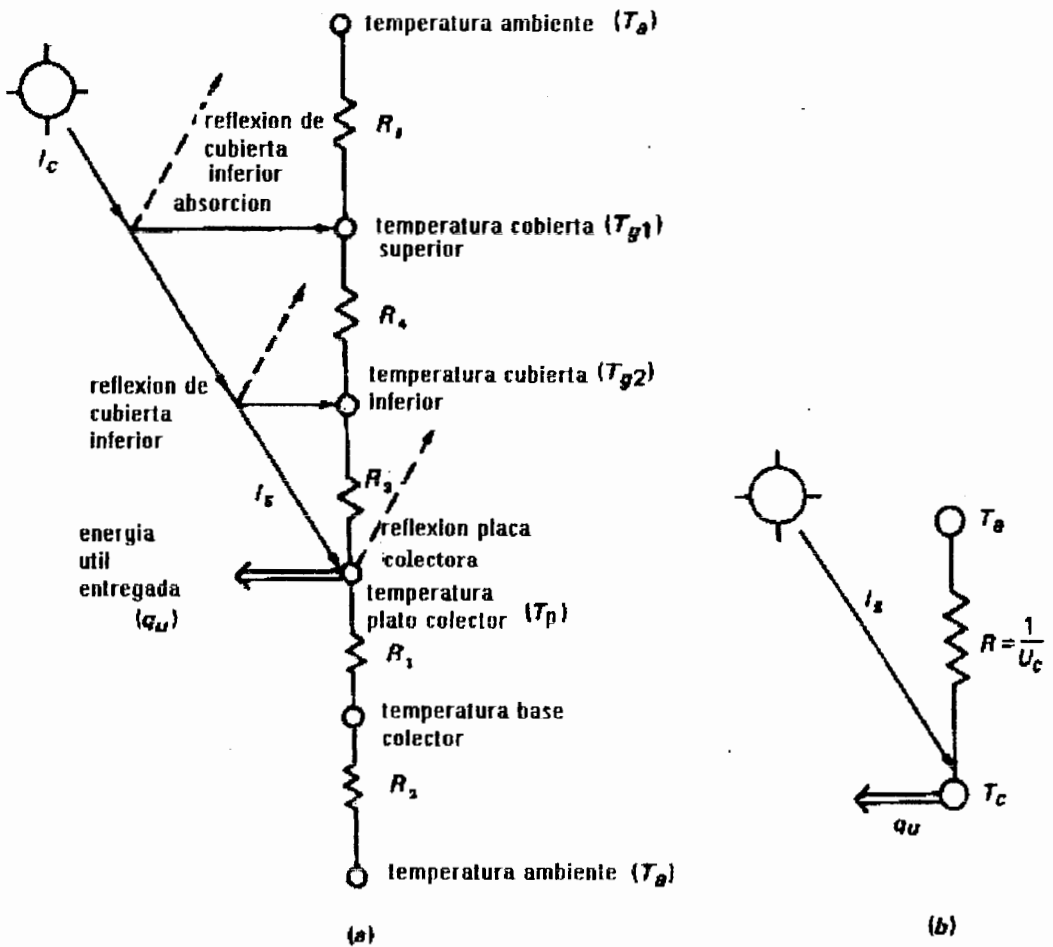


FIG.1.5.2 RESISTENCIAS TERMICAS EN UN DESTILADOR PLACA COLECTORA Y DOBLE CUBIERTA

Este nos muestra que, de la energía absorbida en el colector a través de la placa colector (p), que se encuentra a la temperatura  $T_p$ ; parte se convierte en calor útil  $q_u$  y parte tiende a disiparse hacia los alrededores que se encuentran a la temperatura ambiente  $T_a$ , a través de las cubiertas de vidrio que se encuentran respectivamente a las temperaturas  $T_{g1}$  y  $T_{g2}$ . Esto también ocurre a través del

fondo y lados del colector que se encuentran a una temperatura  $T_b$ . La cantidad de energía disipada depende de las diversas resistencias que vienen esquematizadas en el diagrama y que en este caso son 5.

De la FIG.1.5.1, se puede observar que las resistencias  $R_1, R_3, R_4$  y  $R_5$ , son a la vez resistencias equivalentes que representan la oposición a las pérdidas de calor por convección ( $1/h$ ) y radiación ( $1/hr.$ ) a través de la parte superior y posterior del colector.  $R_2$  constituye la resistencia a la conducción a través del aislante térmico por la parte posterior y lados del colector. La idea es tratar de obtener una resistencia equivalente ( $R_{eq}$ ) como la que representa la figura b de FIG.1.5.1. Esta resistencia es igual al inverso del coeficiente total de pérdidas de calor,

$$R_{eq} = \frac{1}{U_l} \quad (1.5.3)$$

Podemos decir entonces, que  $U_l$  es la suma de varios coeficientes de pérdidas de calor, que se pueden expresar también como el inverso de sus resistencias, así:

donde  $U_t$  es el coeficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector, y es igual al inverso de la suma de las últimas tres resistencias, y  $U_b$  y  $U_e$ , son los coeficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo y lados respectivamente, que tienen que ver con  $R_2$ . Además, estos coeficientes también

tienen relación con las dimensiones del colector y el tipo y grosor del aislante utilizado, de manera que podemos escribir las siguientes relaciones:

$$Ub = \frac{1}{R_1 A_c} = \frac{k_i}{l_i A_c} \quad (1.5.4)$$

donde

$Ub$ : conductancia de la base del colector

$l_i$  es el espesor del aislante

$k_i$  es la conductividad térmica del aislante

Para calcular el valor de  $U_t$ , se considera que las pérdidas de calor por la parte superior, son el resultado de la convección y radiación entre dos placas paralelas.

Existe un análisis matemático detallado para calcular el valor de  $U_{total}$  o  $U_c$  que se presenta a continuación:

$$U_c = U_{base} + U_{superior} + U_{fondo} \quad (1.5.5)$$

$$U_c = \frac{1}{R1 + R2} + \frac{1}{R3 + R4 + R5} \quad (1.5.6)$$



$$Ub = \frac{1}{R_1 A_c} = \frac{k_i}{l_i A_c} \quad (1.5.7)$$

$$U_{\text{fondo y lados}} = \frac{k_a \times m \times p}{l \times A_c} \quad (1.5.8)$$

$m$  : altura colector

$ka$ : conductividad aislamiento

$p$  : perímetro del colector

$l$  : espesor



CIB-ESPOL

$$U_{\text{superior}} = \left[ \left( \frac{1}{h_{p-g2} + hr_{p-g2}} + \frac{1}{h_{g2-g1} + hr_{g2-g1}} + \frac{1}{h_{g1-amb} + hr_{g1-amb}} \right) \right]^{-1} \quad (1.5.9)$$

El flujo de calor entre la cubierta inferior y la placa colector es :

$$q = Ac \times hc_2 (T_p + T_{g2}) + \frac{\sigma \times Ac (T_p^4 + T_{g2}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{p,i}} + \frac{1}{\varepsilon_{g2,i}} - 1} \quad (1.5.10)$$

$hc_2$ : Coeficiente convectivo de transferencia de calor entre la placa y el segundo cobertor

$\varepsilon_{p,i}$ : Emitancia infrarroja de la placa

$\varepsilon_{g2,i}$ : Emitancia infrarroja de la segunda cubierta

Igualando esta ecuación a :

$$q = (hc_2 + hr_2)Ac(T_p - T_{g2}) = \frac{T_p - T_{g2}}{R3} \quad (1.5.11)$$

en donde :

$$h_{r2} = \frac{\sigma (T_p + T_{g2}) (T_p^2 + T_{g2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{p,i}} + \frac{1}{\varepsilon_{g2,i}} - 1} \quad (1.5.12)$$

igual calculo se realiza para la placa superior , e.d,

$$q = (hc_1 + hr_1)Ac(T_{g2} - T_{g1}) = \frac{T_{g2} - T_{g1}}{R4} \quad (1.5.13)$$

$$h_{r1} = \frac{\sigma (T_{g1} + T_{g2}) (T_{g1}^2 + T_{g2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{g1,i}} + \frac{1}{\varepsilon_{g2,i}} - 1} \quad (1.5.14)$$

Y finalmente entre la placa superior y el ambiente :

$$q = (hc_\infty + hr_\infty)Ac(T_{g1} - T_{aire}) = \frac{T_{g1} - T_{aire}}{R5} \quad (1.5.15)$$

$$h_{r1} = \varepsilon_{g1,i} \sigma (T_{g1} - T_{firmamento}) (T_{g1}^2 - T_{firmamento}^2) \left[ \frac{(T_{g1} - T_{firmamento})}{(T_{g1} - T_{aire})} \right] \quad (1.5.16)$$

$\sigma$  : la constante de radiación de Stefan-Boltzmann ( $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ).

Para evaluar las ecuaciones anteriores se debe iterar , e. d., dar valores de coeficiente de radiación y con eso calcular las perdidas de calor, debido a que las conductancias de radiación unitarias son funciones de la temperatura de la cubierta y placa que no son valores conocidos.

Otro método mas simple para calcular  $U_c$  para colectores con todas las cubiertas del mismo material , el cual es muy aproximado a lo real , es la aplicación a colectores con superficie selectivas. Para esta aproximación, el flujo de calor perdido se puede calcular de la siguiente forma :

$$\dot{q}_{\text{perdido}} = \frac{(T_c - T_a) A_c}{N} + \frac{\sigma(T_c^4 - T_a^4) A_c}{1} \cdot \frac{1}{\left[ \left( \frac{C}{T_c} \right) \left[ \frac{T_c - T_a}{N + f} \right]^{0.33} \right] + \frac{1}{h_{c,\infty}} \left[ \varepsilon_{p,l} + 0.05N(1 - \varepsilon_{p,l}) \right] + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_{g,l} - N}} \quad (1.5.17)$$

$$f = (1 - 0.04h_{c,\infty} + 0.0005h_{c,\infty}^2)(1 + 0.091N) \quad (1.5.18)$$

$$C = 365.9(1 - 0.00883\beta + 0.00013\beta^2) \quad (1.5.19)$$

$N$  : numero de cubiertas

$h_{c,\infty}$  :  $5.7 + 3.8V$  ;  $V$  = Veloc. del viento m/sec



$\varepsilon_{g,i}$ : emitancia infrarroja de las cubiertas.

Otra manera de obtener un valor semejante del coeficiente de pérdidas de calor por la parte superior, es utilizando diversas gráficas de  $U_t$  en función de la temperatura promedio de la placa absorbadora, para diferente número de cubiertas, para diversos valores de el coeficiente de pérdidas de calor por convección debida a la velocidad del viento y para diferentes valores de la emisividad de la placa absorbadora.

#### CALOR UTIL.

Con el análisis de las pérdidas de calor hecho hasta ahora, podemos calcular  $U_L$ ,  $q_l$  y por consiguiente  $q_u$ . Esta manera de calcular  $q_u$  no es muy correcta debido a que para hacerlo se supone una temperatura fija media de la placa absorbadora ( $T_{p,m}$ ), cuando en realidad la temperatura de entrada y salida del colector son bastante diferentes. Además, la temperatura de la placa absorbadora está cambiando con el tiempo, debido a que es función de variables que también cambian constantemente con el tiempo, como temperatura ambiente y radiación solar, por mencionar algunas.

A continuación se presenta una ecuación de  $q_u$  modificada, que nos permite calcular a éste de una manera más correcta. Esta ecuación queda en función de un factor de eficiencia de colector ; esta ecuación es usada para obtener una relación para la energía útil entregada por un colector en términos de parámetros físicos conocidos , la temperatura del fluido , la temperatura ambiente.

$$q_u = F' F'' \{ \infty_s I_s - U_c [I_f - T_a] \} \quad (1.5.20)$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_c}}{l' \left[ \frac{1}{U_c (d + 2\omega\eta_f)} + \frac{1}{h_{c,i} (2D + 2d)} \right]} \quad (1.5.21)$$

Físicamente el denominador de la ecuación anterior es la resistencia térmica entre el fluido y el medio, mientras que el numerador es la resistencia térmica entre la superficie del colector y el aire ambiente.

### El factor de calor removido

En la ecuación donde se calcula el calor útil con el factor de eficiencia de colector y se obtiene el flujo de transferencia de calor al fluido de trabajo en un punto a lo largo de la placa para un colector y temperatura de fluido determinado.

Sin embargo en un colector real la temperatura del fluido aumenta en la dirección del flujo en cuanto el calor es transferido a este.

Este factor puede ser calculado así :

$$F_R = \frac{G C_p (T_{f.out} - T_{f.in})}{\alpha_s I_s - U_c (T_{f.in} - T_a)} \quad (1.5.22)$$

G: flujo por unidad de superficie del colector  $\frac{m}{Ac}$



CIB-ESPOL

Expuesta de otra manera tenemos:

$$F_R = \frac{G C_p}{U_c} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{U_c F'}{G C_p} \right) \right] \quad (1.5.23)$$

$$q_u = A_c F_R \left[ \alpha_s I_s - U_c (T_{f.in} - T_a) \right] \quad (1.5.24)$$

En esta fórmula la temperatura de entrada de fluido es usualmente conocida o puede estar especificada.

## CAPITULO 2

### 2. DESTILACIÓN SOLAR

La destilación solar es un proceso físico que consiste en la evaporación del agua por aumento de temperatura de este elemento resultado de una acumulación de energía recibida de una fuente externa , que para nuestro caso es el sol; este vapor de agua producto de este prime proceso, asciende debido a su densidad menor a la del aire circundante ; el siguiente proceso físico es la condensación que se produce al chocar este vapor de agua con una superficie mas fría que es la del vidrio que cubre el destilador solar; esta transferencia de calor entre el vapor de agua y el vidrio a menor temperatura produce la condensación de gotas de agua que se acumulan y deslizan a través de la pendiente del cobertor de vidrio hasta una canaleta de recolección de destilado. Un proceso muy simple que utilizado apropiadamente suple necesidades básicas de este elemento vital en ciertas zonas carentes del mencionado recurso.

## 2.1 TIPOS DE DESTILADORES SOLARES

La producción de agua destilada que luego puede remineralizarse para la alimentación , mediante el empleo de sales minerales de origen vegetal, polvos, minerales, etc. Entre los destiladores usados podemos citar los siguientes :

### Destilador solar de gran profundidad:

Estos destiladores se colocan directamente sobre el suelo arenoso sin aislamiento interpuesto. El terreno seco es mal conductor de calor, y la superficie de un destilador permite únicamente una pérdida relativamente pequeña de calor por los bordes. Los 30 cm de agua y el terreno seco debajo, mantienen el calor durante la noche. La destilación continua a un ritmo constante durante las 24 horas del día.

Para construir uno de estos destiladores se nivela y prepara el terreno para recibir una capa de asfalto negro en el fondo y los lados, que son ligeramente redondeados. Sobre esta se coloca directamente soportes fabricados con bloques de hormigón armado sobre los que descansan las laminas de vidrio sencillo colocados sobre una superficie inclinada con la horizontal. Los canalones de acero inoxidable transportan el agua condensada.



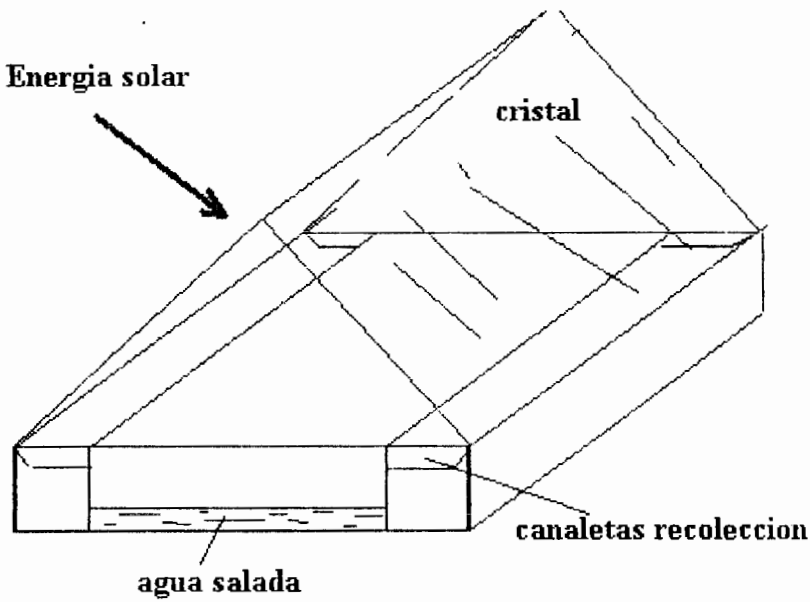


FIG 2.1.1 DESTILADOR SOLAR DE GRAN PROFUNDIDAD

### Destilador solar con paños

Son fabricados de madera, sostenidos con estructura de hierro y formando un ángulo mayor de  $10^\circ$  con la horizontal.

En el fondo aislante se coloca una hoja de plástico impermeable sobre el que se coloca un paño negro y sobre el una cubierta de plástico o vidrio. El agua fluye lentamente desde la parte superior del paño y parte de ella se evapora y condensa en el interior de la cubierta.

El resto baja hacia la parte inferior en donde se concentra hasta que deposita las sales, reflectante y de color blanco.

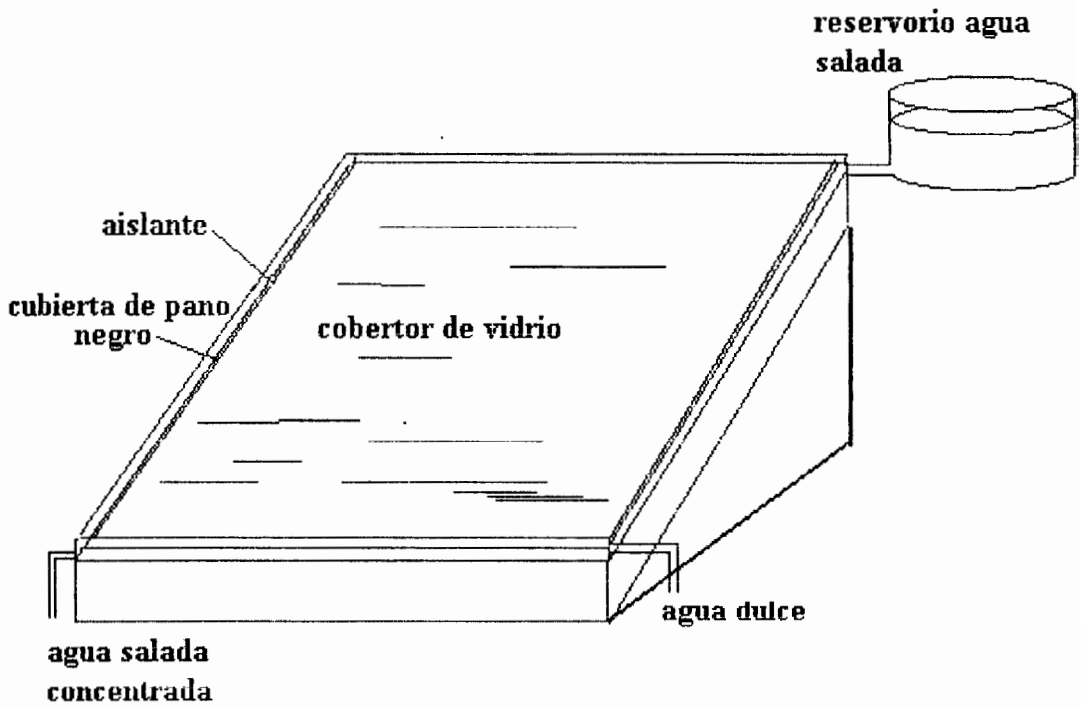


FIG 2.1.2 DESTILADOR SOLAR CON PAÑOS

### Destilador esférico de barrido

El destilador esférico de barrido está formado por una semiesfera de plexiglás y otro material plástico transparente que descansa sobre unos soportes.

En su parte media está situada la cubeta, aislada por su parte inferior donde contiene el agua a destilar, que puede ser agua de mar, agua contaminada o turbia; esta cubeta descansa sobre tres apoyos de materia plástica situadas en la esfera, dispone de un sistema mecánico de recuperación del agua destilada por

medio de un limpia parabrisa movido por un motor eléctrico. La condensación se efectúa sobre la semiesfera superior y el condensado se recoge en la base de la semiesfera inferior.

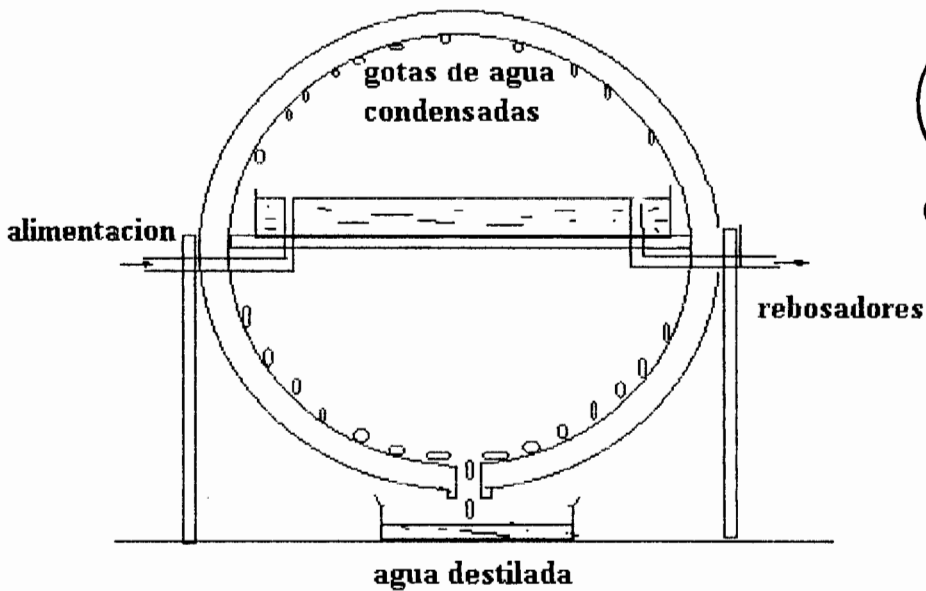


FIG 2.1.3 DESTILADOR SOLAR ESFERICO DE BARRIDO

### Destilador solar de simple efecto

Esta formado por una bandeja con el agua contaminada o turbia, tiene una sola cara expuesta al sol que esta cubierta con un vidrio o plástico .

En estos equipos la energía de entrada es exactamente igual al calor de vaporización del agua, siendo inutilizable la perdida de calor por condensación

respecto al sistema excepto para mantener la temperatura del agua caliente.

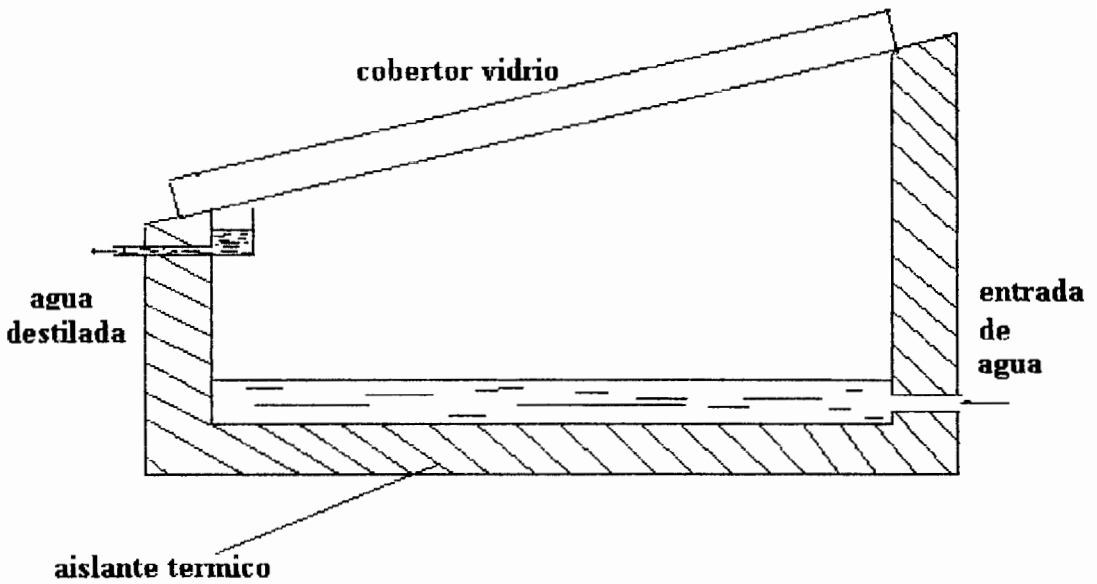


FIG 2.1.4 DESTILADOR SOLAR DE SIMPLE EFECTO

### Destilador solar en cascada

Es un destilador solar inclinado de dos caras, con pequeñas bandejas con agua en cascada, colocados a una corta distancia de la cubierta de vidrio. La profundidad media efectiva del agua es pequeña. Este equipo es modular y puede ser separada la una cara de la otra porque es completamente independiente.

Una pequeña masa de agua se calienta mas rápido que una gran masa de agua sometida a las mismas condiciones. Como la temperatura de la capa superficial del agua determina la presión del vapor de agua, su temperatura debe ser tan alta como sea posible, estas características son consecuencia de la distancia corta entre la cubierta de vidrio y la capa de agua contaminada ,salada o turbia.



CIB-ESPOL

### El destilador de poceta

El destilador de poceta o bandeja FIG.2.1.5 se caracteriza por su sencillez y su facilidad de construcción y está formado por una poceta hecha generalmente con materiales de la construcción (ladrillos o bloques, piedra de arena), angulares de acero y láminas de vidrios. Su construcción es la más sencilla de todas y debe ser in situ, realizada principalmente por un albañil. Se recomienda su uso en instalaciones relativamente grandes hechas con recursos propios. La eficiencia es de 30 a 50 % y su productividad promedio .

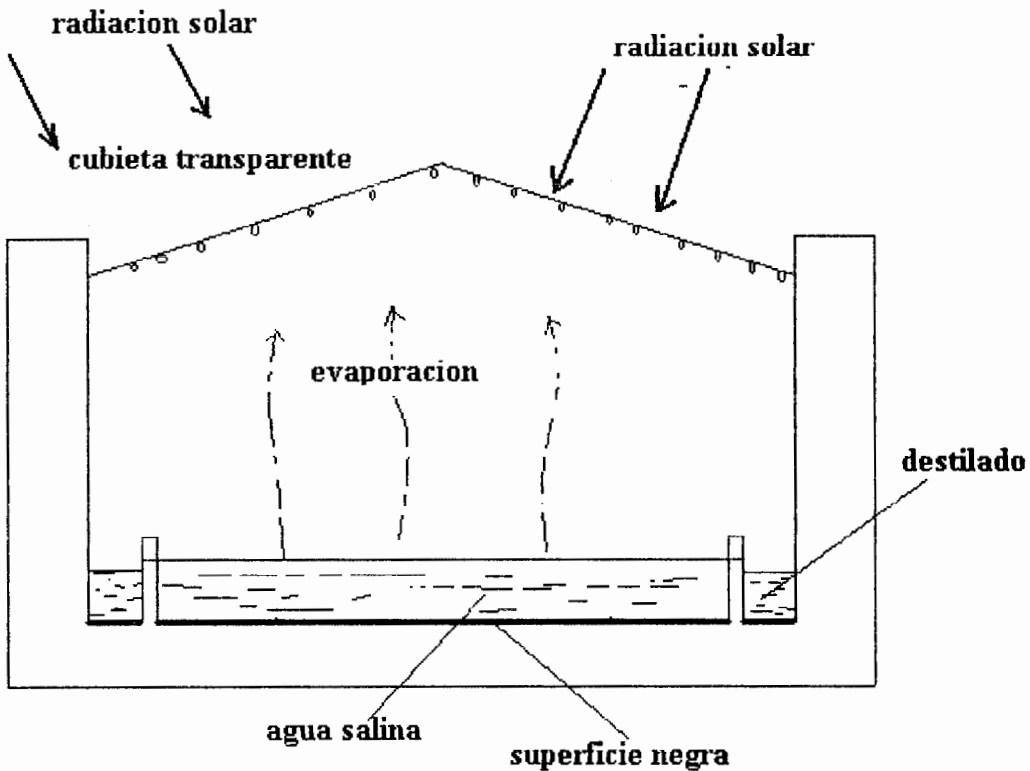


FIG 2.1.5 DESTILADOR DE POCETA O BANDEJA

### Sistema multietapa

El sistema multietapa solar no difiere apreciablemente de su versión convencional. El objetivo es el mismo, separar agua poco salina de la solución mediante la evaporación, pero recuperando repetidas veces el calor de condensación del agua para que mediante un proceso de destilación en diversas etapas se reduzca el consumo de energía térmica aproximadamente unas 50

kcal/kg de agua, es decir, a menos de un décimo de una destilación sin recuperación.

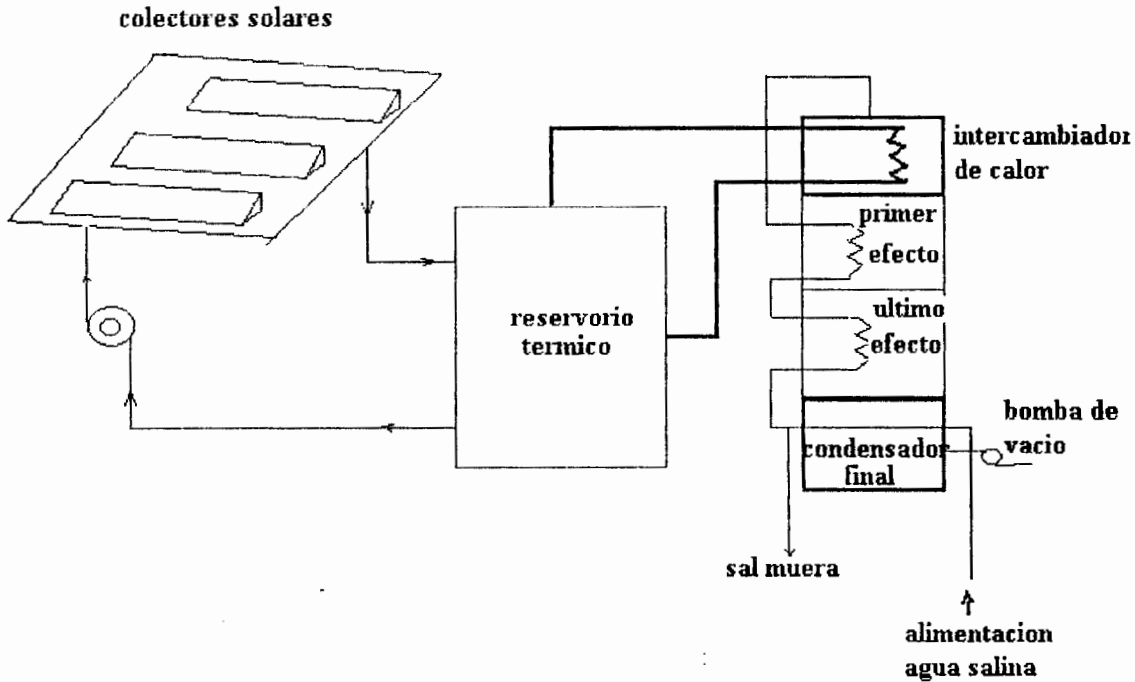


FIG 2.1.6 SISTEMA MULTIETAPA

En el sistema solar de desalinización multietapa FIG. 2.1.6, el foco térmico es la energía solar. Con la finalidad de regularizar el funcionamiento de los destiladores multietapas, es esencial disponer de un importante sistema de almacenamiento de energía. Las temperaturas operativas de un sistema de este tipo se sitúan para el máximo rendimiento en rangos del orden de los 100 °C. Esto obliga al empleo de colectores de concentración, o de vacío, si bien esta última solución no ha sido ensayada a suficiente escala.

### Sistema multiefecto

Este tipo de destilador , trabaja similar al de simple efecto con la diferencia que se le adiciona un canal para recolección de aguas lluvias para incrementar la cantidad de destilado que se almacena finalmente.

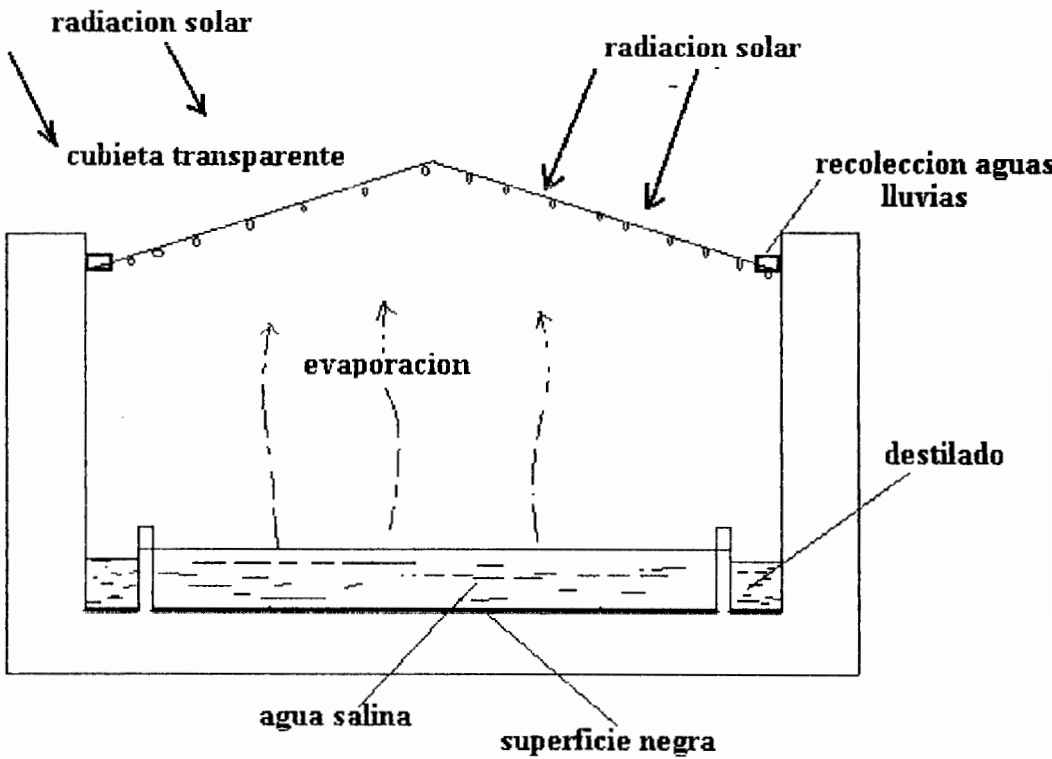


FIG 2.1.7 DESTILADOR SOLAR MULTIEFECTO



### Sistema híbrido

Es un tipo destilador que utiliza adicionalmente una fuente de energía eléctrica en caso de que sea utilizado en lugares donde el sol no es un predominante sistema para una buena eficiencia del destilador. Estos utilizan una resistencia eléctrica, como se indica en la FIG.2.1.8, para calentar el agua y acelerar el proceso de destilación colaborando con la energía receptada del sol también.

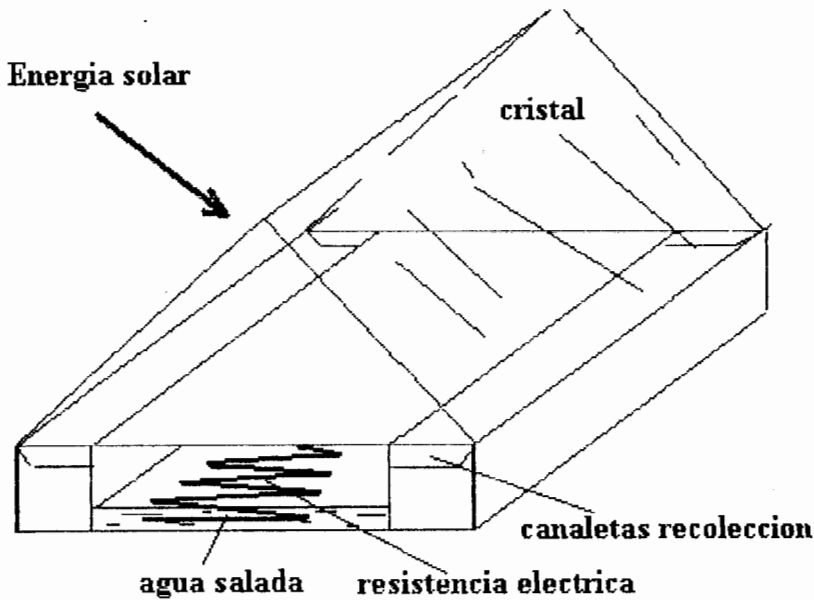


FIG 2.1.8 DESTILADOR SOLAR HIBRIDO

## El destilador de caseta

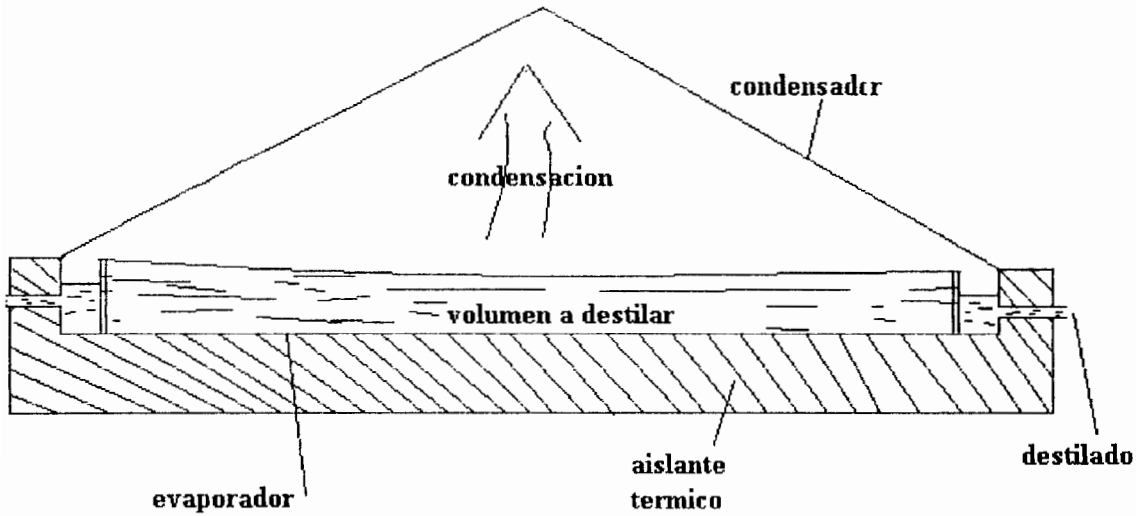


FIG. 2.1.9 DESTILADOR DE CASETA

El destilador solar de caseta es el más conocido y difundido en el mundo y consiste en una caseta de material semitransparente, generalmente vidrio, que se coloca sobre una bandeja que contiene agua a destilar. Por la forma de la caseta y la forma en que ésta atrapa el calor, proveniente de la energía solar, les ha valido el nombre de “destiladores de invernaderos”.

El principio de funcionamiento es muy sencillo, la bandeja de pequeña profundidad que contiene una delgada lámina de agua con sales está herméticamente tapada con un vidrio liso transparente. La radiación solar pasa a

través del vidrio y calienta el agua, ya que el fondo del estanque se pinta de color negro, lo que resulta que el agua alcanza más altas temperaturas que el vidrio. El contenido de vapor de agua del aire interior es elevado y al tomar contacto este aire cargado de vapor de agua con la superficie del vidrio, que esta mucho más fría, se produce la condensación del agua.

Esta se evapora en su superficie, que enfriada por el aire exterior favorece su condensación, y esta en forma de gotas se desliza por el plano inclinado hasta la canal recolectora. Esta agua condensada está prácticamente desprovista de sales. El efecto “invernadero” hace que la temperatura del interior se eleve hasta temperaturas del orden de 50 a 60°C.

Estos equipos cuando tienen láminas de agua de 1,5 a 2 cm de espesor, bajo condiciones de alta insolación, baja temperatura del aire ambiente y vientos apreciables (2 m/s o más) llegan a producir hasta un máximo de 3 a 5 L. de agua destilada por cada metro cuadrado de superficie cada día.

El valor característico de producción de los destiladores solares es del orden de 1 m<sup>3</sup> de agua por metro cuadrado de captación por año, esto puede parecer un volumen muy pequeño, sin embargo, desde el punto de vista de obtener agua

potable a escala familiar o para pequeñas comunidades, en muchos casos puede resultar adecuado, especialmente donde esta alternativa sea económica.

De acuerdo con este esquema simple, se han realizado decenas de instalaciones, pero la primera de tamaño apreciable es la de Las Salinas, Chile (1872) usada para surtir de agua dulce la operación de una mina y operó con éxito al menos durante 40 años, suministrando hasta 23 000 L de agua / día, con una superficie superior a los 4 000 m<sup>2</sup>. El récord de tamaño lo ostenta Patmos (Grecia) con más de 8 000 m<sup>2</sup> de superficie.

Los destiladores de agua eléctricos son costosos y de poca duración, debido a las incrustaciones y a la durabilidad de las resistencias eléctricas, contrario a los destiladores solares, los cuales pueden ser construidos a bajo costo, con materiales de fácil adquisición en el país, así como con una durabilidad muy alta, de más de 10 años, si se usan los materiales adecuados.

En la FIG.2.1.10 se indican algunas disposiciones de destiladores con diferentes variaciones en la construcción en si de los mismos. La facilidad de construcción o la complejidad de esta, se ve afectada en la eficiencia y también en el costo. El diseño varía en eficiencia y forma, los destiladores graficados a continuación han sido probados todos y cada uno de ellos brindando eficiencias variadas.

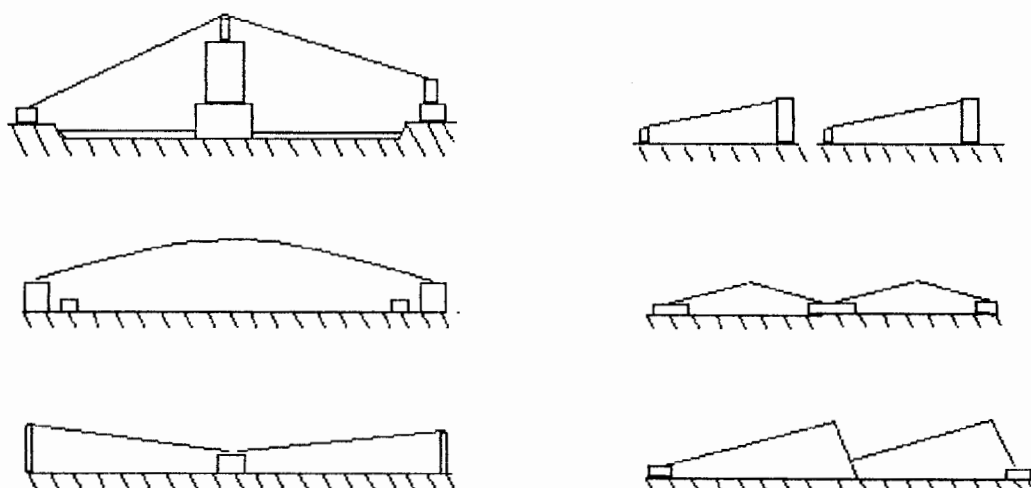


FIG. 2.1.10 DIVERSOS MODELOS DESTILADORES SIMPLES

### El destilador plano y destilador con superficies inclinadas

Por la forma que se presenta la superficie recolectora de energía en la parte baja del destilador toma el nombre de plano ; aquel que tiene una serie de inclinaciones en su parte inferior se llama inclinado o leaner , este aumenta la superficie efectiva que recibe la energía solar, este diseño incrementa el costo de construcción.

En la FIG.2.1.11 se indica un destilador plano o flat; un destilador inclinado o leaner puede verse en la FIG.2.1.12 , este tipo de destilador es mas eficiente con la desventaja del precio en construcción respecto al simple.

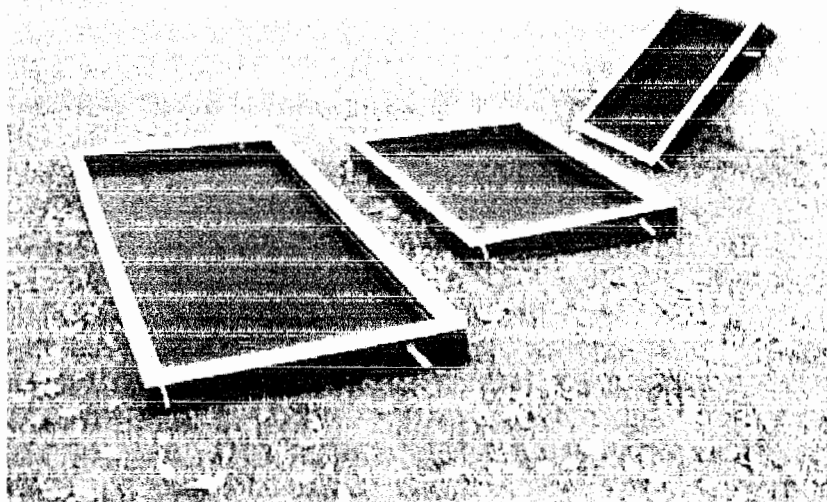


FIG.2.1.11 DESTILADOR PLANO (FLAT)

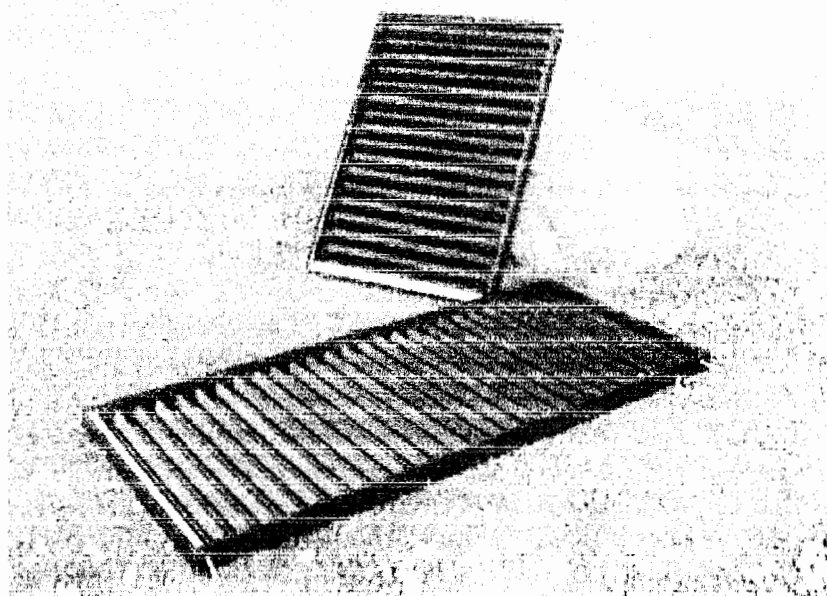


FIG.2.1.12 DESTILADOR CON INCLINACIONES (LEANER)

## 2.2 OPTIMIZACION DEL DESTILADOR PARA LA ZONA

Retomando la idea de que la energía solar tiene la ventaja de no usar ningún tipo de combustible para el proceso de destilación, pero requiere un espacio determinado para la recolección de energía, el colector debe tener una área determinada para producir una cantidad requerida de destilado, y esto a su vez genera un costo económico en los materiales a emplearse para su construcción; es por esta razón, que se ha decidido utilizar el destilador mas simple de construir con los materiales realmente necesarios, es decir, el destilador solar de simple efecto , sin olvidar consideraciones de área y destilado producido, en otras palabras, considerando aspectos como:

- Razón de evaporación del agua : que puede ser incrementada aumentando la temperatura del agua- un factor no controlable en un destilador de simple efecto, dependiente únicamente de la cantidad de energía recibida-,y aumentando el área de contacto del agua salina con el aire, -lo cual puede ser realizado dando una inclinación a la superficie inferior revestida de color negro seleccionada para el destilador; debe indicarse que la pintura debe secarse por algún espacio de tiempo para que elementos volátiles tóxicos no intervengan en la destilación y luego sean condensados en el destilado final.

- El destilador debe ser ancho y poco profundo para maximizar la cantidad de energía absorbida.
- Maximizar energía también implica reducir la cantidad de energía perdida, es decir, aislar el destilador en sus paredes laterales e inferior de manera de evitar que la energía se disipe por conducción a través de los lados, es otro aspecto a considerar.
- Construir además del canal propio del destilador , otro adicional para recoger agua lluvia, que es también, agua destilada en forma natural; así, se podría utilizar como destilado adicional en caso de lluvias.
- Usar una bomba para enviar el flujo de agua salina desde el mar hacia un reservorio a una determinada altura para que el suministro hacia el destilador sea únicamente por gravedad, graduando su ingreso con válvulas de control de nivel.
- El reservorio debe ser construido de material inoxidable para protegerlo contra la excesiva corrosión del medio salino; además , debe tener un cobertor de plástico o vidrio en la parte superior de tal manera de que la energía solar también sea utilizada en el reservorio para aumentar la





temperatura del agua en dicho tanque; esto implicaría contribuir a la evaporación del agua dentro del destilador.

- Nuestra latitud geográfica en la zona insular, es ya, un aspecto a favor de la cantidad de destilado producir, debido a que un destilador produce mas en climas calientes que en fríos , y mas en latitudes bajas que en altas.
- Una superficie reflectiva, e. d. transmisividad nula, una especie de espejo en la parte posterior también aumenta la producción de destilado.
- La velocidad del viento , la irradiación y la temperatura ambiente juegan un papel importante en el análisis de resultados en términos de eficiencia. Estos factores combinados de tal manera de generar mas producción de destilado se pueden resumir de la siguiente forma- dentro de ciertos limites-: a mayor velocidad del viento, mayor irradiación y menor temperatura ambiente habrá mayor productividad en un destilador.
- Podemos evitar que se dañe la placa colectora de energía, manteniendo siempre con agua a destilar el recipiente, debido a que la pintura que posee puede dañarse.



- Es una regla purgar periódicamente el destilador de sales sedimentadas en el evaporador, estas aun si están disueltas disminuyen la productividad, esto puede ser cada dos o tres días.
  
- Materiales a usar deben ser resistentes al agua destilada y salina; éstas dos contienen elementos químicamente destructivos a ciertos materiales, por tanto, la durabilidad esta sujeta al buen análisis de materiales.
  
- Un buen plan de mantenimiento implicara una vida útil de 10 a 20 años, para esto, deberá diseñarse de forma tal que exista un fácil acceso para la limpieza.
  
- Otra forma de aumentar el destilado es la construcción de canaletes de recepción de aguas de lluvia, que es una forma de agua destilada en forma natural y que incrementara el volumen final del producto .
  
- Una eficiencia en calidad de destilado lo pone la construcción del destilador con materiales que no contaminen el agua lluvia o destilada , es decir, materiales no tóxicos.

## 2.3 ANALISIS TERMODINÁMICO DE UN DESTILADOR

La radiación solar incidente sobre la cubierta de un destilador esta sujeta a la reflexión y absorción de la cubierta y por lo tanto de la superficie del agua.

La radiación solar en el agua a destilar, es transferida a la cubierta por medio de un mecanismo simultaneo de evaporación , radiación y convección. Parte del calor también se pierde por las paredes: lados y base.

Se analiza las ecuaciones de transferencia de calor de los destiladores asumiendo que el sellamiento es perfecto, considerando que tanto el aire húmedo interno como el agua salada no pueden salir del destilador.

La siguiente es la ecuación del balance térmico general del agua a destilar :

$$I_c \times A_c \tau_s \alpha_s = q_u + q_{perdidas} + \frac{du}{dt} \quad (1.5.1)$$

$$q_u = q_r + q_c \quad (2.3.1)$$

$$\frac{du}{dt} = m_{agua} C_p \frac{dT}{dt} \quad (2.3.2)$$

donde:

$q_r$ : calor de radiación desde el agua a la cubierta de vidrio  $W/m^2$

$q_c$ : calor de conveccion desde el agua a la cubierta de vidrio  $W/m^2$

además, igualando la energía superficial a la suma de calor de conveccion mas radiación, obtenemos:

$$h_{r2} = \frac{\sigma (T_p + T_{g2}) (T_p^2 + T_{g2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{p,i}} + \frac{1}{\varepsilon_{g2,i}} - 1} \quad (2.3.3)$$

$\sigma$  : constante de Stefan-Boltzman

$\varepsilon_{p,i}$ : emisividad de la placa

$\varepsilon_{g2,i}$ : emisividad cubierta superior si la tuviese

$$h_{r_{\text{CUBIERTA-FIRMAMENTO}}} = \sigma * \varepsilon_{\text{cubierta}} * (T_{g2} + T_{\text{ambiente}}) (T_p^2 + T_{g2}^2) \quad (2.3.4)$$

Para obtener el coeficiente de convección ( $\bar{h}_c$ ) debemos utilizar relaciones que han sido analizadas y estudiadas para transferencia de calor por diferentes autores. Usaremos aquellas que presenta (6), y son las siguientes:

$$\bar{h}_{c_{p-g}} = h^* \times \left[ 1 - 0.0018 \left( \bar{T}_{p-g} - 10 \right) \right] \quad (2.3.5)$$

$$h^* = 1.14 \times \left( \frac{\Delta T^{0.31}}{l_{p-g}^{0.07}} \right) \quad (2.3.6)$$

$$\bar{h}_{c\ p-g2} : \text{en unidades de : } \left[ \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right]$$

Las máximas temperaturas que puede alcanzar el agua en el periodo de un destilador llegan a temperaturas menores a 130 °F; por tanto las diferencias de temperatura entre el agua  $T_{ag}$  y la cubierta de vidrio  $T_g$ , se restringen a un valor máximo de presión y temperatura correspondientes. Para efecto de calculo puede ser asumida la temperatura del vidrio y luego comprobarla. En caso practico puede ser medida.

Para una placa expuesta al viento , podemos obtener el coeficiente de convección desde la cubierta al medio por la siguiente ecuación:

$$\bar{h}_v = 5.7 + 3.8 \bar{V} \quad (2.3.7)$$

$\bar{V}$  : velocidad promedio del viento

Finalmente tendremos :

$$U_c = U_{base} + U_{superior} + U_{fondo} \quad (1.5.5)$$

$$U_c = \frac{1}{R1 + R2} + \frac{1}{R3 + R4 + R5} \quad (1.5.6)$$

$$U_b = \frac{1}{R_1 A_c} = \frac{k_i}{l_i A_c} \quad (1.5.7)$$

$$U_{fondo\ y\ lados} = \frac{k_a \times m \times p}{l \times A_c} \quad (1.5.8)$$

Con este coeficiente global podemos calcular el calor útil que ha sido transferido al agua para el proceso.



## 2.4 DATOS DE RADIACIÓN SOLAR PARA LA ZONA DE GALÁPAGOS

El INAMHI proporciona ciertos datos de luz solar o denominado también heliofania, que es una medida de las horas de sol durante el día; estos datos pueden ser transformados a irradiación solar, es decir, a energía por unidad de superficie ( $W \cdot h/m^2$ ).

En la tabla 2.4.1 presentada a continuación podemos observar datos mensuales promedio de los últimos años, de la zona de san Cristóbal-Galápagos que nos

ayuda como punto de partida de la cantidad de energía existente en la zona insular.

<i>PROMEDIOS MENSUALES DE HELIOFANÍA Y EXTREMOS (Horas sol)</i>												
<i>Estación: San Cristóbal</i>						<i>Promedio de la serie 1965-1998</i>						
	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
<b>Media</b>	199,4	205,4	243,6	230,1	242,8	207,8	181,9	177,5	180,4	173,6	179,4	181,5
<b>Máx.</b>	276,4	253,3	291,7	298,2	294,1	258,0	247,7	235,6	240,2	277,4	218,6	248,7
<b>Min.</b>	108,5	146,0	161,3	103,8	178,9	99,9	101,4	123,8	136,0	130,0	134,2	117,1
 <i>IRRADIACION SOLAR GLOBAL</i> <i>(Wh/m<sup>2</sup>)</i>												
<i>Estación: San Cristóbal</i>												
<i>Promedio de la serie 1978-1981</i>												
<b>Med.</b>	4957	5265	5820	5439	5243	5428	4986	5106	5758	5507	5371	4971

TABLA 2.4.1 PROMEDIOS MENSUALES DE HELIOFANIA EN W-h/m<sup>2</sup>.

Fuente : Estación San Cristóbal

Se entiende por Heliofania la cantidad de energía en forma de luz, con un valor a 1000 W-h/m<sup>2</sup>. Como comparación y para análisis ,podemos utilizar información de radiación solar dada por la Estación Charles Darwin en Santa Cruz-Galápagos presentada en la tabla 2.4.2 en la cual se presentan datos de heliofania mensual de los últimos cinco años en esa zona insular .

La tabla 2.4.2 da información de horas sol medidas con un heliógrafo Stokes, éste medidor determina radiación entre un rango de 70 a 280 W/m<sup>2</sup>, como valores máximos y mínimos en días húmedos y secos respectivamente.

ESTACION METEOROLOGICA DE : ESTACION CIENTIFICA CHARLES  
DARWIN  
LATITUD: 00°44'S BAHIA ACADEMICA - PUERTO  
AYORA  
LONGITUD: 90°18'w ISLA SANTA CRUZ, GALAPAGOS –  
ECUADOR  
ELEVACION: 2  
MSNM

---

DATOS DE HELIOFANIA CON EL HELIOGRAFO CAMPBELL  
STOCKES

	<i>Enero</i>	<i>Febrero</i>	<i>Marzo</i>	<i>Abril</i>	<i>Mayo</i>	<i>Junio</i>
1997	7,3	8,8	6,9	7,1	5,3	5,8
1998	6,6	5,5	6,0	4,0	4,6	5,3
1999	7,9	8,3	8,2	6,7	6,3	3,9
2000	5,8	8,7	9,2	8,0	5,6	3,0
2001	8,2	8,7	8,8	7,9	4,6	2,6
2002	4,5	6,3	7,4	6,8		

	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>	<i>Noviembre</i>	<i>Diciembre</i>
1997	4,6	4,2	4,8	3,0	3,9	4,6
1998	4,7	4,0	3,6	3,9	4,2	7,0
1999	2,0	1,8	2,8	2,3	4,5	4,4
2000	2,3	2,3	2,4	2,9	4,7	3,2
2001	2,3	1,9	2,4	2,7	3,2	3,0

TABLA 2.4.2 DATOS DE HELIOFANIA DE LA ZONA DE SANTA CRUZ  
GALÁPAGOS, (fuente Estación Charles Darwin)



## ANÁLISIS DE DATOS DE HELIOFANIA

En las Fig. 2.4.1 a la Fig. 2.4.6 se indica el comportamiento de los valores de heliofania de cada mes en los respectivos años desde 1997 al 2002. En cambio en la Fig. 2.4.7 la curva indica valores promedios anuales desde el año 1997 a 2002.

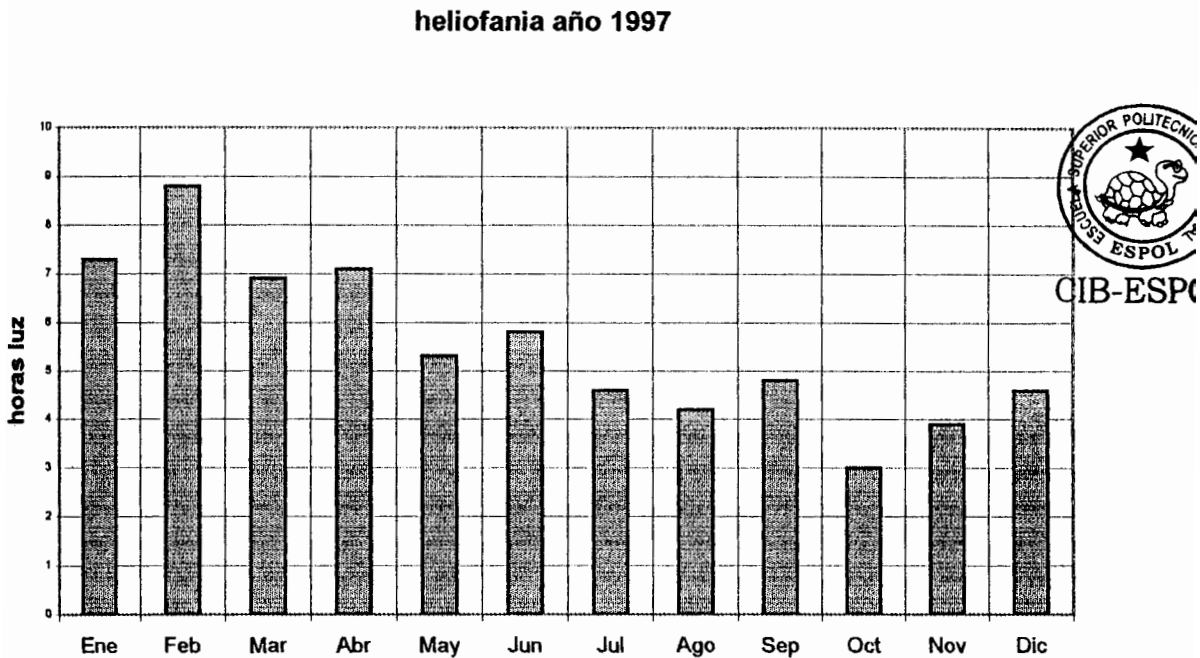


Fig. 2.4.1 HELIOFANIA MENSUAL DEL AÑO 1997

El promedio en este año para la zona critica, entendiéndose por critica el priodo de julio a diciembre, es 4.18.

El promedio para el periodo critico del año 1998 es 4.56 horas luz.



Heliofania año 1998

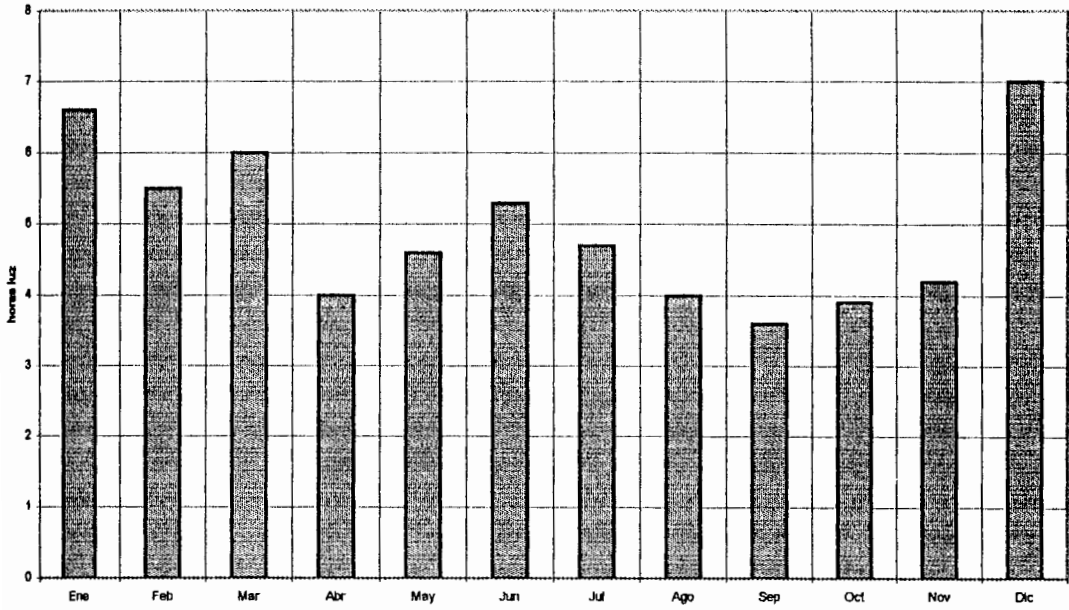


Fig. 2.4.2 HELIOFANIA MENSUAL DEL AÑO 1998

heliofania año 1999

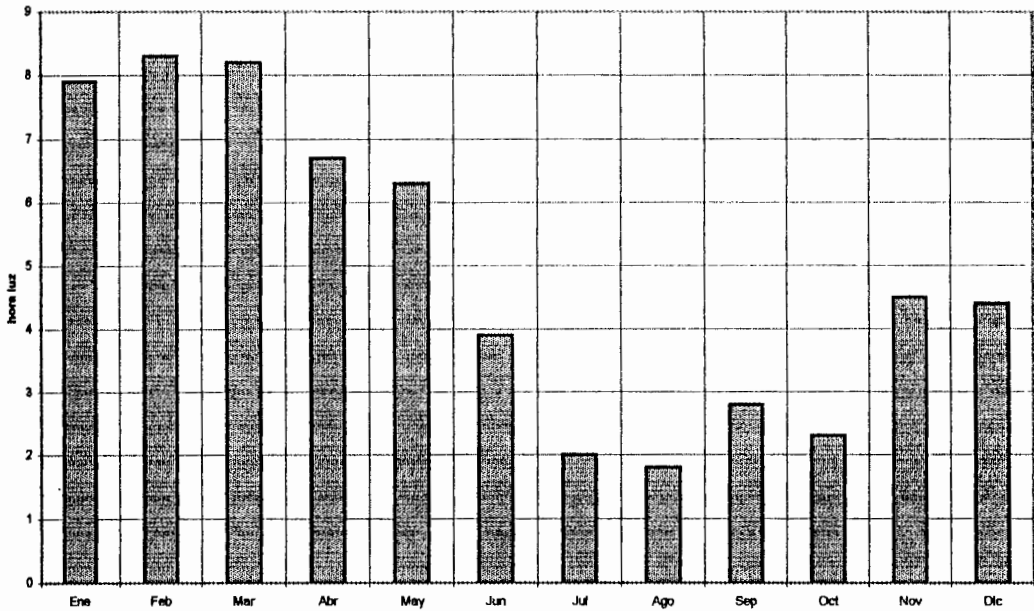


Fig. 2.4.3 HELIOFANIA MENSUAL DEL AÑO 1999

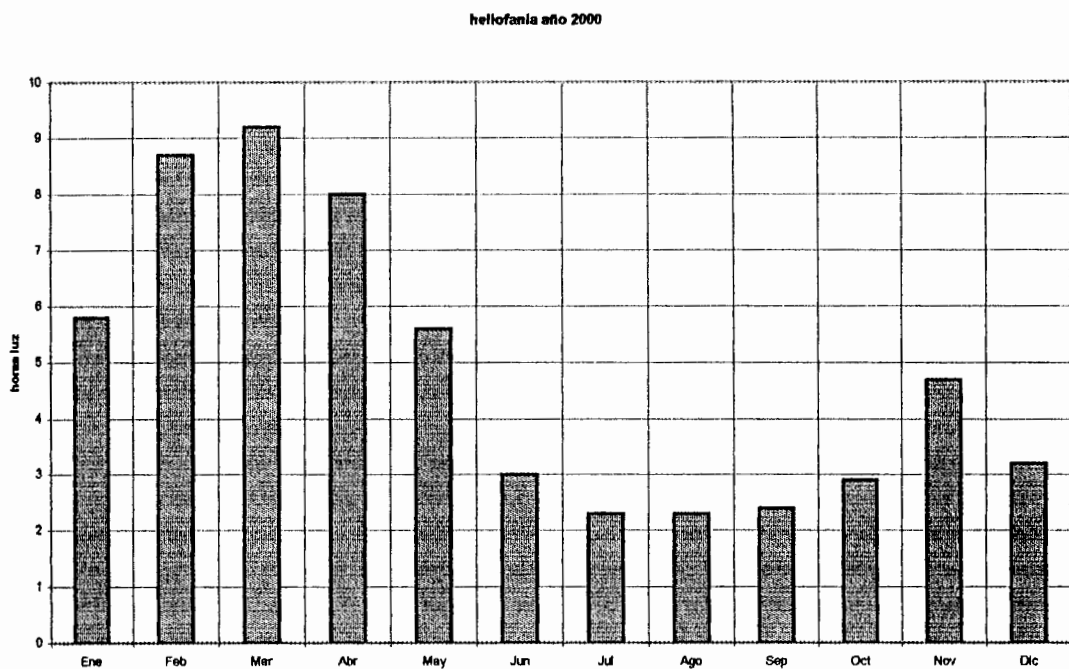


Fig. 2.4.4 HELIOFANIA MENSUAL DEL AÑO 2000

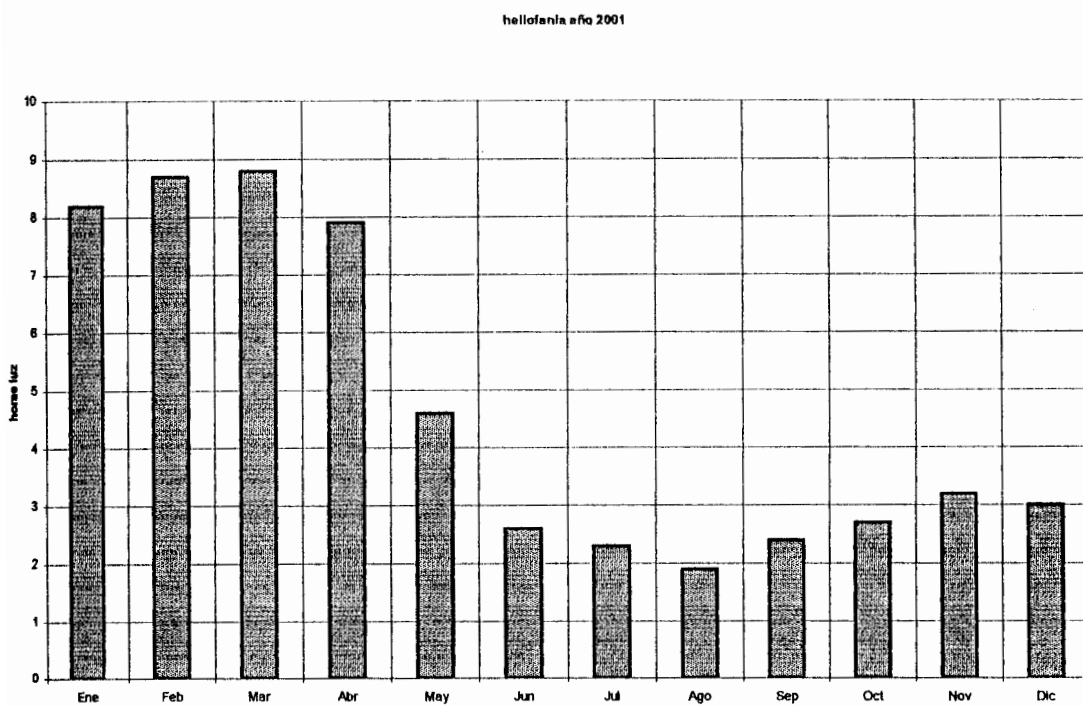


Fig. 2.4.5 HELIOFANIA MENSUAL DEL AÑO 2001

heliofania año 2002

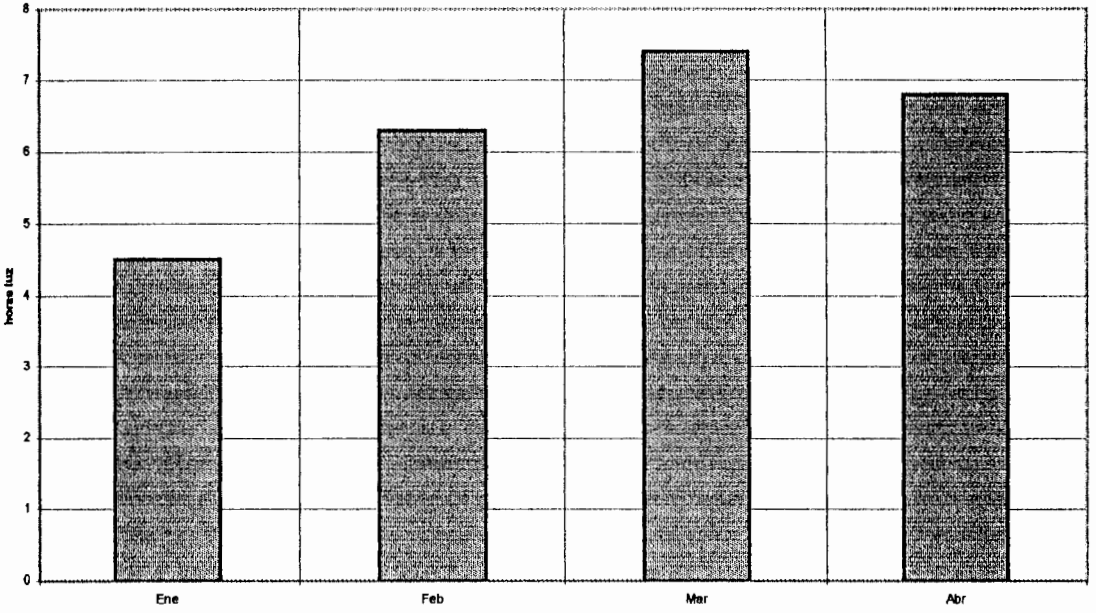


Fig. 2.4.6 HELIOFANIA MENSUAL DEL AÑO 2002

Heliofania promedio anual periodo critico

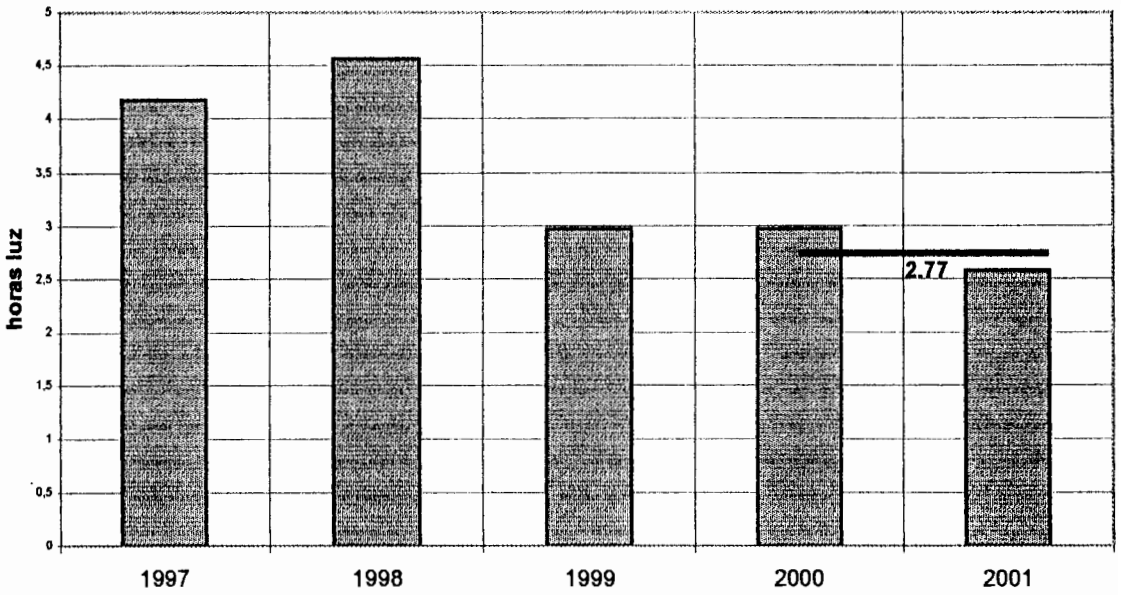


Fig. 2.4.7 HELIOFANIA PROMEDIO ANUAL 1997- 2001

La Fig. 2.4.7, indica la tendencia promedio en todos los años mencionados. Esta grafica permite visualizar una disminuci3n anual de valores de heliofania , sin embargo se ha tomado un valor de  $2.77 \text{ E}03 \text{ W-h/m}^2$  como base de calculo , consider4ndolo un valor critico medio de los meses con menor heliofania en el a1o.

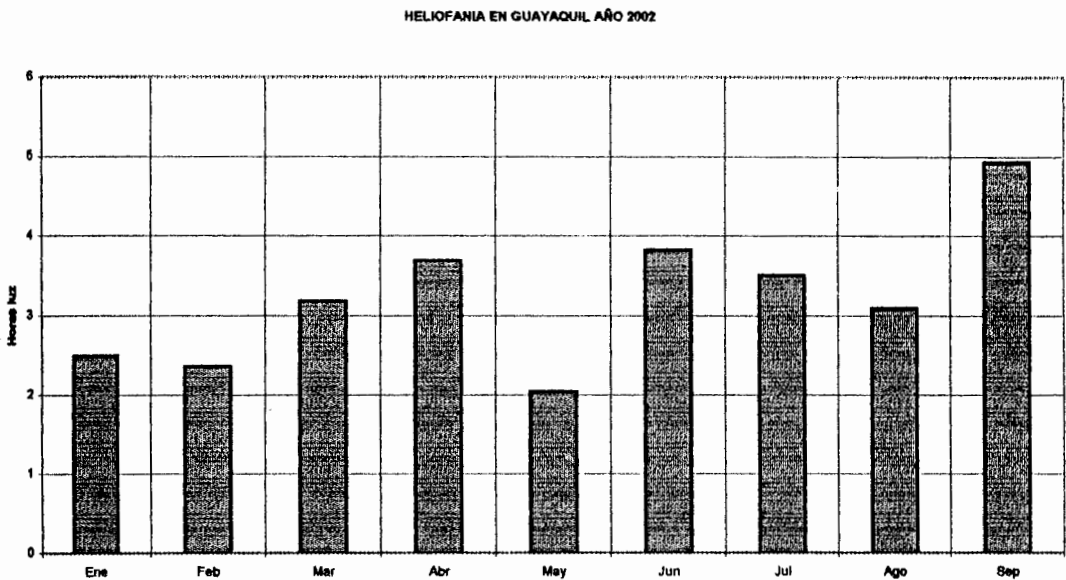


Fig. 2.4.8 HELIOFANIA PROMEDIO EN GUAYAQUIL 2002

En esta figura podemos observar el dato de heliofania del mes de julio en que se realizaron las pruebas asciende a  $3510 \text{ W-h/m}^2$ , correspondiente a un valor de destilado diario obtenido de  $098 \text{ Gal. /m}^2 \text{ d}ia$

Para el calculo de 4rea de colector solar utilizamos el valor promedio de heliofania de 2.77 horas luz, esta cantidad de energ4a esta entre el rango de producci3n que se menciono de  $1.9$  y  $3.8 \text{ Lt/m}^2 \text{ d}ia$ , para radiaciones de  $1500$  y

3000 W-h/ m<sup>2</sup> día; por tanto, con 2700 W-hr/m<sup>2</sup> día, podemos inferir para diseño volumen de 0.70 Gal. /m<sup>2</sup> día; este valor es obtenido haciendo una comparación entre el destilado obtenido en las experimentaciones de 0.98 Gal. /m<sup>2</sup> día para un valor de radiación según datos de la Fig. 2.4.8 para el mes de julio de 3510 W-h/ m<sup>2</sup> día y el calculado con una interpolación entre 1.98 y 3.8 Lt/m<sup>2</sup> día, con sus respectivas radiaciones: así

W-h/ m <sup>2</sup> día.	Lt/m <sup>2</sup> día	Gal. /m <sup>2</sup> día
1500	1.9	0.5
2500	3.16	0.84
<b>2700</b>	<b>3.42</b>	<b>0.912</b>
3000	3.8	1.01

3510	3.70	0.98
<b>2700</b>	<b>2.85</b>	<b>0.75</b>

El valor de 0.912 Gal. /m<sup>2</sup> día ha sido obtenido por interpolación directa; por tanto, vamos a asumir un margen de error debido a que no se considera lineal la proporción de destilado con la variación de radiación y además, utilizaremos la hipótesis basada en la experimentaciones que se realizaron es decir, escogemos 0.65 Gal. /m<sup>2</sup> día como valor de diseño.

hipótesis basada en la experimentaciones que se realizaron; es decir, escogemos 0.65 Gal. /m<sup>2</sup> día como valor de diseño.

En la Fig. 2.4.8 observamos un comportamiento diferente de datos de heliofania respecto de los valores encontrados para las islas Galápagos, sin embargo el análisis se torna valido al considerar los meses críticos, es decir, de menor radiación solar, como base de partida para el diseño , añadiendo un margen de error por seguridad.

## CAPITULO 3

### **3. DESTILADOR SOLAR APROPIADO**

El presente capítulo intenta clarificar y exponer las razones por las cuales se va a escoger un determinado modelo de destilador de entre los numerosos diseños expuestos anteriormente en el capítulo dos. Además, se especificará dimensiones del mismo, capacidad volumétrica, la cantidad de destilado producido con su respectivo tiempo para la obtención del mismo, y al final se realizará un cálculo de la eficiencia del destilador considerando la energía recibida vs. la energía utilizada para la destilación.

#### **3.1 DECISION DEL TIPO DE DESTILADOR A USAR**

Entre los tipos de destiladores descritos anteriormente, el de múltiple efecto y el de cascada que son los más eficientes, sin embargo, para nuestro objetivo, se ha escogido entre los destiladores, el que se adapte mejor a nuestras expectativas de costo económico-beneficio y amortización de inversión; es



decir, que nuestra principal preocupación se basa en minimizar los costos de tal forma que el estudio del presente proyecto sea mas adecuado a la antigua forma de almacenamiento y transporte de agua que en la Base Naval de la Isla de Baltra se llevaba a cabo.

Por el motivo mencionado, el destilador de simple efecto con una sola cubierta de vidrio y con unas canaletas adicionales para recolección de aguas lluvias es la opción mas adecuada por lo que se menciona anteriormente costo de construcción y de materiales.

La FIG.3.1.1 indica un diseño parecido al que se va a utilizar con canaletas para recolección de agua lluvia, una sola cubierta de vidrio, usando materiales antitóxicos, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos del agua destilada, con una superficie en la pared posterior que refleje la energía que llega al interior, y sellados con materiales adecuados que se discutirán en el próximo capítulo.



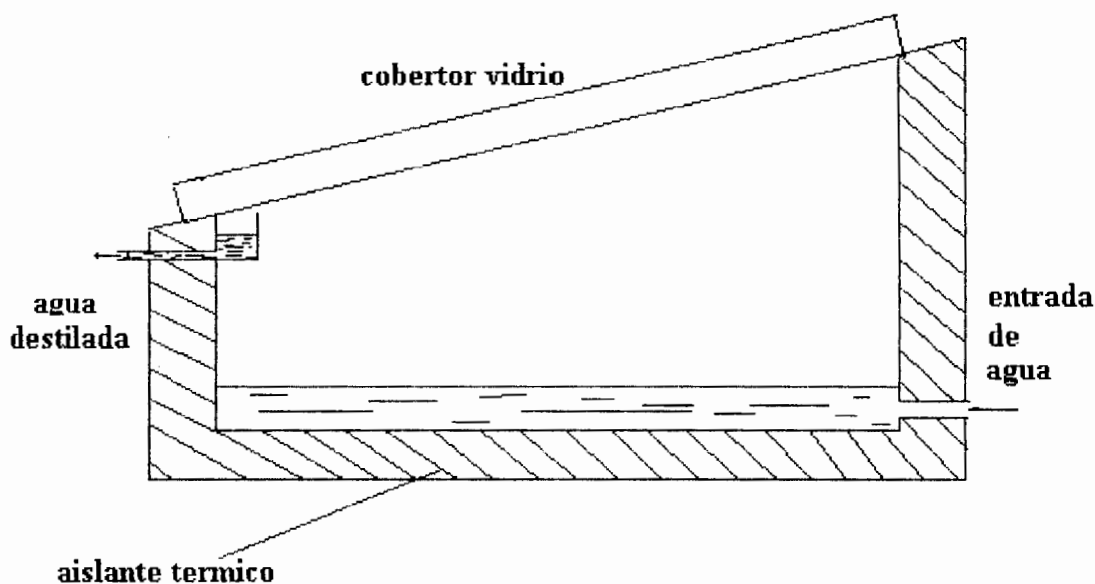


FIG. 3.1.1 DESTILADOR SIMPLE EFECTO UNA SOLA CUBIERTA  
CON CANALETAS DE RECOLECCION DE AGUA LLUVIA

A pesar de existir modernos tipos de destiladores, el destilador de simple efecto permanece usándose en áreas grandes, con significativas superficies de recolección hasta de  $9000 \text{ m}^2$ . ; esto indica el grado de utilidad que el mas simple destilador por construcción nos puede entregar.

Para maximizar la eficiencia de este destilador de simple efecto es necesario tomar en consideración los siguientes aspectos :

- Mantener una temperatura de agua salina en el fondo del destilador alta, la cual puede ser alcanzada mediante una absorción mayor de energía solar , la

cual no podemos controlar, lo que si debemos asegurar es una superficie colectora selectiva de buena absorción . Además el aislamiento de paredes y piso se debe adecuar para que las perdidas de calor por estos sitios sean mínimas.

- Mantener una máxima diferencia de temperatura entre el agua salina alimentada y la superficie condensadora (cobertor de vidrio), esto se puede obtener directamente analizando el hecho que el cobertor no absorbe energía sino la transmite al agua, por tanto siempre estará mas caliente el agua a destilar que la cobertura de vidrio. Además, también se podría conseguir esta diferencia de temperatura removiendo el calor producto de la condensación con un flujo de aire, lo cual se realiza en forma natural debido a la brisa existente en la zona de baltra, que es un punto favorable en nuestra estudio de eficiencia.
- Evitar fuga de vapor por las paredes del cobertor de vidrio; se debe tomar en consideración al momento del sellamiento que no existan fugas, así ,se podrá aprovechar toda la energía para condensar el agua salina.
- Realizar una limpieza periódica del destilador cada dos o tres días para evitar acumulación de sales en el fondo del mismo. La limpieza puede realizarse con la misma agua de mar circulándola por los destiladores, con el tapón de desagüe abierto con lo cual se barrerá el agua saturada de sales.

La eficiencia para este tipo de destilador se promedia entre 25 y 35%; mas adelante se calculara la eficiencia de un prototipo con los datos resultantes de repetidas pruebas. Existen autores que toman un porcentaje de eficiencia de 0.30 como promedio para hacer cálculos de producción de destilado.

La selección de materiales para la construcción del destilador son muy importantes, de manera general hablaremos sobre este aspecto que será estudiado mas detalladamente en capítulos siguientes; la cobertura puede ser vidrio o plástico, se pueden usar cualquiera de ellos pero la diferencia radica en el tiempo; vidrio se considera mejor para aplicaciones de largo tiempo ,sin embargo el plástico como polietileno puede usarse en aplicaciones de corto tiempo.

Usaremos como cubierta material tipo vidrio por su duración, espesores y dimensiones serán especificados mas adelante. Para la base del destilador se puede usar concreto de arena o concreto a prueba de agua, este tipo de materiales se usaran para nuestro proyecto al ser considerado de larga duración y a ser construido en el sitio mismo , además debe tomarse en cuenta que será fijo por las dimensiones que tendrá y el material de concreto que se utilizará.



### 3.2 CAPACIDAD VOLUMÉTRICA.

Para efecto de este calculo se van a tomar dos puntos de vista diferentes; el primero se basa en el consumo global de agua que se produce en un mes, según datos de personal militar que habita en la Isla.; esta cantidad asciende a 60000 Gal. de agua que se utilizan por alrededor de mes y medio; esto significa que:

$$\frac{60000 \text{ gal}}{45 \text{ dias}} = 1333.33 \frac{\text{gal}}{\text{dia}}$$

Esta cantidad es aproximada debido a que el numero de personas que habitan en las villas son un máximo de 50; se debe indicar también, que debido a la alta temperatura que se registra la cantidad de agua de bebida aumenta, al igual que el numero de veces de aseo personal, que implica a su vez un aumento de consumo de agua.

Desde el punto de vista del numero de personas que viven en la isla, tomando en consideración personal naval solamente, es un numero de 50. Si tomamos como consumo diario per. cápita de agua un promedio de 10 Gal., esto da como resultado:

$$10 \text{ gal} \times 50 \text{ personas} = 500 \frac{\text{gal}}{\text{persona}}$$

para nuestros cálculos vamos a tomar un promedio de necesidad de agua de :

$$\frac{500 + 1333.33}{2} = 916.66 \frac{\text{gal}}{\text{dia}}$$

Cálculos ya efectuados en estudios anteriores sobre destiladores de simple efecto arrojan resultados de producción diaria de 2.5 a 5 L. de destilado por metro cuadrado de superficie de destilador; esto implica en galones una producción de 0.66 a 1.32 por metro cuadrado.

El volumen de destilado va a variar según la cantidad de energía o insolación que tengamos durante un determinado día, pero su rango esta indicado entre esos valores.

En zonas donde la radiación varia entre 25.5 MJ/m<sup>2</sup> día ( 2951.9 W-h/m<sup>2</sup>) y 13.5 MJ/m<sup>2</sup> día (1562.5 W-h/m<sup>2</sup>) (DE 3), el caudal másico de destilado referido a metro cuadrado es de 3.8 y 1.9 L/m<sup>2</sup> día. Para nuestro estudio existen datos proporcionados por la Estación San Cristóbal, que indican valores para los años 1978-1981 con valores de irradiación entre 5820 W-h/m<sup>2</sup> en el mes de Marzo como lo indica la Tabla 2.4.1 y de 4957 W-h/m<sup>2</sup> en Enero. Esto induce a un razonamiento simple, el destilado va a ser en una proporción mayor que el resultado de destilado anteriormente mencionado. Sin embargo haremos un análisis del volumen de destilado que se obtendría con los datos de Heliofania

presentados en la Tabla 2.4.2 que muestran una tendencia mas actualizada desde el año 1997 hasta los primeros meses del 2001.

De acuerdo a las Fig. 2.41 a la Fig. 2.4.7 los datos de heliofania mas bajos en cada mes y en promedio anual son 1.9 y 4.95 respectivamente. Esto implica un valor de energia de  $1900 \text{ W-h/m}^2$  y  $4950 \text{ W-h/m}^2$  como valores tope inferiores, estan en los rangos de producción de destilado entre  $3.8$  y  $1.9 \text{ L/m}^2$  día mencionados anteriormente.

Respecto al volumen de agua salina que abarca el destilador este varia según diseño, a continuación en la tabla 3.2.1 y 3.2.2 se presentan dimensiones de destiladores a la venta que se tomaran como bases para un diseño propio mas adelante especificado.

tipos Destiladores	peso	Dimensiones	Capacidad agua	Salida
PLANO	66 lbs.	49" x3 6" x 7.5" back x 5.5"front	9 GLS	1+ GLS
PLANO	90 lbs.	77" x 36" x 7.5" back x 5.5" front	16 GLS	2+ GLS
PLANO	110 lbs.	93" x 36" x 7.5" back x 5.5" front	22 GLS	3+ GLS

TABLA 3.2.1 DIMENSION DE DESTILADORES PLANOS



Tipos destiladores	Peso	Dimensiones	Capacida d agua	Salida
Inclinado	70 lbs.	49" x3 5" x 3"	2.6 GLS	2+ GLS
Inclinado	110 lbs.	77" x 35" x 3"	4.3 GLS	3+ GLS

TABLA 3.2.2 DIMENSION DE DESTILADORES INCLINADOS

La forma física de estos destiladores planos e inclinados se pueden visualizar en las FIG.2.1.11 y FIG.2.1.12 respectivamente.

Si se produce una cantidad promedio de  $0.98 \text{ Gal/m}^2$  el volumen a retener dentro del destilador debe ser mayor como lo muestran las dimensiones de las tablas arriba indicadas, lo que implica diseñar una superficie mas larga que ancha por factibilidad de espacio. Debido a que, en el mercado se puede conseguir vidrio de espesor 4mm, con ancho máximo de 1.2m por lo tanto el ancho del destilador se diseñara en esa dimensión; la altura de agua salina se calculara a continuación tomando como premisa que el agua dentro del destilador se evapora en nuestro medio a un promedio de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Por tanto:

La cantidad de energía que llega por el sol promedio la tomamos como un valor de  $5388.5 \text{ W-h/m}^2$ .



Para calentar agua desde una temperatura de  $18^{\circ}$  a  $55^{\circ}$  C se necesita una cantidad de energía de :

$$q = mC_p\Delta T$$

$$m = \frac{5388.5 \frac{W \text{ hr}}{m^2} \times 2 \times 1.2m^2 \times \frac{3600 \text{ sec}}{\text{hr}} \times \frac{J}{W \text{ sec}} \times \frac{KJ}{10^3 J}}{4.179 \frac{KJ}{Kg^{\circ} K} \times (55 - 18)^{\circ} K}$$

$$m = 301.09Kg$$

$$V = \frac{301.09Kg}{1000 \frac{Kg}{m^3}} = 0.301m^3$$

Debido a que el área es de :

$$A = 1.2m \times \cos 15 \times 2m = 2.3182m^2$$

Por tanto la altura de agua será :

$$h = \frac{0.301m^3}{2.3182m^2} = 0.1298 \cong 0.13m$$

Entonces las medidas internas del destilador son :

Ancho : 1.2 m

Largo : 2 m

Altura ( de agua ) : 0.13m

Esto resulta en un volumen de agua salina de :

$$\text{vol agua de mar} = 2 \times 1.2 \times 0.13 = 0.312 \text{m}^3 = 82.42 \text{gal}$$

Este calculo corresponde al volumen interno del destilador para establecer su capacidad, además el análisis es efectuado para un solo destilador; para la obtención del destilado total debe conformarse módulos destiladores conectados en serie, unidos entre si mediante tuberías .

Con la variación en cuanto a cantidad de energía recibida indicada en la Tabla 2.4.2, en términos de heliofania, vamos a recalcular la altura de agua que debería tener utilizando el promedio de horas luz que asciende a un valor de 2.7 horas luz, equivalente a  $2700 \text{ W-h/m}^2$ ; este promedio esta considerado critico en relacion a los últimos años.

Con el mismo calculo anterior tenemos:

$$q = mC_p\Delta T$$

$$m = \frac{2700 \frac{W \text{ hr}}{m^2} \times 1.2m^2 \times \frac{3600 \text{ sec}}{\text{hr}} \times \frac{J}{W \text{ sec}} \times \frac{KJ}{10^3 J}}{4.179 \frac{KJ}{Kg^\circ K} \times (55 - 18)^\circ K}$$

$$m = 150.87kg$$

$$V = \frac{150.87Kg}{1000 \frac{Kg}{m^3}} = 0.15087m^3$$

Y finalmente la altura de agua es de 6.5cm; una diferencia de altura respecto a la primera del doble. Esta variación debe ser tomada en cuenta para establecer un rango de altura de agua para los meses de radiación alta y baja respectivamente.

### 3.3 CALCULOS DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA –TIEMPO REQUERIDO

La productividad diaria de los destiladores de efecto simple es del orden de 2.5 a 5 litros, un promedio aproximado de 0.98 galones diarios por metro cuadrado de destilador. Esta productividad no solo depende del diseño del destilador sino también depende fuertemente de muchos factores atmosféricos, de los cuales el principal es la magnitud de la irradiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento.

Como una aproximación se puede decir que, dentro de ciertos límites, a mayor irradiación, a mayor velocidad del viento, y a menor temperatura ambiente, la productividad de destilado aumenta; estos factores son favorables en la zona de Baltra puesto que existe una brisa que va a enfriar el cobertor de vidrio o condensador y la irradiación solar tiene un rango muy aceptable.

Tomando esta premisa como base podemos realizar un cálculo de producción de destilado aproximado con una superficie de recepción de energía que a continuación se detalla.

Como se indicó anteriormente necesitamos producir 916.6 Gal./día y por cada metro cuadrado de superficie colectora de energía producimos en promedio diario 0.65 Gal., por tanto, necesitamos un área total de :

$$\frac{916.66 \frac{\text{gal}}{\text{día}}}{0.65 \frac{\text{gal/día}}{\text{m}^2}} = 1410.24 \text{m}^2$$

Cada unidad de destilador, tiene un área efectiva de recepción de energía de :

$$1.20 \text{m} \times \cos 15^\circ \times 2 \text{m} = 2.318 \text{m}^2$$

Mas adelante se realizara un análisis de la pendiente del cobertor de vidrio que sea optimo para alcanzar mayor transmisividad en la zona de Galápagos situada a una latitud de 0° 35'S y longitud 90° W, para un primer análisis se ha tomado como 15°.

Es decir debemos tener una superficie total de 935.36m<sup>2</sup> con módulos de 2.318 m<sup>2</sup> cada uno, esto implica un total de módulos de:

$$\frac{1410.24m^2}{2.318 \frac{m^2}{\text{modulo}}} = 608 \text{ mod}$$

Esta producción puede ser beneficiada con la recolección de aguas de lluvia. La recolección efectuada de manera cuidadosa mediante un diseño sencillo complementario al existente aumentará de manera favorable el destilado obtenido.

De acuerdo a datos obtenidos por la Estación Metereológica de la Isla de Baltra los niveles de agua lluvia para los meses de Febrero a Abril favorecen este aspecto.

Estacion Meteorologica de la Isla Baltra	
Latitud: 00° 20'S	
Longitud: 90° 17' W	
Elevacion: 17 msnm	
	(mm)
Enero	0
Febrero	76,7
Marzo	157,4
Abril	127,6
Mayo	0
Junio	0
Julio	2,5
Agosto	0,1
Septiembre	0,2
Octubre	0

TABLA 3.3.1 DATOS DE NIVEL DE LLUVIAS EN LA ISLA DE BALTRA

### 3.4 DIMENSIONES FÍSICAS DEL DESTILADOR

Además de las dimensiones interiores ya indicadas se especificaran a continuación las exteriores con un ángulo inclinación de 15° de cobertor y un espesor de aislamiento de 0.05m, el tipo de aislamiento se indicara en el capitulo 4 de materiales a usar.

El diagrama de la FIG.3.4.1 , muestra un destilador de prueba que se uso para las experimentaciones.

La FIG.3.4.2 indica las dimensiones del destilador que se ha diseñado para el proyecto, en vista superior y lateral.

Las dimensiones del destilador se especifican a continuación:

Altura mayor : 0.4755m

Altura menor : 0.165 m

Ancho : 1.20 m

Largo : 2.0 m

Canaleta de recolección :

Alto : 1.5 cm

Ancho : 2.5cm

Pendiente del cobertor : 15°

Espesor aislante : 0.05m

El aislante deberá recubrir las partes posterior y anterior así como la base y los costados.

Diámetro orificios entrada / salida destilador : ½ “

Diámetro orificio de salida del destilado : 0.015m

Altura del orificio de entrada : 0.14 m

Altura del orificio de salida : 0.01 m.

Alturas tomadas internas desde la base de agua salina.

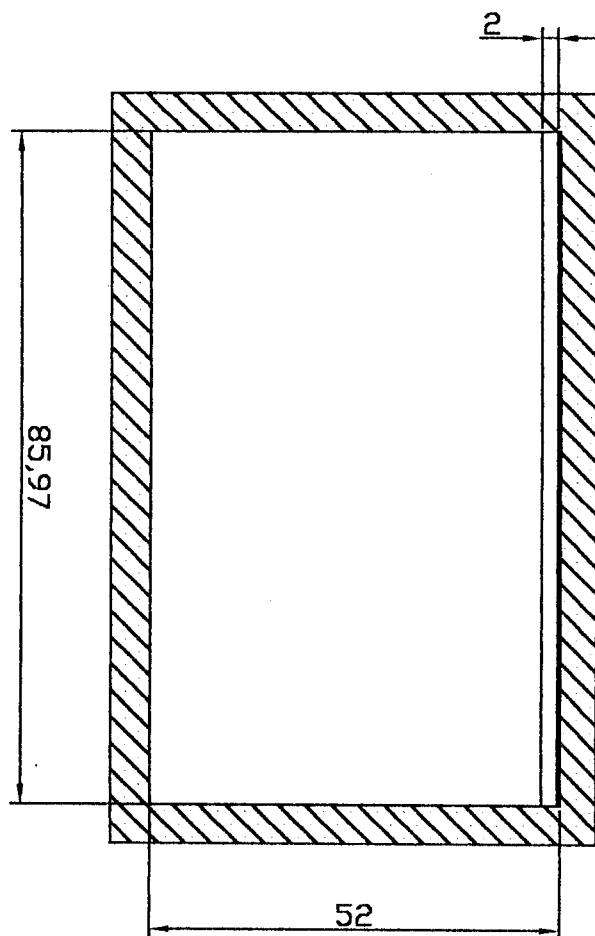
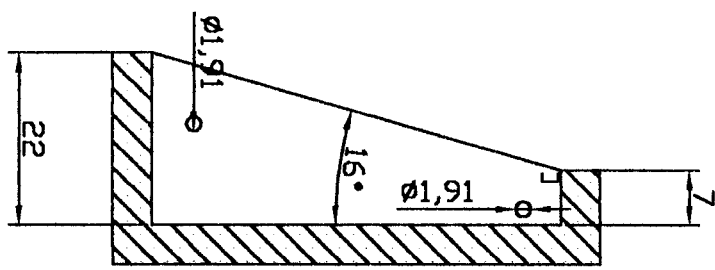
Pendiente de canaleta de recolección : 2 °

Diferencia de altura entre los extremos de la canaleta : 0.03 m.

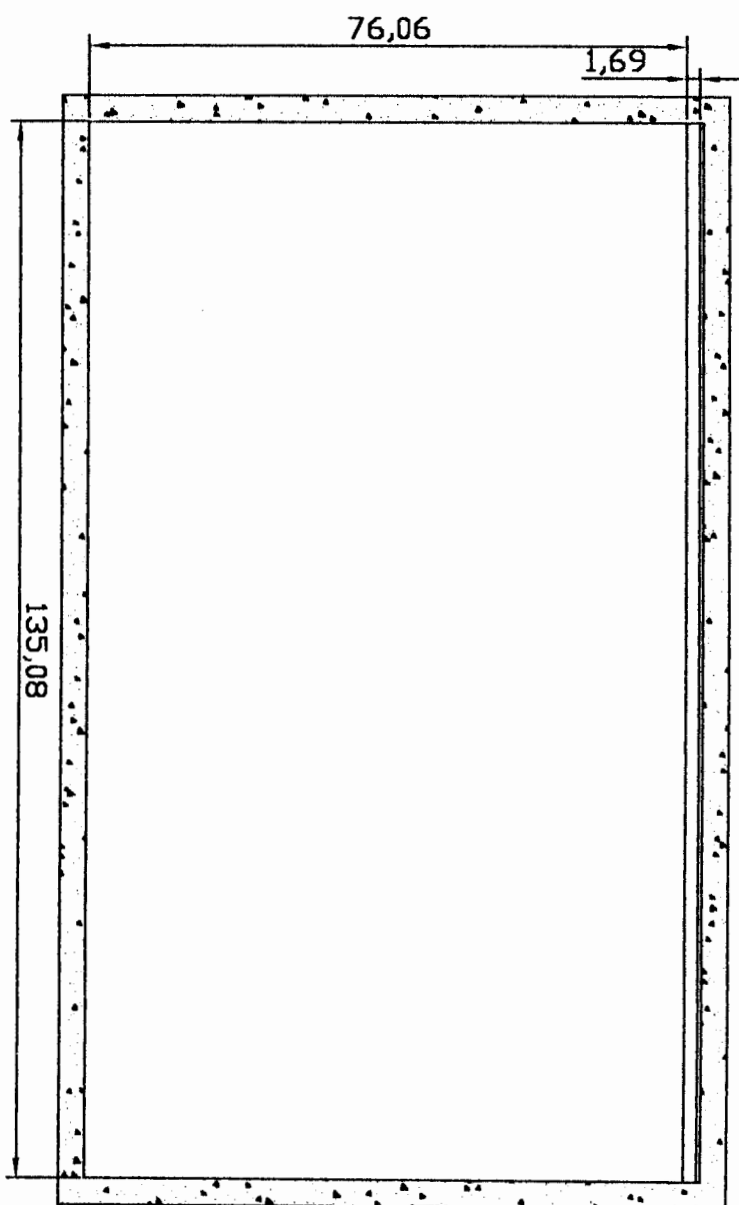
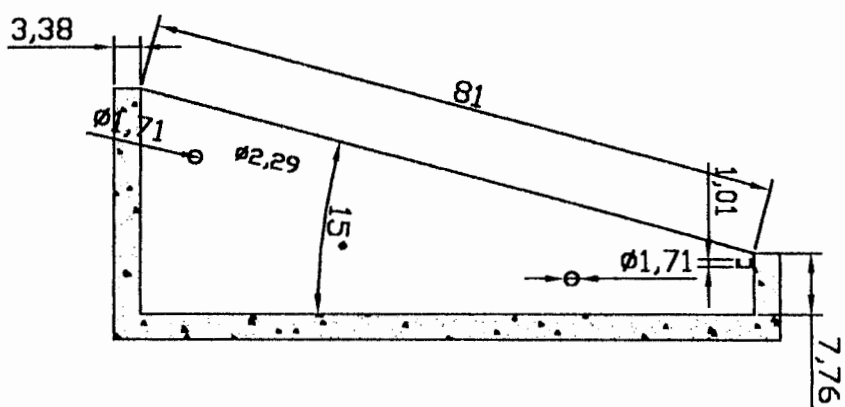
Las Fig. 3.4.3 nos grafica las dimensiones del destilador en una vista superior; de la misma manera la Fig.,3.4.4 enseña el destilador visto desde un costado, que corresponde a una vista lateral del mismo. Finalmente, la Fig. 3.4.5 es una representación de la vista frontal para tener una idea clara del diseño de este destilador.



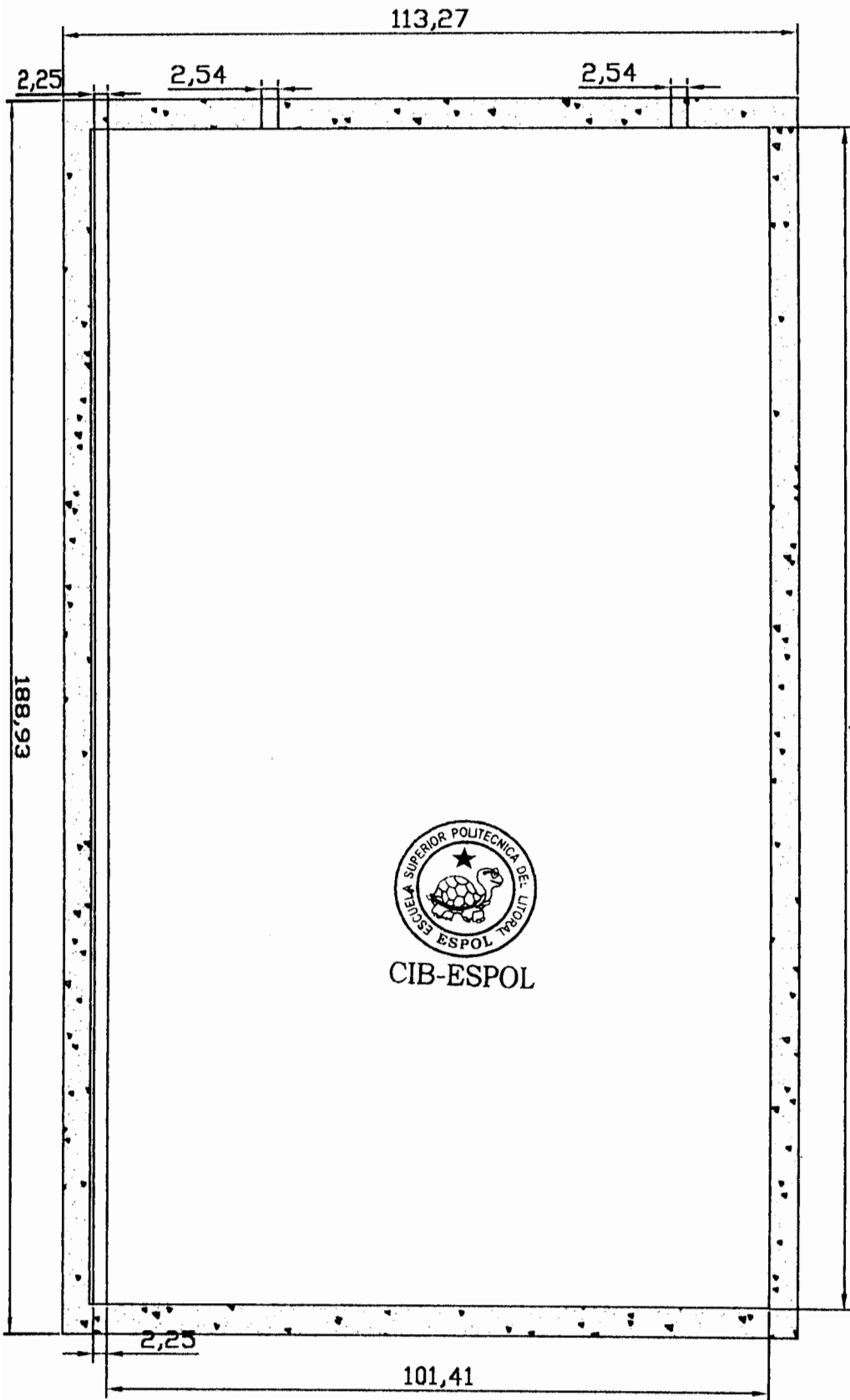
# DESTILADOR DE PRUEBA



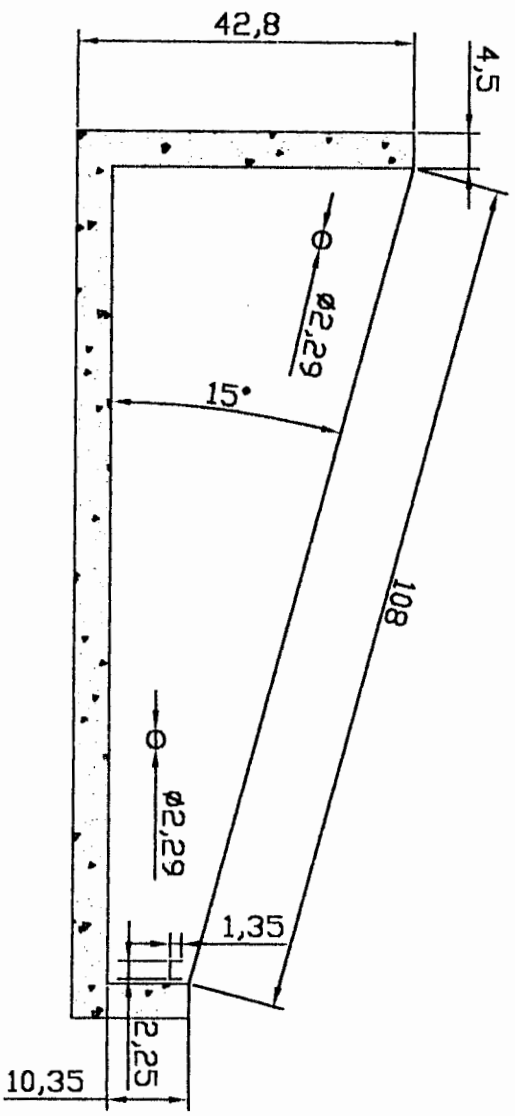
## DESTILADOR A USAR PARA PROYECTO



# DESTILADOR VISTA SUPERIOR

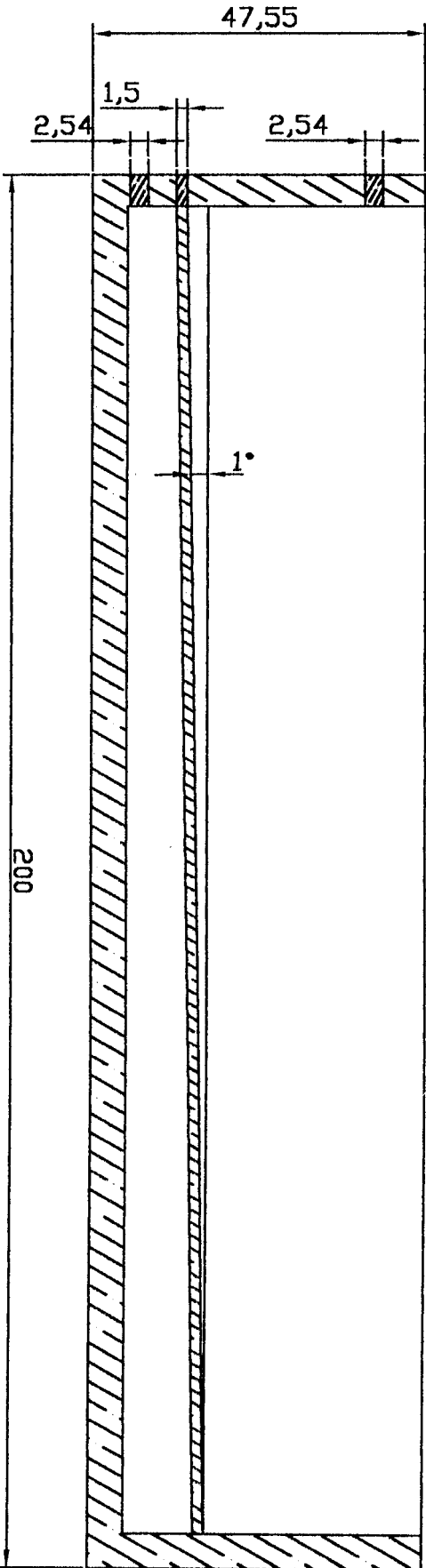


# DESTILADOR VISTA LATERAL



ESCALA 9 : 10

# DESTILADOR VISTA FRONTAL



Análisis del espesor de aislamiento de las paredes del destilador:

A continuación se elabora una evaluación del espesor de aislamiento óptimo que debe tener en función de los costos del mismo, es decir, minimizar la cantidad de espesor de tal manera de evitar una pérdida significativa por las paredes del sistema en análisis que permita mantener una eficiencia considerada normal para un destilador solar que corresponde a valores de 0.3 a 0.4 .

Debido a que la conductividad térmica del aislante es bajo y de un valor de 0,020 W/m°K , además, tomando como temperatura interna promedio de 45.86°C (319.01°K) y temperatura externa medio ambiente de 30.86 ° C (304.1°K) la cantidad de calor que se perderá por las paredes puede ser calculada como conducción térmica lineal utilizando la siguiente ecuación :

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= \frac{k}{L} \times \Delta T \\ \frac{q}{A} &= \frac{0.020 \frac{W}{m^{\circ}K}}{L} \times (319.01^{\circ}K - 304.1^{\circ}K) \\ \frac{q}{A} &= \frac{0.2982 \left[ \frac{W}{m} \right]}{L} = \frac{0.002982 \left[ \frac{W}{m} \right]}{L \text{ cm}} \end{aligned}$$

Este análisis implica que el calor perdido por cada centímetro de aislamiento será de 0.002982 W/m , en otras palabras, si se coloca un centímetro de

aislamiento térmico se perderá 0.002982 W/m de energía que no será utilizada para la evaporación del agua dentro del destilador; en cambio si se considera colocar un centímetro adicional se perderá la mitad, una cantidad de calor de 0.001491 W/m .

Ahora desde el punto de vista de costos, el análisis tiene que ver con el precio del aislante por centímetro de espesor que corresponde a un valor 4 \$/Kg. Al se la densidad del pumaflon es de 16 kg/m<sup>3</sup>, entonces el precio es de 64 \$/m<sup>3</sup>; el área total que cada destilador tomando en consideración las paredes frontal, posterior y lateral es de 3.035 m<sup>2</sup>; por tanto el precio por metro de espesor sería de \$ 194.24/m, y con la transformación a centímetros para realizara la comparación , el valor corresponde a 1.9424\$/cm de aislante por cada destilador.

Es necesario evaluar la cantidad de energía que necesita el volumen de agua que se encuentra dentro del destilador para elevar su temperatura a la de temperatura de vaporización y realizar el proceso de destilación ; este volumen en la cavidad del sistema es de 0.01505m<sup>3</sup>,y para elevar su temperatura de 18 a 55 ° C se necesitan 5388.5 W hr/m<sup>2</sup> de energía en un día determinado; la energía que se usa, en si, en Watts por unidad de área , tomando en cuenta 8 hrs. de sol promedio útil es :

$$potencia = \frac{5388.5 \frac{W \text{ hr}}{m^2}}{8hr} = 673.5625 \frac{W}{m^2}$$

$$potencia \text{ neta} = 0.3097 \times 673.5625 = 208.60 \frac{W}{m^2}$$

Con estos dos valores ya tabulados , es decir, el valor de energía perdida por cada centímetro de aislante y el valor de mercado o precio por centímetro del mismo, podemos realizar el siguiente análisis comparativo con ayuda de la Tabla 3.4.1 en la que se indica las variaciones de espesor, costo por centímetro y el volumen que se podría destilar en el sistema.

Podemos observar en la tabla que los valores de energía que se pierde por las paredes disminuye como era de esperarse aumentando el espesor del aislante, sin embargo, en la columna de pérdida de energía se observa que a partir de 4.5cm de espesor la diferencia de pérdida de energía por las paredes es menor a 0.01 W/m<sup>2</sup> , lo que implica que es un pérdida pequeña, a medida que se sigue incrementando el espesor esta diferencia de energía disminuye cada vez en menor proporción, en otras palabras, no representa desde el punto de vista económico colocar una capa de aislante gruesa si el ahorro de energía que se va a recibir no representa una cantidad considerable.



Mencionaremos lo que sucede en cambio, en la columna del precio del aislante por destilador, que se observa en la columna numero 4 , el precio correspondiente a 4.5 cm de aislante es la mitad del precio de 9 cm de espesor, y como habíamos analizado previamente no es una buena inversión aumentar costos sin tener una retribución en energía a emplearse significativa .

Una observación final respecto a la ultima columna de volumen a destilar , podemos verificar que la cantidad de volumen de agua que la energía que no se pierde puede destilar va aumentando con gran pendiente al inicio pero su pendiente se suaviza en 4.5 cm .

Los comportamientos de estos datos podemos visualizarlos en las Fig. 3.4.6 , Fig. 3.4.7 y Fig.3.4.8.



CIB-ES

Estas figuras muestran el comportamiento de una curva espesor de aislante, versus perdida de energía, espesor de aislante vs. costo del aislamiento, y espesor de aislante vs. volumen a destilar, respectivamente.

Luego de este análisis podemos concluir que el espesor de aislante optimo para este destilador es 4.5cm, sin embargo , podemos adoptar un espesor de 5cm como margen para lograr una mejor retención de la energiza y evitar perdidas por las paredes.

Espesor aislante (cm)	Energía perdida (w/m <sup>2</sup> )	Diferencia de Energía (w/m <sup>2</sup> )	(\$)/destilador	Vol. agua a destilar (m <sup>3</sup> )	Vol. agua a destilar (Gal.)
1	0,2982000		1,9424	0,01504334	3,97403
1,5	0,1988000	0,09940	2,9136	0,01504556	3,97462
2	0,1491000	0,04970	3,8848	0,01504667	3,97491
2,5	0,1192800	0,02982	4,856	0,01504733	3,97509
3	0,0994000	0,01988	5,8272	0,01504778	3,97520
3,5	0,0852000	0,01420	6,7984	0,01504810	3,97529
4	0,0745500	0,01065	7,7696	0,01504833	3,97535
4,5	0,0662667	0,00828	8,7408	0,01504852	3,97540
5	0,0596400	0,00663	9,712	0,01504867	3,97544
5,5	0,0542182	0,00542	10,6832	0,01504879	3,97547
6	0,0497000	0,00452	11,6544	0,01504889	3,97550
6,5	0,0458769	0,00382	12,6256	0,01504897	3,97552
7	0,0426000	0,00328	13,5968	0,01504905	3,97554
7,5	0,0397600	0,00284	14,568	0,01504911	3,97555
8	0,0372750	0,00249	15,5392	0,01504917	3,97557
8,5	0,0350824	0,00219	16,5104	0,01504922	3,97558
9	0,0331333	0,00195	17,4816	0,01504926	3,97559
9,5	0,0313895	0,00174	18,4528	0,01504930	3,97560
10	0,0298200	0,00157	19,424	0,01504933	3,97561

TABLA 3.4.1 RELACIONES DE ESPESORES AISLANTE-PRECIO

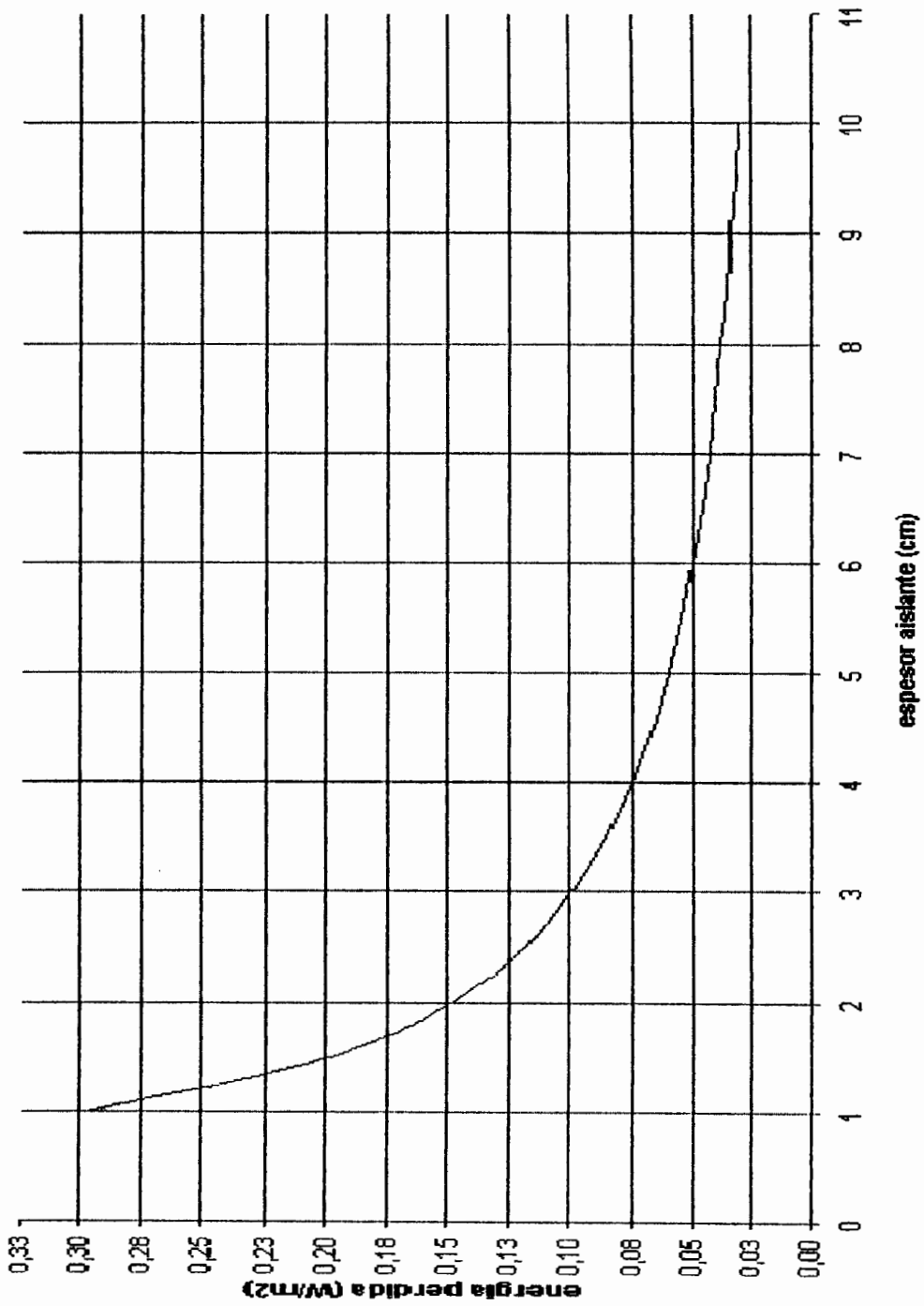


FIG 3.4.6 CURVA PERDIDA ENERGIA POR PAREDES-ESPESOR AISLANTE



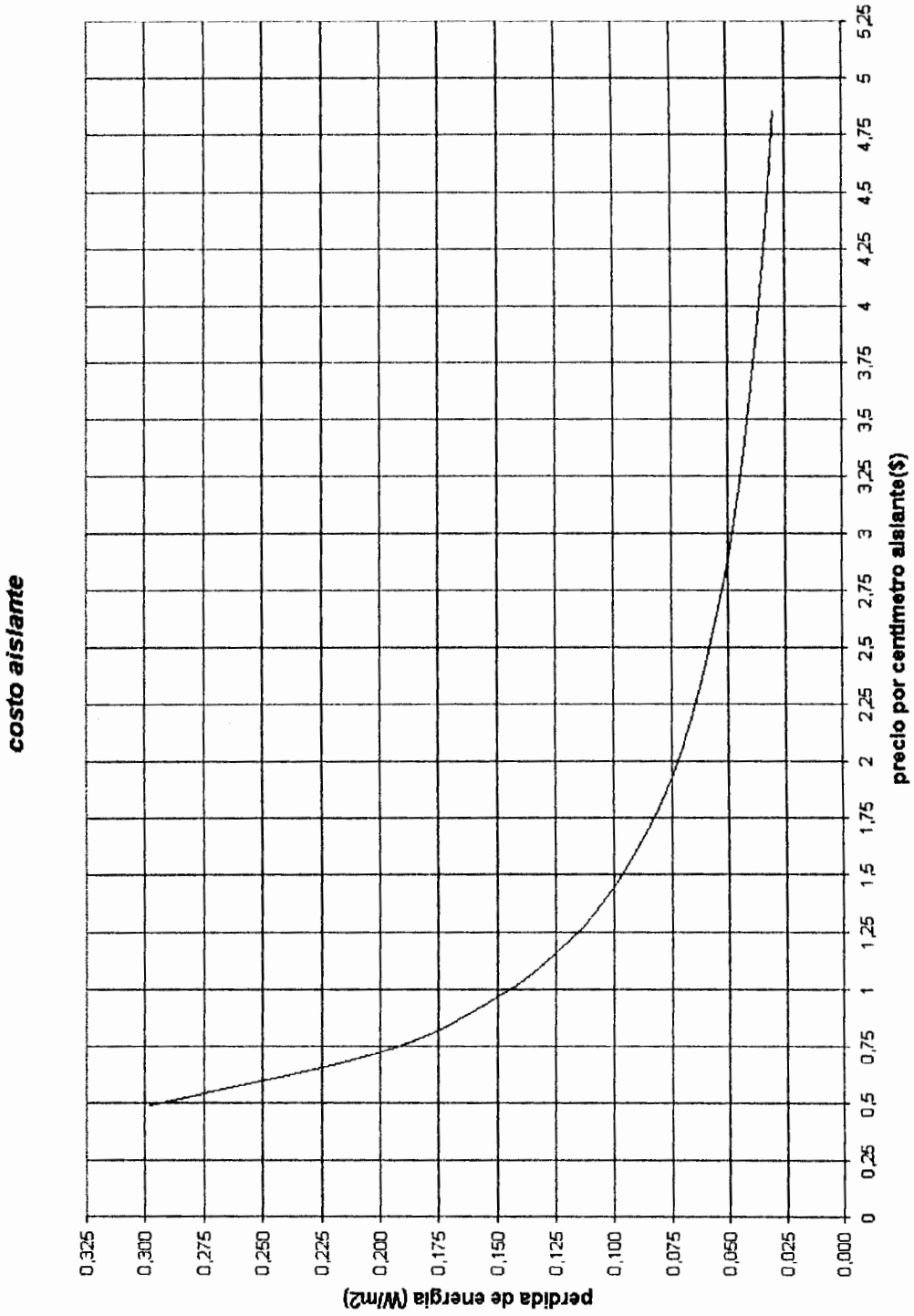


FIG 3.4.7 CURVA PERDIDA ENERGIA POR PAREDES-COSTO AISLANTE

Volumen a destilar- espesor aislante

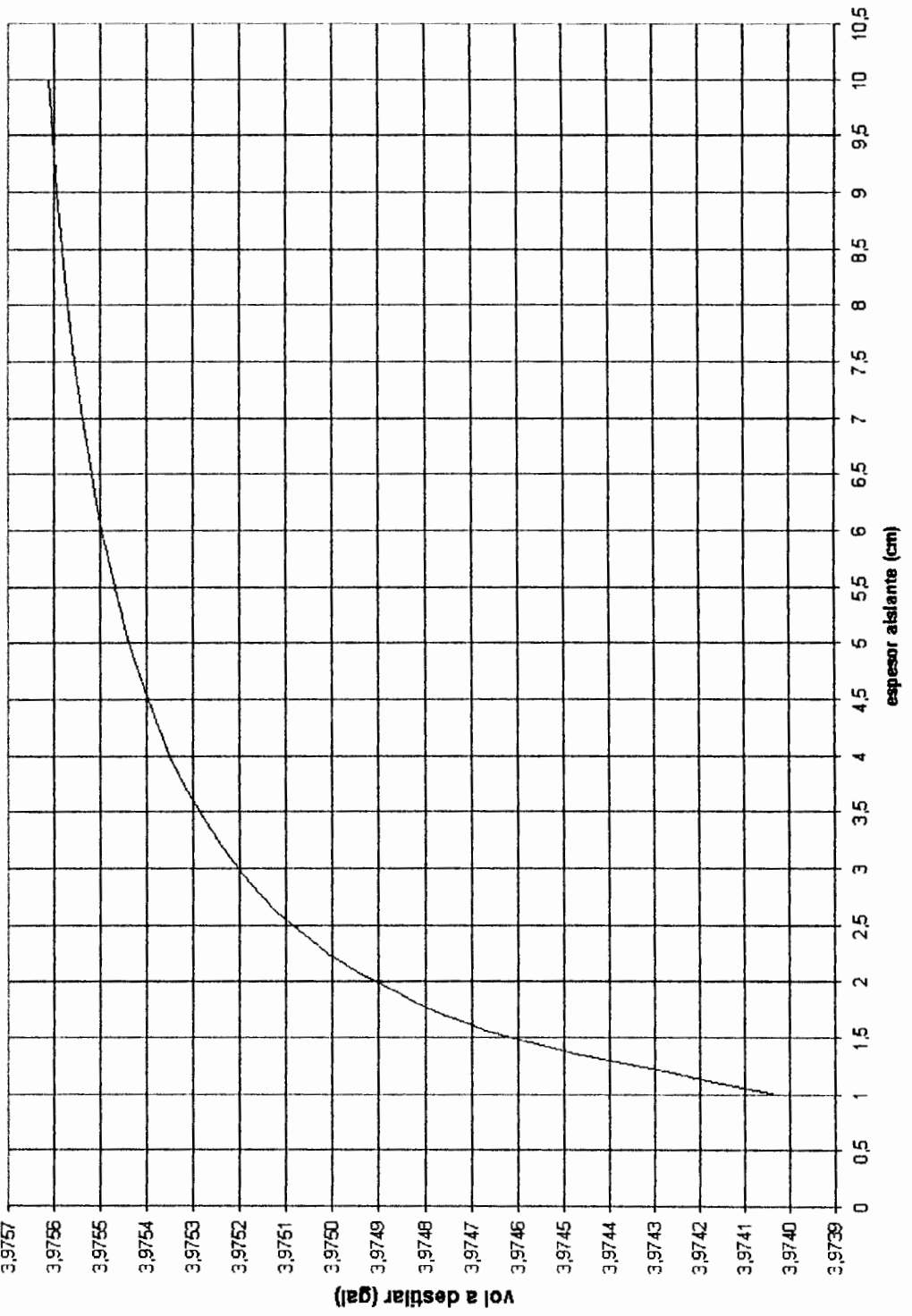


FIG 3.4.8 CURVA VOL DESTILADO-ESPELOR AISLANTE

### Análisis de la pendiente del cobertor de vidrio del destilador:

El valor de la pendiente que se ha establecido en  $15^\circ$  fue producto de investigaciones acerca de destiladores ya probados anteriormente incluso fabricados en series de numerosos ejemplares por empresas que se dedican a la comercialización de este tipo de sistemas ambientales para almacenamiento de energía ;en ellos, las pendientes que se mencionan varían en un rango de  $10$  a  $30^\circ$ .

Existe un valor de pendiente mínimo para el cual una gota de agua formada en la superficie inferior del cobertor de vidrio de un destilador, se desliza hacia la canaleta; esta pendiente , depende de las propiedades de tensión superficial referentes al agua respecto del vidrio; en forma practica , es decir, experimentalmente colocamos diversas inclinaciones de dicho cobertor en contacto con el vapor de agua en la parte inferior , y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.4.2 . ; las pruebas se realizaron a presión atmosférica, debemos enfatizar que, ésta no es igual a la presión que existe en el destilador debido al aumento de temperatura del agua en el interior por efecto de la energía solar recibida o colectada por el sistema y, debido a que esta sellado por los costados manteniendo un hermetismo interior que eleva la presión aun mas. Sin embargo para nuestro análisis de pendiente minima a usarse para que se

produzca el deslizamiento de una gota de vapor de agua condensado tomamos como validos los datos que se pudieron recoger de la experimentación.

El mínimo valor de pendiente obtenido de esta manera fue de  $7.50^\circ$  , sin embargo este considerándolo como valor mínimo debe dejarse un rango de variación a adicionar a esta pendiente para efecto de facilitar el deslizamiento de las gotas formadas. En la Tabla 3.4.2 podemos verificar que a partir del valor mínimo mostrado las características de velocidad y deslizamiento aumentan poco a poca de tal forma que hemos escogido como valor optimo el de  $15^\circ$  en el cual se observan menores desprendimientos de las gotas , lo cual va a ayudar en el rendimiento del destilador .

PENDIENTE ( ° )	OBSERVACIONES
5.31	Existe formación de gotas pero estas no resbalan sino se desprenden y caen.
5.89	Se produce la formación de gotas, estas se deslizan por la superficie pero recorren poca distancia y se desprenden.
6.73	El recorrido es un poco mayor pero se detiene por instantes desprendiéndose algunas solamente
7.50	Se deslizan las gotas formadas con mayor facilidad, pocas se desprenden
7.09	El deslizamiento se visualiza en forma continua ; hay menor desprendimiento de gotas
7.80	Mayor velocidad de recorrido de la gota al deslizarse
8.51	La diferencia con la pendiente anterior es poco notoria
9.59	Disminuyen las gotas desprendidas, la facilidad de deslizamiento mejora.
12.11	Respecto a la pendiente anterior la velocidad de deslizamiento aumenta levemente.
14.29	El desprendimiento de gotas ya esta eliminado en casi su totalidad.

TABLA 3.4.2 PENDIENTES DE PRUEBA PARA COBERTOR DE VIDRIO





### 3.5 EFICIENCIA DEL DESTILADOR

Primeramente se realizara un análisis del ángulo optimo de pendiente que debe tener el cobertor de vidrio; para lo cual partiremos de la definición de transmisividad. Mientras mas energía se transmita a través del vidrio será máxima la energía que podrá usarse para evaporar el agua, por tanto:

$$\dot{q} = Gn \times A \times \tau \quad (3.5.1)$$

donde :

$\tau$  :transmisividad de la cubierta del destilador

Este valor esta tabulado pero puede variar dependiendo de la inclinación que tenga la cubierta de vidrio respecto al ángulo de incidencia de los rayos solares.

Como se indica en (4) la transmisividad se relaciona con la reflectividad entre dos medios y la absorptividad de la superficie , por tanto la formula que se indica a continuación expresa su relación de la siguiente forma:

$$\tau = \frac{(1-r_1)(1-r_2)(1-r_3)}{[(1-r_3r_2)][1-(r_1r_2)(1-\alpha^2)]-(r_1r_3)(1-r_2^2)(1-\alpha^2)} \quad (3.5.2)$$

donde:

$r_1$ : reflectividad aire vidrio

$r_2$ : reflectividad vidrio agua

$r_3$ : reflectividad agua aire

La absorptividad se relaciona con el ángulo de incidencia mediante :

$$\alpha = 0.3514 + 0.00045 \theta_{\text{incidencia}} \quad (3.5.3)$$

Calculo  $r_1$ :

Consideramos que las dos componentes de la vibración tienen igual intensidad y que una vibra en un plano normal al vidrio y la segunda paralelo, entonces :

$$r_1 = \frac{\text{sen}^2(\theta_{in} - \theta_{ref})}{\text{sen}^2(\theta_{in} + \theta_{ref})} + \frac{\text{tan}^2(\theta_{in} - \theta_{ref})}{\text{tan}^2(\theta_{in} + \theta_{ref})} \quad (3.5.4)$$

$\theta_{ref}$  :es el ángulo de refracción entre esas superficies

El ángulo de refracción se obtiene con la relacion de senos entre el ángulo de incidencia y los índices de refracción de cada medio.

$$\frac{n_{\text{aire}}}{n_{\text{vidrio}}} = \frac{\text{sen}\theta_{\text{ref aire-vidrio}}}{\text{sen}\theta_{\text{incidencia}}} \quad (3.5.5)$$

Finalmente el ángulo de incidencia se calculo con la posición geográfica de la Isla de Baltra, de la siguiente forma :

$$\cos\theta_{\text{incidencia}} = \cos\delta \times \cos\phi \times \cos\varpi + \text{sen}\delta \times \text{sen}\phi \quad (3.5.6)$$

$\phi$  : Ángulo de latitud en Baltra

$\delta$  : *angulo de declinacion*

$\varpi$  : *angulo horario*

$$\delta = 23.45 \text{sen} \left[ (360) \left( \frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (3.5.7)$$

$n$  : día del año desde el primero de enero

$$\varpi = 15 \times \text{hora} - 180$$

La posición de Baltra-Galápagos es:

latitud: 0° 35`S

longitud : 90° W

Los cálculos para el ángulo de incidencia se presentan a continuación tomando como hora de mayor radiación las 13h00 y el mes donde existe mayor radiación y menor radiación, que son marzo y enero respectivamente. Tablas 3.5.1 y 3.5.2

Las 13h00 corresponde a un ángulo horario de  $15^\circ$ , y los días están contados a partir del 1° de Enero como día uno, en la primera tabla se especifica los cálculos del mes de Marzo; en la siguiente tabla se presenta el mes de menor radiación que corresponde a Enero .

Se ha tomado esa hora como referencia asumiendo como promedio mayor de radiación en las horas de sol, es decir, tomando como horas picos de radiación las 13h00.

dia	Ángulo declinacion	Angulo horario	Cos ángulo	ang incidencia
59	-8,8280695	15	0,9544828	17,35348127
60	-9,6419524	15	0,9522808	17,77159394
61	-10,4420878	15	0,9499287	18,20794285
62	-11,2273349	15	0,9474403	18,6588493
63	-11,9965742	15	0,9448300	19,12080434
64	-12,7487088	15	0,9421131	19,59048616
65	-13,4826663	15	0,9393054	20,06476839
66	-14,1974004	15	0,9364231	20,54072172
67	-14,8918918	15	0,9334828	21,0156107
68	-15,5651505	15	0,9305014	21,48688747
69	-16,2162165	15	0,9274962	21,95218342
70	-16,8441615	15	0,9244842	22,40929997
71	-17,4480901	15	0,9214826	22,85619887
72	-18,0271413	15	0,9185086	23,29099263
73	-18,5804896	15	0,9155788	23,7119354
74	-19,1073459	15	0,9127100	24,11741431
75	-19,6069590	15	0,9099183	24,5059416
76	-20,0786166	15	0,9072192	24,87614741
77	-20,5216462	15	0,9046280	25,22677331
78	-20,9354162	15	0,9021591	25,55666652
79	-21,3193365	15	0,8998262	25,86477483
80	-21,6728599	15	0,8976422	26,15014208
81	-21,9954822	15	0,8956194	26,41190427
82	-22,2867434	15	0,8937687	26,64928614
83	-22,5462284	15	0,8921006	26,86159821
84	-22,7735670	15	0,8906240	27,04823432
85	-22,9684352	15	0,8893472	27,20866947
86	-23,1305551	15	0,8882771	27,34245802
87	-23,2596956	15	0,8874196	27,44923226
88	-23,3556725	15	0,8867794	27,52870119
89	-23,4183490	15	0,8863600	27,58064964
90	-23,4476358	15	0,8861637	27,60493758

TABLA 3.5.1 ÁNGULO INCIDENCIA 13H00 PARA MARZO



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

dia	Angulo declinacion	Angulo horario	Cos angulo	ang incidencia
1	22,8140578	15	0,8903596	27,08153607
2	23,0025710	15	0,8891225	27,23681625
3	23,1582873	15	0,8880934	27,36537218
4	23,2809846	15	0,8872778	27,46685116
5	23,3704879	15	0,8866804	27,54097702
6	23,4266698	15	0,8863042	27,58754927
7	23,4494500	15	0,8861515	27,60644246
8	23,4387962	15	0,8862229	27,59760581
9	23,3947234	15	0,8865182	27,56106307
10	23,3172945	15	0,8870357	27,49691255
11	23,2066200	15	0,8877726	27,40532749
12	23,0628575	15	0,8887248	27,2865565
13	22,8862122	15	0,8898872	27,14092443
14	22,6769358	15	0,8912533	26,9688333
15	22,4353268	15	0,8928158	26,77076367
16	22,1617296	15	0,8945659	26,54727625
17	21,8565343	15	0,8964941	26,29901377
18	21,5201760	15	0,8985896	26,02670334
19	21,1531344	15	0,9008411	25,73115912
20	20,7559328	15	0,9032358	25,41328544
21	20,3291375	15	0,9057606	25,07408045
22	19,8733570	15	0,9084014	24,7146403
23	19,3892412	15	0,9111434	24,33616384
24	18,8774802	15	0,9139712	23,93995809
25	18,3388039	15	0,9168690	23,52744423
26	17,7739802	15	0,9198204	23,10016447
27	17,1838144	15	0,9228087	22,65978952
28	16,5691481	15	0,9258170	22,20812682
29	15,9308575	15	0,9288281	21,74712942
30	15,2698528	15	0,9318249	21,27890534
31	14,5870764	15	0,9347902	20,80572724

TABLA 3.5.2 ÁNGULO INCIDENCIA 13H00 PARA ENERO

Tomaremos los ángulos mayor y menor para cálculo de los ángulos de refracción; con la ecuación 3.5.5 tenemos:

El ángulo de refracción de la interfase aire vidrio

$$\text{sen}(\theta_{\text{ref aire-vidrio}}) = \frac{n_{\text{aire}}}{n_{\text{vidrio}}} * \text{sen}\theta_{\text{incidencia}}$$

$$\text{sen}(\theta_{\text{ref aire-vidrio}}) = \frac{1}{1.52} * \text{sen}(17.35)$$

$$\theta_{\text{ref aire-vidrio}} = 11.31^\circ$$

$$\theta_{\text{ref aire-vidrio}} = 17.55^\circ$$

El ángulo de refracción de la interfase vidrio agua:

$$\text{sen}(\theta_{\text{ref vidrio-agua}}) = \frac{n_{\text{vidrio}}}{n_{\text{agua}}} * \text{sen}\theta_{\text{aire-vidrio}}$$

$$\text{sen}(\theta_{\text{ref vidrio-agua}}) = \frac{1.52}{1.33} * \text{sen}(11.31)$$

$$\theta_{\text{ref vidrio-agua}} = 12.95^\circ$$

$$\theta_{\text{ref vidrio-agua}} = 20.15^\circ$$

El ángulo de refracción de la interfase agua aire

$$\text{sen}(\theta_{\text{ref-agua-aire}}) = \frac{n_{\text{agua}}}{n_{\text{aire}}} * \text{sen}\theta_{\text{vidrio-agua}}$$

$$\text{sen}(\theta_{\text{ref-agua-aire}}) = \frac{1.33}{1} * \text{sen}(12.95)$$

$$\theta_{\text{ref-agua-aire}} = 17.34^\circ$$

$$\theta_{\text{ref-agua-aire}} = 27.26^\circ$$

A partir de la ecuación 3.5.4 podemos sacar la reflectividad para cada interfase de la siguiente manera:

Reflectividad interfase aire vidrio r1:

$$r_1 = \frac{\text{sen}^2(\theta_{\text{in}} - \theta_{\text{ref aire-vidrio}})}{\text{sen}^2(\theta_{\text{in}} + \theta_{\text{ref aire-vidrio}})} + \frac{\tan^2(\theta_{\text{in}} - \theta_{\text{ref aire-vidrio}})}{\tan^2(\theta_{\text{in}} + \theta_{\text{ref aire-vidrio}})}$$

$$r_1 = 8.56E - 02$$

$$r_1 = 9.1E - 02$$

Reflectividad interfase vidrio agua r2:

$$r_2 = \frac{\text{sen}^2(\theta_{\text{aire-vidrio}} - \theta_{\text{vidrio-agua}})}{\text{sen}^2(\theta_{\text{aire-vidrio}} + \theta_{\text{vidrio-agua}})} + \frac{\tan^2(\theta_{\text{aire-vidrio}} - \theta_{\text{vidrio-agua}})}{\tan^2(\theta_{\text{aire-vidrio}} + \theta_{\text{vidrio-agua}})}$$

$$r_2 = 8.88E - 03$$

$$r_2 = 8.13E - 03$$



Reflectividad interfase vidrio agua aire r3:

$$r_3 = \frac{\text{sen}^2(\theta_{\text{vidrio-agua}} - \theta_{\text{agua-aire}})}{\text{sen}^2(\theta_{\text{vidrio-agua}} + \theta_{\text{agua-aire}})} + \frac{\text{tan}^2(\theta_{\text{vidrio-agua}} - \theta_{\text{agua-aire}})}{\text{tan}^2(\theta_{\text{vidrio-agua}} + \theta_{\text{agua-aire}})}$$

$$r_3 = 4.03E - 02$$

$$r_3 = 4.14E - 02$$

Con la ecuación 3.5.3 calculamos la absorptividad con el ángulo de incidencia:

$$\alpha = 0.3514 + 0.00045 \theta_{\text{incidencia}}$$

$$\alpha = 0.3514 + 0.00045 * 17.35 * \pi / 180$$

$$\alpha_1 = 0.351413$$

$$\alpha_2 = 0.351616$$

Finalmente la absorptividad de la ecuación 3.5.2

$$\tau = \frac{(1-r_1)(1-r_2)(1-r_3)}{[(1-r_3r_2)][1-(r_1r_2)(1-\alpha^2)] - (r_1r_3)(1-r_2^2)(1-\alpha^2)}$$

$$\tau = 0.881661$$

$$\tau_2 = 0.8680$$

El primer valor de transmisividad fue tomado con un ángulo de incidencia de 17.35° y de 27.60° valores mínimos y máximos de las tablas 3.5.1 y 3.5.2 ; si colocamos el ángulo de incidencia igual al de la pendiente del cobertor resulta

que la irradiación caerá perpendicularmente dando así un máximo valor; además la transmisividad es mayor con un ángulo de 17° aproximadamente que es con el cual se va a realizar el diseño para esa área .

Calculo de la eficiencia del destilador:

$$\eta_{experimental} = \frac{h_{fg} \times \int \dot{m} dt}{G} \quad (3.5.8)$$

donde :

$h_{fg}$  : calor latente vaporización agua durante el periodo de prueba  $[J / kg]$  a T

agua

$\dot{m}$  : tasa real de producción de condensado promedio durante periodo de prueba  $[kg / sec.m^2]$

G : intensidad de la radiación solar

Usando la ecuación 3.5.8 a continuación se calcula esta eficiencia para los resultados que se han tomado del prototipo usado para pruebas, el cual será descrito mas adelante. Así :

$$\eta_{\text{experimental}} = \frac{1010.65 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm}} \times \frac{2.204 \text{lbm}}{1 \text{kg}} \times 2.985 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{1055.05 \text{J}}{1 \text{BTU}}}{3510 \frac{\text{Watt hora}}{\text{m}^2} \times \frac{3600 \text{sec}}{1 \text{hora}} \times \frac{\text{J}}{\text{Watt sec}}}$$

$$\eta_{\text{experimental}} = 0.550.$$

Esta eficiencia esta tomando un cuenta una producción media de destilado con la radiación del mes de julio. Podemos calcular para el mes de julio pero con datos de Galápagos :

$$\eta_{\text{experimental}} = \frac{1010.65 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm}} \times \frac{2.204 \text{lbm}}{1 \text{kg}} \times 2.985 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{1055.05 \text{J}}{1 \text{BTU}}}{4970 \frac{\text{Watt hora}}{\text{m}^2} \times \frac{3600 \text{sec}}{1 \text{hora}} \times \frac{\text{J}}{\text{Watt sec}}}$$

$$\eta_{\text{experimental}} = 0.3920$$

Podemos observar claramente una variación en la eficiencia dependiendo de la cantidad de radiación que se obtenga y del volumen resultante de destilado también; estos dos valores son cuantificados en la formula de eficiencia para obtener una aproximación al problema fisico real.

Los valores de radiación han sido tomados de la tabla 2.4.1 para evaluar la eficiencia que se tendría para las condiciones que el presente estudio analiza.

La entalpía usada es el valor a la temperatura a la que se encuentra el agua dentro del destilador, es decir, la temperatura a la cual se esta evaporando el agua. La tabla 3.5.3 especifica las entalpías de vaporización para las temperaturas mas representativas obtenidas en mediciones.

<i>Temperatura de agua(°C)</i>	<i>Temperatura de agua(°F)</i>	<i>entalpía de vaporización(BTU/lbm)</i>
28,8	83,84	<b>1046,47</b>
33,5	92,30	1041,66
43,8	110,84	1031,05
45,8	114,44	1028,96
48,5	119,30	1026,18
48,9	120,02	1025,77
50,3	122,54	1024,34
50,6	123,08	1024,03
50,8	123,44	1023,83
51,3	124,34	1023,32
63.2	145.76	<b>1010.65</b>

TABLA 3.5.3 ENTALPIAS DE VAPORIZACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS DE PRUEBA

( valores en negrilla usados para calculo de eficiencia)

Las temperaturas de agua que se obtuvieron de las mediciones efectuadas se presentan a continuación en la tabla 3.5.4 :

$$\eta_{\text{experimental}} = \frac{1010.65 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm}} \times \frac{2.204 \text{lbm}}{1 \text{kg}} \times 2.99047 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{1055.05 \text{J}}{1 \text{BTU}}}{5663.45 \frac{\text{Watt hora}}{\text{m}^2} \times \frac{3600 \text{sec}}{1 \text{hora}} \times \frac{\text{J}}{\text{Watt sec}}}$$

$$\eta_{\text{experimental}} = 0.3447$$

Esta eficiencia tiene como datos en el calculo un volumen promedio de destilado de 0.79 Gal. diarios, radiación solar tomada en Julio de 486.969 kcal/hr, se asumen un periodo de irradiación de 10 horas de sol, por tanto 4869.69 kcal/hr.



CIB-ESPOL

### Otro método del cálculo de la eficiencia

Para superficies cerradas existe una correlación que tomamos de (10), para calculo del numero de Nusselt .

$$Nu = \frac{h_c L}{k} = 0.075 \left( \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.5.9)$$

donde:

L: largo de destilador

$\rho$ : densidad del liquido



CIB-ESPOL

$g$  : gravedad

$\beta_{cve}$ : coeficiente volumétrico de expansión termica que es una medida de la cantidad por la cual cambia la densidad en respuesta a un cambio de temperatura manteniendo la presión constante

$\Delta T$  : diferencia de temperatura entre el vidrio y el agua, dada por :

$$\Delta T = (T_{\text{aguasuperficie}} - T_{\text{cubierta}}) + \left( \frac{psat_{TAGUA} - psat_{TVIDRIO}}{39 - psat_{TAGUA}} \right) \quad (3.5.10)$$

$psat_{TAGUA}$  : presión de saturación de vapor de agua a T agua

$psat_{TVIDRIO}$  : presión de saturación de vapor de agua a T vidrio(cubierta)

Debido a que el largo del destilador no afecta el coeficiente de transferencia de calor podemos reemplazar por una ecuación simplificada así:

$$h_c = 0.13 * \left[ (T_{\text{aguasuperficie}} - T_{\text{cubierta}}) + \left( \frac{psat_{TAGUA} - psat_{TVIDRIO}}{39 - psat_{TAGUA}} \right) \right]^{1/3} \quad (3.5.11)$$

para calcular la eficiencia necesitamos el calor de evaporación usado para destilar el agua y como cociente la energía recibida del sol; además (10) hace

una analogía entre el calor transferido por convección entre el agua y el vidrio, y la transferencia de masa en (lbm/hr)

$$q_m = 0.2 h_c A_{\text{destilador}} (p_{\text{sat}}_{TAGUA} - p_{\text{sat}}_{TVIDRIO}) \quad (3.5.12)$$

$q_m$ : (lbm/hr)

$$q_e = 0.2 h_c A_{\text{destilador}} (p_{\text{sat}}_{TAGUA} - p_{\text{sat}}_{TVIDRIO}) v_{fg} \quad (3.5.13)$$

De la ecuación 3.5.11 calculamos el coeficiente de transferencia de calor por convección :

$$h_c = 0.13 * \left[ (111.92^\circ F - 86.9^\circ F) + \left( \frac{1.32 \text{ psi} - 0.6347 \text{ psi}}{39 - 1.32} \right) \right]^{1/3}$$

$$h_c = 0.38031 \frac{BTU}{hr * ^\circ F}$$

y finalmente el calor de evaporación ,con 3.5.13 obtenemos lo siguiente:

$$q_e = \left[ 0.2 * 0.38031 \frac{BTU}{hr * ^\circ K} * 4.8136 \text{ Ft}^2 * (1.32 \text{ psi} - 0.3247 \text{ psi}) \right] \frac{\text{lbm}}{\text{hr}} * 1099.6 \frac{BTU}{\text{lbm}}$$

$$q_e = 400.7065 \frac{BTU}{hr}$$

El tiempo que se ha considerado en el cual se realiza la evaporación es 5 horas, tomando en consideración calentamiento desde las 10h00 hasta las 15h00. La eficiencia obtenida mediante este método es un valor aproximado al obtenido en los cálculos anteriores, la diferencia radica en que no toma en cuenta la masa de destilado sino solo las presiones a las cuales la evaporación se efectúa dentro de la cavidad del destilador.



# CAPITULO 4

## 4. MATERIALES DE CONTRUCCION

En este capitulo haremos la descripción de los materiales a usar en la construcción de un destilador solar de simple efecto con una solar cubierta de vidrio. Para esto se resume a continuación los diversos materiales contemplados en la elaboración .

### 4.1 CARACTERISTICAS DE MATERIALES

Los materiales utilizados en la construcción de un destilador solar son:

- Vidrio : Para la cubierta superior
- Poliuretano expandido : aislante térmico en la base y costados
- Material de sello : para hermetizar la cubierta de vidrio con la base del destilador
- Pintura negra : Revestimiento de la placa inferior colectora de energía
- Material transmisivo : En paredes internas de los costados del destilador.

- Acero inoxidable : canaletas de recolección de destilado

## CARACTERÍSTICAS VIDRIO :

Existen algunas variedades de vidrio como por ejemplo podemos citar los siguientes :de boro silicatos, de cal, de plomo, de formulas especiales, electrónico, ópalo, etc

En general las propiedades también varían pero no significativamente por tanto , se presentan a continuación algunas propiedades importantes del vidrio:

### Características Térmicas :

Las propiedades del vidrio pueden ser variadas en un amplio rango modificando la composición, producción o ambas. En cualquier tipo de vidrio las propiedades mecánicas, químicas ,ópticas, y térmicas no ocurren separadamente, al contrario representan una combinación de propiedades.

El calor específico es una mediada de la cantidad de calor requerida para aumentar a una unidad de masa un grado en su temperatura . El calor específico de vidrio tiene un rango de variación de 0.15 a 0.33, en sistema internacional o

Ingles, siempre y cuando haya concordancia de las unidades. Estos valores incrementan con la temperatura

La conductividad térmica es una medida de la habilidad para conducir el calor a través del cuerpo del material . Los valores de conductividad térmica aumentan con la temperatura. Debido a la complicación que representa cuantificar este valor , no se acostumbra a usar este como parámetro de diseño. La conductividad termica esta establecida en el sistema ingles en BTU veces pulgadas de ancho por hora por pie cuadrado de área por grado °F.

### Características Químicas

El vidrio es mucho mas resistente a la corrosión que la mayoría de materiales, tanto que es fácil pensar en el como aprueba de corrosión. Las ventanas de vidrio luego de algunos años de exposición ,permanecen claras y aparentemente inafectadas . Botellas de vidrio pueden contener diferentes liquido que disolverían otros materiales. Incluso en laboratorios para experimentos se usan vidrios como contenedores para reacciones químicas. Solo algunos pocos químicos atacan el vidrio como son ácido hidrofúorico, ácido fosfórico concentrado, soluciones alcalinas concentradas calientes.

## Características Mecánicas

Cuando sobre el vidrio se ejerce una presión, se tira de él, o se trata de torsionar se produce una deformación mínima; el vidrio no se deforma fácilmente, no por el hecho de que no llegue a pandearse sino debido a que vuelve a su estado inicial cuando la fuerza desaparece. Es clasificado como un material elástico perfecto. Si se aplica una fuerza que se incrementa el vidrio se rompe alcanzado su esfuerzo último; a un esfuerzo menor no se deformará permanentemente. El esfuerzo de vidrio comercial es de 20000 lbs/in<sup>2</sup>.

## CARACTERÍSTICAS POLIURETANO

Sistema de poliuretano: Conjunto de dos componentes líquidos, poliol e isocianato, que mediante reacción química entre ellos dan lugar a la espuma de poliuretano.

Componente poliol: Mezcla de polioles con grupos reactivos  $\text{OH}$ , conteniendo catalizadores, ignífugos, expandentes y agentes estabilizadores de la espuma.

Componente isocianato: Isocianato con grupos reactivos  $\text{NCO}$ .

Proceso de elaboración: El sistema de poliuretano para instalación a que se hace referencia esta norma está formado por 2 componentes que, mediante

reacción química entre ellos, dan lugar a una espuma de poliuretano rígida de celda esencialmente cerrada.

La producción de la espuma de poliuretano se puede realizar en el mismo lugar de la instalación, empleando máquinas móviles para la dosificación y mezclado de los componentes. Existen 2 tipos de procesos: proyección y colada.

El proceso de proyección consiste en pulverizar, mediante la máquina elaborada para este efecto, esta pulveriza la mezcla de dos componentes altamente reactivos sobre la superficie a aislar, donde rápidamente expande y endurece. La aplicación se realiza en sucesivas capas, hasta alcanzar el espesor final de aislamiento deseado.

El proceso de colada consiste en colar la mezcla líquida de los dos componentes, con una reactividad ajustada para este proceso, en la cavidad a aislar. En corto tiempo, la mezcla expande, rellena la cavidad y endurece.



CIB-ESPOL

### Propiedades del poliuretano

La espuma rígida de poliuretano es una materia sintética duroplástica, fuertemente reticulada espacialmente y no fusible. En las densidades habituales, para aislamiento térmico, la espuma contiene solamente una pequeña parte del

volumen de materia sólida (con una densidad de  $30 \text{ kg/m}^3$ , sólo aprox. el 3 % del volumen es materia sólida).

Estructura celular: La espuma rígida de poliuretano presenta una estructura celular predominantemente cerrada. El porcentaje de celdas cerradas se sitúa normalmente por encima del 90 %.

La densidad de la espuma rígida de poliuretano para aislamiento térmico está comprendida, según la aplicación, entre  $30$  y  $100 \text{ kg/m}^3$ , pudiéndose realizar para casos especiales densidades superiores.

Conductividad térmica : La alta capacidad de aislamiento térmico de la espuma rígida de poliuretano no se consigue con ningún otro material aislante conocido. Esta característica especial se debe a la muy baja conductividad térmica que posee el gas espumante ocluido en el interior de las celdas cerradas.

De este modo, la espuma rígida de poliuretano producida alcanza un valor inicial de conductividad térmica de  $0,020 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ . Debido a que las celdas no impiden totalmente la difusión de gases a través de sus paredes, este valor de conductividad va aumentando ligeramente con el tiempo hasta llegar finalmente a estabilizarse. En la práctica, se considera como valor de conductividad térmica de la espuma el obtenido por el valor envejecido de  $0,026 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ .

**Absorción de agua por humectación:** La absorción de agua por la espuma rígida de poliuretano se produce en función de las condiciones ambientales y puede tener lugar por humectación o por difusión y condensación del vapor. Está influida fundamentalmente por la densidad y las dimensiones. En todo caso, el contenido de humedad, en la práctica, no supera el 5% en volumen .

**Absorción de agua por inmersión:** La absorción de agua se determina mediante el ensayo de inmersión en laboratorio, con probetas cúbicas de 50 mm de lado. Los resultados que se obtienen varían entre el 2 y el 5 % en volumen y se deben fundamentalmente al efecto de las celdas seccionadas en la superficie de las probetas.

Mediante difusión de vapor y posterior condensación, los aislamientos pueden absorber agua dependiendo de su situación y de la humedad a que estén sometidos. En la práctica, se evita alcanzar límites no deseados de humedad por difusión del vapor de agua colocando una barrera de vapor en el lado caliente del aislante.

**Resistencia a la transmisión de vapor de agua:** Los valores que caracterizan la resistencia al vapor de agua son: la resistividad relativa que es un parámetro adimensional o bien, la resistividad a la difusión del vapor de agua.

**Estabilidad / Resistencia:** La espuma rígida de poliuretano es resistente frente a los materiales habitualmente empleados en la construcción.

Además, la espuma rígida de poliuretano es:

- Resistente, en gran medida, a los disolventes normalmente utilizados en adhesivos, pinturas, pastas bituminosas, en conservantes para la madera y en masillas sellantes.
- Resistente al envejecimiento, contra la acción de las raíces e inerte bioquímicamente, por ejemplo, frente a los mohos.
- Estable frente a los carburantes, aceite mineral y los ácidos y álcalis diluidos.
- Resistente contra la acción de los gases de escape o a la atmósfera industrial más agresiva.
- Imputrescible, estable a los detritus, inodora y fisiológicamente no presenta inconvenientes. Es químicamente neutro.

La Estabilidad química de este aislante bajo condiciones de ensayo presenta un cambio de volumen de 3% cuando se usa agua de mar y su comportamiento es estable.

**Comportamiento térmico:** La dilatación térmica de la espuma rígida de poliuretano por efecto de la temperatura es función de la densidad y de la fijación al sustrato.



Cada material tiene una determinada variación en sus dimensiones al variar la temperatura. Además, en el caso de la espuma rígida de poliuretano, existe un gas ocluido en sus celdas que origina un descenso de presión, con el frío, y una sobrepresión, con el calor. Por ello, por enfriamiento se produce una contracción y por calentamiento una dilatación de la estructura celular.

Con las densidades habituales,  $30-100 \text{ kg/m}^3$ , los coeficientes de contracción, o bien, de dilatación de la espuma rígida de poliuretano están entre  $5$  y  $8 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ . El coeficiente de dilatación de la espuma rígida de poliuretano es casi cinco veces superior que, por ejemplo, el del cemento que es de aprox.  $1 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ . Sin embargo, con una aplicación adecuada de la espuma, la adherencia sobre el cemento es tan alta que las dilataciones debidas a variaciones de temperatura no afectan a la unión entre la espuma y el substrato.

Aplicaciones: La espuma rígida de poliuretano producida puede ser empleada para el aislamiento térmico en construcción dentro de un rango de temperaturas entre  $-50 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $+100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Los principales campos de aplicación de la espuma rígida de poliuretano producida son los siguientes:

- Aislamiento térmico de superficies en la construcción (por ejemplo: suelos, paredes, techos, perfiles de acero, depósitos, etc.).



CIB-ESP

- Aislamiento térmico e impermeabilización de cubiertas.
- Aislamiento térmico de instalaciones de climatización y frío.
- Aislamiento térmico de conducciones de calefacción y similares.

En aplicaciones donde la espuma rígida de poliuretano vaya a estar expuesta directamente a la intemperie (por ejemplo, cubiertas), se debe proteger la espuma superficialmente frente a la acción de los rayos UV con un recubrimiento adecuado.

Son numerosos los factores que influyen en el gran auge que ha alcanzado esta técnica. Entre ellos cabe destacar las ventajas en la aplicación:

- Supresión total de puentes térmicos. El aislamiento no presenta juntas ni fisuras. Es un aislamiento continuo. Posibilidad de acceder a lugares difíciles.
- Buena adherencia al substrato. No es necesario el empleo de colas ni adhesivos para su instalación.
- Posibilidad de aislar e impermeabilizar (con densidad superior a  $45 \text{ kg/m}^3$  en cubiertas) en un único proceso. Esta característica se debe, por una parte, a su estructura de celdas cerradas y estancas al agua y , por otra, a su forma de aplicación en continuo que permite evitar las juntas.

- Rapidez de ejecución y movilidad. Posibilidad de desplazarse rápidamente a cualquier obra sin necesidad de transportar o almacenar productos voluminosos como son, normalmente, los materiales aislantes.

El procedimiento de proyección, debido a su forma de aplicación en continuo, está especialmente indicado para el tratamiento de grandes superficies de formas irregulares como, por ejemplo, cubiertas metálicas o de fibrocemento.

Los poliuretanos proyectados de alta densidad también se emplean como recubrimiento integral e impermeable en muchas otras aplicaciones: estanques, piscinas, estructuras de hormigón o metálicas, boyas marinas y en general cualquier soporte que deba estar sometido al contacto continuado con el agua o frecuentes agresiones incluso de sustancias corrosivas.

Patología: La espuma rígida de poliuretano es una sustancia imputrescible, estable frente al moho y a los detritus, inodora y es un producto químicamente neutro. Además, es resistente a los materiales habitualmente usados en construcción e inerte bioquímicamente. También muestra gran resistencia a los disolventes usados en construcción, como los contenidos en pinturas, adhesivos, pastas bituminosas, conservantes de madera y masillas sellantes. También es estable a gases de escape y atmósferas industriales agresivas. Estas

características lo hacen un producto especialmente indicado en construcción debido a su estabilidad y larga durabilidad.

## CARACTERÍSTICAS MATERIAL DE SELLO

El silicón compuesto de carbono es uno de los materiales para sello mas usados inclusive en materiales de alta dureza, puede ser usado en sistemas sujetos a presiones de hasta 80 psi y con temperaturas promedio de 100 °F e inclusive mas altas .

También puede ser usados en aplicaciones corrosivas y abrasivas por cuanto es resistente a este tipo de usos. Estos componentes son excelentes conductores térmicos y pueden utilizarse cuando el esfuerzo y cuando la rigidez es requerida. Para aplicaciones marinas son usados mucho , debido a, como se menciona anteriormente son resistentes a la corrosión.

Existe un tipo de sello que contiene grafito que se utiliza en su mayoría para exposiciones a procesos de reacción químicos. Otro tipo de silicón es auto sinterizado con silicón de carbono, este es el mas resistente al la corrosión que hay disponible, tiene una temperatura ultima de 2500 °F.

El silicón de carbono en general exhibe algunas buenas características que provee un excelente performance a largo plazo .

La tabla 4.1.1 muestra algunos de los tipos de silicones con sus características.

PROPIEDADES DE MATERIALES SELLO					
Material	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Dureza, Scleroscopio (Knoop)	Esfuerzo Compresión N/mm <sup>2</sup>	Conductividad Termica W/m°C	Temperatura Limite, °C
Resina impregnada carbón grafito	1.8	95	235	14	260
Carbón impregnado Antimonio	2.3	95	275	16	375
Sal impregnada carbón grafito	1.9	100	290	16	375
Silicón sintético	3.1	(2,800)	2,750	145	1,370
Reaction- mixta silicon carbon	3.1	(2,400)	2,750	145	1,370
Silicón C grafito compuesta	2.8	(2,000)	550	150	550
Graffito Siliconizado	2.0	(2,000)	200	50	260
Tungsteno carbono-6% Ni (mezclado)	15.0	(1,800)	4,000	100	900
Alumina- 99.5%	3.9	(1,200)	2,600	35	1,500

TABLA 4.1.1 PROPIEDADES DE ALGUNOS TIPOS DE SELLOS

Algunas otros tipos de materiales de sello se presentan a continuación en la tabla 4.1.2 con algunas características principales.

Material	Usos recomendados	Adhesión	Algunas características
Silicon domestico	Sella juntas entre baños y cocina ,es adhesivo para usos de plomería.	Buena a excelente	Disponble con alta flexibilidad de silicona curada permite comprimir y extenderse  Costo alto
Silicon de Construction	Sella la mayoría de edificios de diferente material madera, piedra, metal, ladrillo.	Buena a excelente	Permanece flexible después de endurecido, permite alargar o contraer. Se adhiere a paredes pintadas pero sin adherirse una vez endurecido .  Costo alto
Caucho Butyl	Sella la mayoría de materiales disimilares como vidrio, metal, plástico, madera, concreto . sella alrededor de ventanas o letreros luminosos	Buena	Menor resiliencia que silicón. Permitido para juntas en movimiento .aplicable en temperaturas mayores a 40°F  Costo alto
Latex	Sella juntas alrededor de tubos, llena grietas de teja vidrios, plástico.	Buena a excelente	Fácil de usar. Una vez seco buena resistencia al agua. Se puede pintar, fácil de limpiar , menos elástico que los de arriba.  Costo moderado

TABLA 4.1.2 USOS Y CARACTERÍSTICAS DE OTROS MATERIALES

PARA SELLO.

## CARACTERÍSTICAS DE LA PINTURA:

Debido al material a que el material que utilizaremos para las paredes internas del destilador es cemento , la base debe ser pintada de color negro para aumentar la capacidad de absorción de energía solar; al ser el cemento un material que no se oxida, la pintura a utilizar puede ser la de color negro mate o la llamada negro de tráfico que tiene mayor absorción de calor por sus elementos .Las características se presentan a continuación:

Especificaciones : elaborada con látex vinil acrílico de alta calidad y de excelente capacidad funguicida activa que evita la formación de hongos. Además de pigmentos de alta resistencia a la intemperie y degradación producida por rayos solares.

Usos típicos : esta pintura es especialmente formulada para ser aplicada sobre laminas o planchas de fibro-cemento, cemento solo, losas de hormigón y zinc, brindándoles una alta protección bajo condiciones extremas de medio ambiente.

Ventajas del producto : excelente cubrimiento seco, brochabilidad y nivelación, puede ser repintado en 2 horas. Superficie puede ser lavada luego de 30 días aplicado el producto. Soporta eficazmente condiciones normales de medio ambiente exterior. Libre de plomo y mercurio.

Datos técnicos :

Porcentaje de sólidos por peso : 43.5%

Porcentaje de sólidos por volumen 31%

Cubrimiento teórico 12.2 m<sup>2</sup> x litro a 1 milímetro

Cubrimiento recomendado : 7m<sup>2</sup> x litro a 1.8 milímetro

Flash point : ninguno

Tiempo de curado total : 30 días

## CARACTERÍSTICAS DEL ACERO INOXIDABLE

Se usara para canaletas de recolección de destilado un espesor de plancha de 1 ó 0.5 mm de acero inoxidable. Las propiedades del acero son las siguientes:

Tipo de aleación:

C 0.03%, Si0.5% Mn 1.4%, Cr 18.5%, Ni 9.5%

Normas :

AISI304, AFNOR Z2CN1819, BS304S11, DIN 1.4306

Propiedades: Acero inoxidable austenítico al Cr Ni con bajo contenido de carbono, resistente a la corrosión intercrystalina. Resistente a las influencias del medio ambiente , vapor ,agua, y ácidos.



Propiedades físicas:

Densidad:  $7.9 \text{ gr/cm}^3$ .

Conductividad termica :  $15 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Dilatación termica entre  $20$  y  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  :  $16\text{E}-06 \text{ m/m }^\circ\text{C}$

## CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO

Las planchas de aluminio en el mercado local vienen con dimensiones de  $2 \times 1 \text{ m}^2$ ; aluminio aleado por su precio es mas conveniente utilizarlo en las canaletas de recolección de destilado.

Algunas características físicas :

Densidad :  $2830 \text{ kg/m}^3$ .

Coefficiente de expansión termica :  $26\text{E}-06 \text{ m/m }^\circ\text{C}$

Conductividad Termica :  $165 \text{ W/m }^\circ\text{C}$

## 4.2 COSTOS DE MATERIALES

Los costos de mercado que se van a presentar son valores actuales a fecha Agosto de 2002 , de diferentes distribuidores , estos precios son valores al

publico en general. Se especifican los valores no las empresas para obtener un promedio general de costos del proyecto que se analiza.

## VIDRIO

Dimensiones 1.20 x 2.0 m

Vidrio claro \$ 32.25

Valor por metro cuadrado : 13.43 \$/m<sup>2</sup>.

## POLIURETANO EXPANDIDO/ PLUMAFON

Precio : 4 \$ / kilo

Densidad : 16 kg/m<sup>3</sup>.

## PINTURA NEGRA

Precio por galón : \$ 12.70

## PINTURA DE ALUMINIO

Precio por galón : \$ 20.66

Cada galón diluido 25% abarca una superficie pintada de 30 m<sup>2</sup>.

**ACERO INOXIDABLE**

Plancha de 1.22 x 2.44 m<sup>2</sup>: \$ 58.81

Precio por metro cuadrado : 19.75 /m<sup>2</sup>

**ALUMINIO**

Plancha de 2 m<sup>2</sup> : \$ 19.35

Precio por metro cuadrado : \$ 9.675

**CEMENTO**

Funda 50 kilos : \$ 5

Cada funda mezclada con piedra y arena moldea un volumen de 1.2 m<sup>3</sup>.

**SILICON**

Precio por tubo : \$ 2.8

Cada tubo sella 2 superficies de vidrio de 2 x 1.2 m<sup>2</sup>.

La tabla 4.2.1 indica los valores resumidos por costo de material y la cantidad necesitada para la construcción de todas las unidades destiladoras cuyo total se presenta a continuación:

MATERIAL	VALOR UNIT.	CANTIDAD	TOTAL
Vidrio de 4 mm	13.43 \$/m <sup>2</sup> .	1410.24	18939.52
Poliuretano exp.	4\$/kilo*16kg/m <sup>3</sup> .	156.136m <sup>3</sup>	9992.5
Pintura negra	12.7 /gal	45 gal	571.5
Pintura aluminio	20.6 / gal	39.45 gal	812.71
Aluminio	9.675 /m <sup>2</sup> .	83.43 m <sup>2</sup>	807.18
Cemento	5 /50 kilos	119 sacos de 50k	648
silicón	2.8/tubo	350	980
<i>total</i>			32750.89

TABLA 4.2.1 COSTOS MATERIALES

A estos valores se deben adicionar los precios por transporte hacia las Islas Galápagos, en vista que son precios referentes a Guayaquil. El costo de transporte varia según el material a llevar,; por ejemplo:

- Cemento : 2 \$/ saco
- Vidrio : 1 \$/m<sup>2</sup>/mm
- Caja de pintura : 2 \$/caja
- Artículos varios : 1 \$/ caja

Por lo tanto estos valores deben adicionarse a los valores anteriormente especificados en caso de que sean transportados en buques mercantes que viajan a las Islas; el costo adicional por articulo se va a especificar en la Tabla 4.2.2 con referencia a valores obtenidos en el puerto de arribo y zarpe de buques mercantes que continuamente tienen como destino las Islas.

<i>Articulo</i>	<i>Precio de transporte</i>	<i>total</i>
86 sacos cemento	\$ 2	172
903 m <sup>2</sup> Vidrio 4mm	1 \$/m <sup>2</sup> /mm	3612
15 cajas pintura	2 \$/caja	30
10 cajas varias	1 \$/caja	10
	<i>Total</i>	\$ 3824

TABLA 4.2.2 COSTO TRANSPORTE DE MATERIALES

### 4.3 MATERIALES Y EQUIPOS ADICIONALES PARA OPERACION

Necesitaremos para el buen funcionamiento del sistema de destilado los siguientes equipos :

Bomba : Una bomba de 0.5 hp para enviar agua de mar desde la playa hasta un recipiente colocado a una altura superior a la de los destiladores para que la distribución desde aquel sea en forma natural sin necesidad de otro equipo. El impeler de esta bomba debe ser de plástico para evitar el desgaste por agua salina.

Tanque elevado : La capacidad del tanque elevado, el mismo que debe tener una altura relativa al nivel de los destiladores de un metro aproximadamente para que el suministro a los mismos sea por gravedad solamente. Calcularemos un volumen tal que pueda suministrar agua a los destiladores por dos días, para efecto de que la bomba sea utilizada con intervalo de un día. A continuación se presenta el calculo de galones que debe almacenar el mismo:

$$vol = 1.2m \times 2m \times 0.065m = 0.156m^3 \times 403 = 62.86m^3 = 16607 gal \times 2 dias = 33215 gal$$

Es decir :

Volumen por destilador 41.21 Gal.

Volumen total :  $403 \times 41.21 \text{ Gal.} = 16607 \text{ Gal.}$

Se puede construir un almacenador de agua de hormigón con esa capacidad vista los tanques de venta en mercado no abarcan la capacidad que se requiere.

Las dimensiones de este son las siguientes con una altura de 1.8m:

$$125.73 \text{ m}^3 = \text{Area} * 1.8$$

$$\text{Longitud} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 7\text{m}$$

Accesorios: Adicional a los elementos que ya se han mencionado también se debe tomar en cuenta accesorios que tienen que ver con la tubería de unión entre destiladores y desde el tanque de alimentación. Detallaremos a continuación los accesorios adicionales:

- Conectores de  $\frac{1}{2}$  pulgada de los dos orificios de entrada y drenaje del destilador
- 1 válvula de control de nivel para cada fila de destiladores
- tubería de pvc de  $\frac{1}{2}$  pulgada
- neplo de  $\frac{1}{2} \times 5$  pulgadas para el drenaje
- tapón hembra para el orificio de drenaje
- codos de  $\frac{1}{2}$  pulgada
- Tee de  $\frac{1}{2}$  pulgada

Se presenta en la TABLA 4.3.1 a continuación los costos de los equipos y accesorios adicionales:

Equipo / accesorio	Precio unitario	Cantidad	Total
Bomba 0.5hp	\$730	1	730
Neplos 1x 5 in	\$0.10	450	45
Tee 1 in	\$0.75	30	22.5
Tuberia pvc 1 in	\$1.5/ m	300 m	450
Conectores 1 in	\$0.25	430	107.5
Tapon hembra 1 in	\$0.15	430	64.5
Val. .control nivel	\$5	30	150
total			\$ 1569.5

TABLA 4.3.1 COSTOS EQUIPOS Y ACCESORIOS ADICIONALES

Los costos totales de materiales y equipos ascienden a un valor de :\$ 44294.25.

Este valor se vera aumentado en un bajo porcentaje por el costo de mano de obra para la implementación del sistema.

En el capitulo siguiente se analizara el costo beneficio del proyecto con estos valores



#### 4.4 DISEÑO DE UN PROTOTIPO

Para una evaluación experimental del presente proyecto se ha utilizado un destilador solar de las siguientes características :

- Cubierta de vidrio de espesor 4 mm
- Base y paredes del destilador de pumaflon revestido con yeso como aislador
- Altura posterior exterior 0.22 m
- Altura frontal exterior 0.07 m
- Longitud interior 0.86 m
- Ancho interior 0.52 m
- Espesor de aislamiento de 0.05m
- Ángulo inclinación de la cubierta 15°
- Canaleta de recolección de destilado de latón 2.cm ancho 1 cm alto
- Papel aluminio pegado en paredes laterales interiores
- Placa inferior pintada de color negro
- Orificios de entrada y drenaje de  $\frac{3}{4}$  in
- Orificio de salida de destilado desde canaleta 0.01 m
- Cubierta de vidrio sellado con silicón

La capacidad volumétrica interior es de:

$$0.015m \times 0.86m \times 0.52m = 0.006708m^3$$

Por día la producción de destilado promedio durante el tiempo de prueba es de 1 litro ; sacamos la producción por metro cuadrado de la siguiente manera :

$$\frac{1650 \text{ cm}^3}{0.86m \times 0.52m} = \frac{0.438256 \text{ gal}}{0.4472m^2} = 0.9769 \text{ gal} / m^2$$

Este es un valor promedio por metro cuadrado , es decir, existían días con mayor intensidad de radiación que la producción se incrementaba cerca de 1.3 galón por metro cuadrado lo cual es un buen valor de operación para nuestro medio.

Para efecto de calculo de producción se ha tomado un promedio de producción de 0.98 Gal. / m<sup>2</sup>. Las tablas a continuación presentan los valores de destilado producido por día durante el periodo de experimentación:

Agosto 13-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	29,5	38,5	29,0	40,0	40,6	30,0	28,0	48,0	0,5
11:00	30,2	40,9	31,0	42,5	43,8	31,5	29,2	53,2	0,5
12:00	35,2	42,9	40,8	58,1	63,2	39,8	39,6	47,5	0,3
13:00	32,8	31,0	41,3	55,0	55,0	36,0	37,0	43,8	1,0
14:00	31,7	35,3	41,9	40,5	53,9	35,5	38,9	35,0	0,3
15:00	30,1	31,0	28,4	36,5	45,0	27,4	29,1	32,0	0,3
16:00	28,5	31,5	29,0	35,5	35,5	28,0	28,0	31,9	0,5
17:00	29,0	29,5	28,5	35,0	33,5	26,0	27,5	30,0	1,0

destilado producido en el dia : 1,2  
gal

TABLA 4,4,1 TEMP DE PRUEBA DIA 13-08-02

Agosto 14-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	29,8	38,7	29,6	40,2	38,5	26,8	27,5	48,6	1,0
11:00	30,2	41,2	32,5	42,6	41,6	29,5	28,6	49,1	0,4
12:00	35,9	43,2	41,2	58,6	59,6	35,6	38,6	45,6	0,5
13:00	32,9	32,0	41,8	54,0	55,2	33,2	36,5	46,2	0,3
14:00	32,3	34,5	42,3	41,5	50,2	32,0	37,8	46,9	0,5
15:00	29,9	32,5	29,5	36,5	47,5	28,2	30,2	36,5	0,4
16:00	27,5	29,8	29,3	34,8	38,5	27,6	25,1	30,2	0,3
17:00	29,1	29,3	28,4	34,5	33,5	25,4	23,5	29,7	0,4

destilado producido en el dia : 1,1  
gal

TABLA 4,4,2 TEMP DE PRUEBA DIA 14-08-02

Agosto 15-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	25,6	35,6	26,9	37,5	40,9	29,5	27,5	49,6	0,5
11:00	28,5	39,5	29,5	39,5	44,3	32,5	28,6	52,4	0,4
12:00	32,6	40,8	28,2	55,6	63,6	38,6	38,6	48,6	0,3
13:00	29,6	29,7	38,4	50,2	57,5	36,5	36,5	45,5	0,3
14:00	28,9	31,8	39,9	40,2	55,6	35,6	37,8	38,4	1,0
15:00	26,9	29,7	26,6	26,5	48,3	28,6	30,2	35,1	0,3
16:00	25,5	26,4	26,4	34,8	38,3	27,6	29,7	32,5	0,3
17:00	25,1	26,7	25,1	34,5	35,6	25,4	26,5	29,8	1,0

destilado producido en el dia : 0,8gal

TABLA 4,4,3 TEMPERATURAS PRUEBA DIA 15-8-02

Agosto 16-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	27,6	36,5	26,9	38,5	38,6	29,5	27,6	47,0	0,5
11:00	28,5	38,5	28,6	40,5	41,2	30,5	28,6	50,3	0,4
12:00	33,9	40,2	38,1	56,3	60,3	36,6	38,2	52,1	0,3
13:00	29,6	29,6	39,8	53,3	55,3	39,5	36,4	46,2	0,3
14:00	29,1	33,6	40,6	40,2	56,3	36,5	36,9	45,6	0,3
15:00	28,6	29,6	27,8	38,3	50,2	33,1	29,7	42,1	1,0
16:00	26,3	28,4	27,2	36,2	41,2	29,5	28,2	36,0	0,5
17:00	27,4	27,6	26,8	33,2	40,6	26,0	26,8	30,0	0,6

destilado producido en el dia : 0,9  
gal

TABLA 4,4,4 TEMP DE PRUEBA DIA 16-08-02

Agosto 17-02

Hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	27,5	39,5	29,4	39,8	40,2	30,5	29,3	49,8	0,5
11:00	30,9	39,8	31,2	42,9	43,4	32,2	29,6	52,4	0,4
12:00	35,7	40,8	39,8	59,8	62,6	35,8	35,2	53,4	0,1
13:00	30,7	40,7	40,9	58,7	57,6	40,5	35,1	49,2	0,3
14:00	30,2	41,5	42,5	45,6	56,4	37,2	36,1	47,5	0,5
15:00	29,7	39,5	35,6	40,5	52,6	34,2	30,4	43,5	1,0
16:00	28,4	30,6	30,5	36,5	43,2	30,4	32,1	39,5	1,2
17:00	26,5	29,2	29,5	34,2	42,0	28,4	26,8	32,4	0,4

destilado producido en el dia : 1,3  
gal

TABLA 4,4,5 TEMP DE PRUEBA DIA 17-08-02

Agosto 18-02

Hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	24,6	35,8	27,5	36,5	39,4	29,5	26,5	46,5	0,5
11:00	27,8	36,7	29,5	38,7	40,2	30,5	27,3	50,1	0,6
12:00	32,4	39,9	32,5	55,2	58,4	34,6	33,5	50,8	0,3
13:00	26,9	40,2	35,8	53,2	57,6	38,4	33,4	47,5	1,0
14:00	25,6	39,9	39,4	46,4	56,2	35,2	34,3	44,5	0,5
15:00	25,5	38,4	36,5	38,6	50,2	32,2	29,5	40,5	0,6
16:00	23,5	32,5	35,4	34,5	44,2	29,6	28,5	36,4	1,2
17:00	22,0	28,7	30,3	30,9	41,5	26,7	24,6	32,5	0,3

destilado producido en el dia : 1,0  
gal

TABLA 4,4,6 TEMP DE PRUEBA DIA 18-08-02

Agosto 19-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	24,9	35,7	27,4	35,9	38,6	28,9	26,5	45,8	1,0
11:00	27,9	36,2	29,8	38,5	41,2	31,2	27,9	49,6	0,1
12:00	32,4	38,9	32,4	55,9	58,6	35,6	32,5	49,8	0,5
13:00	27,8	40,6	35,9	50,8	56,9	39,4	32,8	48,6	1,0
14:00	26,5	40,2	38,3	48,5	55,6	34,5	33,9	45,6	0,6
15:00	26,1	38,9	35,6	39,7	52,4	32,1	30,4	42,6	0,3
16:00	24,8	32,4	34,3	35,6	46,9	30,2	28,9	38,6	1,2
17:00	23,4	29,2	31,2	32,4	40,6	26,8	25,4	30,4	0,3

destilado producido en el día : 0,9  
gal

TABLA 4,4,7 TEMP DE PRUEBA DIA 19-08-02

Agosto 20-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	26,2	36,5	28,6	36,5	39,5	29,8	26,9	46,4	0,5
11:00	29,3	37,2	30,2	42,3	46,5	32,5	29,6	50,5	0,6
12:00	34,0	39,6	33,2	50,6	54,6	36,1	33,6	51,6	1,0
13:00	29,3	42,6	35,6	51,6	58,4	40,3	33,7	52,6	1,0
14:00	28,6	42,8	38,8	50,3	56,3	35,4	35,5	47,5	0,1
15:00	28,4	40,5	36,8	42,3	53,5	33,8	34,9	44,6	0,5
16:00	26,9	36,2	35,6	37,5	47,7	32,5	30,4	40,5	1,2
17:00	25,1	30,8	31,6	35,1	43,6	28,6	27,1	32,6	0,4

destilado producido en el día : 1,3  
gal

TABLA 4,4,8 TEMP DE PRUEBA DIA 20-08-02

Agosto 21-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	24,2	33,5	26,8	34,5	38,4	28,1	34,5	44,3	0,5
11:00	26,5	35,6	28,9	40,3	43,2	30,5	27,6	48,5	0,5
12:00	30,5	37,1	31,5	45,1	52,2	35,2	30,2	50,2	1,0
13:00	28,5	40,5	33,4	47,3	55,2	38,5	31,2	53,0	0,2
14:00	26,4	39,5	36,5	46,3	53,2	33,5	33,3	49,5	0,1
15:00	25,4	37,5	34,3	40,2	51,3	30,2	31,0	45,2	0,5
16:00	24,7	35,2	33,2	36,8	46,2	29,6	28,6	40,5	0,3
17:00	22,3	27,5	30,1	34,6	41,2	26,8	27,1	33,5	0,4

destilado producido en el día : 0,7  
gal

TABLA 4,4,9 TEMP DE PRUEBA DIA 21-08-02

Agosto 22-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	24,9	34,2	26,9	33,9	38,7	29,4	32,2	44,9	0,6
11:00	26,7	35,4	29,2	41,3	42,9	30,2	29,2	47,2	1,0
12:00	31,2	36,9	30,2	45,4	52,6	33,2	30,2	51,2	0,6
13:00	28,4	41,2	33,6	48,6	56,2	36,5	31,5	51,6	0,2
14:00	26,7	40,5	36,8	47,5	53,7	33,2	33,1	48,5	0,4
15:00	26,5	39,2	35,8	41,5	52,3	31,2	32,5	43,7	0,5
16:00	25,4	36,3	32,2	36,8	47,2	29,2	29,4	42,3	1,0
17:00	23,1	28,0	29,9	35,7	42,5	26,4	28,2	37,2	0,5

destilado producido en el día : 0,8gal

TABLA 4,4,10 TEMP PRUEBA DIA 22-08-02

Agosto 23-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	23,4	33,1	25,0	33,9	37,5	28,7	34,2	45,5	0,6
11:00	25,1	34,0	27,9	41,3	41,5	31,2	28,3	49,2	0,5
12:00	30,0	35,6	28,3	45,4	51,2	34,2	31,2	52,0	0,6
13:00	27,6	40,5	32,4	48,6	55,5	37,3	32,1	52,3	0,2
14:00	27,2	38,9	32,1	47,5	52,5	34,2	34,2	47,5	0,5
15:00	26,0	38,0	34,2	41,5	51,3	31,2	32,1	44,7	0,5
16:00	25,3	35,6	31,2	36,8	46,9	30,2	29,4	41,2	1,0
17:00	22,2	27,0	28,5	35,7	40,0	27,1	28,2	35,2	0,4

destilado producido en el dia : 0,650  
gal

TABLA 4,4,11 TEMP PRUEBA DIA 23-08-02

Agosto 24-02

hora	Ta	Tve	Tvi	Tai	Tag	Tb	Tc	Tpi	V
10:00	24,5	24,5	26,4	34,5	38,2	29,5	35,2	46,3	1,0
11:00	26,8	35,6	28,6	42,3	42,3	32,1	29,4	50,5	0,5
12:00	31,5	36,4	29,4	46,2	52,3	35,6	32,5	53,2	0,5
13:00	29,4	41,2	33,4	49,5	56,2	38,6	33,5	52,3	0,2
14:00	28,6	39,5	33,2	48,7	53,4	35,1	35,6	49,4	0,5
15:00	27,2	39,4	35,2	42,3	52,3	32,5	33,6	45,8	1,0
16:00	26,4	36,4	32,5	37,2	47,5	31,5	30,5	41,2	1,0
17:00	23,4	28,3	29,3	36,1	41,7	28,3	29,5	38,5	0,5

destilado producido en el dia : 0,850  
gal

TABLA 4,4,12 TEMP PRUEBA DIA 24-08-02



# CAPITULO 5

## 5. ANÁLISIS ECONOMICO

La parte indispensable de este estudio recae sobre un estudio económico que permite visualizar la viabilidad del proyecto en términos de valores a invertir , costos y gastos que ocurren durante , y luego del proceso de implementación; para esto, se hará una evaluación de los costos que conlleva el transporte de agua hacia las islas versus el valor de inversión que a largo plazo plantea el desarrollo de la construcción de destiladores solares en la zona de Baltra.

### 5.1 ECONOMIA DEL PROCESO

El valor de la inversión en procesos de energía solar, en la mayoría de las veces es opción del usuario del sistema a implementar. El punto de vista de quien va a construir el sistema es el que interesa para el análisis, en este caso para nuestro

destilador solar , el estudio se realizara desde el punto de vista de la Institución Naval como inversionista y beneficiario de este proyecto.

Algunos valores que debemos tomar en cuenta para esta evaluación económica son : el valor actual de la moneda, costo de oportunidad, y la equivalencia económica de un sistema solar y un sistema tradicional; además se analizara cuanto dinero ahorra la institución en combustible de unidades tanquero que se dirigen a la zona para entregar agua.

Todo calculo de dinero para costos de proyectos , es decir, costo de un ciclo de vida requiere que se considere cuanto “cuesta” el dinero en diferentes fechas calendario ajustando estas fechas a un tiempo base. Esta es la única manera de hacer una comparación viable y aceptable puesto que el dinero actual por Ej. no será el mismo después de un año; esto sucede independientemente de un valor de inflación que exista en el medio. Estos valores se pueden obtener mediante formulas y/o factores que hacen la equivalencia entre un valor futuro de mercado con un valor presente , así como también entre valores anuales de gastos y beneficio a un valor presente . Estas formulas que se han tomado de (5) y que a continuación se detalla :

$$VA = \frac{i \times (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (5.1.1)$$

VA : Anualidad de un valor actual que se obtendría en un tiempo de vida dado

i : TREMA o tasa de rendimiento mínima atractiva de mercado

N: periodo de vida estimado del proyecto

Existen valores actuales que en el futuro cambiarán por la tasa de inflación reinante, sin embargo otros valores son destinados a cambiar a una tasa que no es la de inflación, por tanto, deberá hacerse un ajuste para estimar precios de esos valores en el futuro. Para el caso de valores que en el futuro no están sujetos a cambios por inflación, como por ejemplo servicios fijado en acuerdos contractuales, el índice deflactor de precio puede usarse para este calculo; en cambio, para valores que aumentan a una tasa mayor a la de inflación existe la razón de aumento de precio diferencial que ayuda a este calculo y es dependiente de la zona en que se desarrolle el análisis.

Existe también una formula de equivalencia entre un valor anual y un valor presente que se obtiene mediante la siguiente formula :

$$VP = \frac{(1+i)^N - 1}{i \times (1+i)^N} \quad (5.1.2)$$

en donde VP significa el valor equivalente de una anualidad a valor presente; la simbología restante fue ya especificada .

Al hablar de beneficio de un proyecto debemos considerar la idea de que todo negocio o inversión tiene una función económica básica que es la de maximizar el ingreso neto de la misma. En términos generales el ingreso neto es igual al total de ingresos menos los gastos totales. Las inversiones en Energía Solar se caracterizan típicamente por reducir los gastos relacionados a costos de energía y pueden ser evaluadas de la misma manera en que se analiza una inversión para incremento de ingresos.

Generalmente en inversiones a corto plazo usualmente se da importancia al incremento de ingresos, sin embargo en una inversión como la de nuestro análisis, a largo plazo se el tratamiento de la reducción de gastos es el objetivo primordial, y en la decisión final se considera el tiempo de vida del proyecto.

Una evaluación pre-económica implica una serie de evaluaciones que se debe hacer, entre estas podemos citar:

- Evaluar el valor de la inversión variando su proporción inicial vs. una reducción de costos por energía convencional , con lo cual se obtendrán valores de retorno como ahorro .

- Se debe determinar la tasa de rendimiento mínima atractiva (TREMA) de mercado local.
- Determinar el marco de vida útil de proyecto en base a cual se va a realizar el estudio económico.
- Listar y calcular los costos anuales por mantenimiento del sistema. Generalmente se refieren a costos de adquisición de materiales e instalación, costos al remplazar equipos del sistema, mantenimiento y reparación , costos de energía (en este caso este valor es nulo, puesto que es natural la fuente de energía), y costo de salvamento del sistema si existiera al final del ciclo de vida.
- La razón de aumento de combustible convencional anual, para cuantificar el beneficio maximizando el ahorro por uso de energía gratuita como la solar.

En el siguiente punto de este capítulo se analizará el costo beneficio del proyecto, pero también se analizará y evaluará entre tres alternativas para obtención de agua que es el objetivo de este proyecto; estas alternativas son :

- a) Destilar agua por medio de un sistema de energía no convencional con equipos y materiales a un costo de operación y mantenimiento bajo, pero con una inversión mediana a largo plazo.
  
- b) Obtención de agua por medio de tanqueros que viajan desde el continente hacia la región insular, con sus respectivos costos de operación de buques tanqueros mas el precio de combustible utilizado en cada viaje.
  
- c) Obtención de agua por medio de un destilador que usa combustible y/o energía eléctrica como es el caso del que funciona en la base aérea ubicada en la misma zona de Baltra.

Estas tres alternativas serán evaluadas mediante el método del costo total del proyecto durante el ciclo de vida (CT) utilizado para comparación de alternativas en proyectos, y el método del valor anual (VA) usado para el mismo efecto. La alternativa escogida se evalúa en base al máximo valor obtenido, en el caso de VA, es decir, de las tres alternativas la mas viable es la que obtenga un VA mayor un CT menor durante el ciclo de vida .

#### COSTO DE PRODUCCIÓN DE DESTILADO MEDIANTE EL PROYECTO DE ENERGIA SOLAR:

Debido a que en energía solar no existe costo de la misma como en procesos

corrientes de desalinización donde el valor es muy elevado, en nuestro caso el capital invertido para construcción representa el mayor porcentaje de costos de producción. Por tanto una optimización del sistema implica implementar un proyecto de largo plazo por medio de un sistema barato.

El costo de producción lo obtendremos de la siguiente manera:

$$Costo = \frac{CI \times VA + C_{MANT \ REPAR} + I + LO}{Da \times A_T \text{ DESTILADOR}} \quad (5.1.3)$$

donde:

CI : costo de inversión del proyecto , dólares

VA : anualidad obtenida con la ec. ( 5.1.1) , en dólares

$C_{mant \ y \ rep}$  : Costos de mantenimiento y reparación anual, dólares

I : imprevistos anuales , dólares

LO : limpieza y operación anual, dólares

Da : destilado total obtenido en un año, Gal. /m<sup>2</sup>año

$A_T$  : área total de destiladores, m<sup>2</sup>.

Para el siguiente análisis se usaran los siguientes valores :

Trema : 12 %

N : 10 años

$C_{mant \ y \ rep}$  : 1 % del capital invertido

I : 3% del capital invertido

LO = 0.15 hr.-hombre / día = 54275 hr.-hombre / año \*0.05% CI / hr.-hombre =  
\$/año

Realizando los cálculos obtenemos los siguientes valores por litro de destilado anual :

$$\text{Costo} = \frac{(44300 \times VA + 4430 + 0.03 * 44300 + 0.0005 * 44300) \$}{0.98 \frac{\text{gal}}{\text{m}^2 \times \text{dia}} \times 365 \text{días} \times 935.36 \text{m}^2}$$

$$VA = \frac{0.12 \times (1 + 0.12)^{10}}{(1 + i)^{10} - 1} +$$

$$VA = 0.176984$$

$$\text{Costo} = \frac{(44300 \times 0.176984 + 4430 + 0.03 * 44300 + 0.0005 * 44300) \$}{0.65 \frac{\text{gal}}{\text{m}^2 \times \text{dia}} \times 365 \text{días} \times 1410 \text{m}^2 \times \frac{1 \text{m}^3}{264.172053 \text{gal}}}$$

$$\text{Costo} = 10.75 \frac{\$}{\text{m}^3}$$

En nuestro país el precio por metro cúbico asciende alrededor de 0.5 \$/m<sup>3</sup>, sin embargo se debe tomar en consideración los costos por transporte del liquido hacia las Islas; el valor de 10.75 \$/m<sup>3</sup> será comparado con el costo añadido que tiene el metro cúbico de agua en el país, transportado hacia Galápagos por



buques tanqueros; dicho análisis, se realizara en el siguiente tema de este capitulo.

### COSTO DE PRODUCCIÓN DE DESTILADO POR MEDIO DE UNA PLANTA DESALINIZADORA A DIESEL:

Los datos que a continuación se detallan fueron obtenidos de personal que labora en la Base de Baltra en el sector correspondiente a la planta que funciona en la Base Aérea de Baltra.

La planta utiliza una cantidad diaria de consumo de combustible de 40 Gal., estos son abastecidos desde el continente, es decir, del precio normal en Ecuador es necesario aumentar un porcentaje por concepto de transporte , de,\$ 0.25 adicionales; el precio normal es de 0.68 \$/Gal. , aumentado el rubro de transporte , resulta en un precio de 0.93 \$/Gal.

En lo que respecta a mantenimiento mensual el valor que se presentara corresponde a costos de aceite, filtros de aceite, limpieza y lubricación de equipos, etc, el valor asciende a \$ 400 mensuales o 13.3 \$/día.

La producción diaria de agua destilada por medio de esta planta es de 3900 gal que son distribuidos en tanqueros.

Por lo tanto el costo de cada galón de agua destilado de esta manera asciende a :

$$\text{costo por galon} = \frac{(37.2+13.3)\$}{3900\text{gal}} = 0.013 \frac{\$}{\text{gal.dia}}$$

$$\text{costo por galon} = 0.013 \frac{\$}{\text{gal.dia}} \times \frac{264.17 \text{ gal}}{1\text{m}^3} = 3.42 \frac{\$}{\text{m}^3 \text{ dia}}$$

### COSTO DE PRODUCCIÓN DE AGUA TRANSPORTADA HACIA LAS ISLAS GALÁPAGOS DESDE EL CONTINENTE

Existen dos buques de la Armada Nacional que viajan hacia Galápagos transportando agua; analizaremos el costo de agua con un valor agregado del combustible usado y el costo de mantenimiento de estas dos unidades. Así :

#### Primer buque tanquero:

Capacidad de agua : 100000 a 120000 Gal.

Capacidad combustible : 12454 Gal.

Viajes en el año : 3

Consumo combustible en navegación por viaje : 7700 Gal.

Precio combustible por galón : \$ 0.681370/ Gal.

Costo de agua :  $0.50 \$/\text{m}^3 = 0.00189270 \$/\text{Gal}$ .

Costo mantenimiento anual nivel básico : \$1200

$$\text{costo anual} = 3 \times \left( 100000 \text{gal} \times 0.00189270 \frac{\$}{\text{gal}} + 7700 \text{gal} \times 0.681370 \frac{\$}{\text{gal}} \right) + \$1200$$

$$\text{costo anual} = \$17507.457$$

El costo diario corresponde a : 47.96 \$/ Gal. día

Segundo buque tanquero:

Capacidad de agua : 65000 Gal.

Capacidad combustible : 7500 Gal.

Viajes en el año : 2

Consumo combustible en navegación por viaje : 3168 Gal.

Precio combustible por galón : \$ 0.681370/ Gal.

Costo de agua :  $0.50 \text{ \$/m}^3 = 0.00189270 \text{ \$/Gal.}$

Costo mantenimiento anual nivel básico : \$ 1050

$$\text{costo anual} = 2 \times \left( 65000 \text{gal} \times 0.00189270 \frac{\$}{\text{gal}} + 3168 \text{gal} \times 0.681370 \frac{\$}{\text{gal}} \right) + \$1050$$

$$\text{costo anual} = \$ 5613.21$$

El costo por día es de : 15.37 \$/Gal. día

El valor se lo indica por día para realizar una comparación de precios entre estas tres alternativas de obtención de agua para la base; y podemos notar que el precio del destilador solar es de 10.75 \$/m<sup>3</sup> o 0.0407 \$/Gal., que difiere del precio del obtenido por medio de la planta a diesel 3.42 \$/m<sup>3</sup> y 0.013\$/Gal. , pero existe un gran diferencia a considerar, puesto que , el valor de inversión de la planta no ha sido tomando en cuenta, lo que no ocurre en el caso del destilador que esta considerada la parte de inversión en el costo por galón, y además, una serie de beneficios, mas adelante expuestos, que aporta a la idea de su instalación.

## **5.2 ANALISIS COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO**

Para realizar este análisis se debe en primer lugar maximizar los beneficios netos que el proyecto brinda a la Base Naval de Baltra . La razón costo beneficio es en si un cociente indicador de factibilidad del proyecto, para esto se requiere que se calcule una razón de beneficios obtenidos respecto a los costos.

Definiremos como beneficios a las consecuencias favorables del proyecto para los usuarios, en este caso, para el personal naval y sus familias, quienes son los

directos consumidores. En cambio, los costos del proyecto implican los desembolsos monetarios requeridos para el mismo.

La tasa de análisis a utilizar para nuestro caso es la tasa de rendimiento mínima atractiva (trema) de un valor de 12% ,un valor que tomaremos como referencial para los cálculos económicos de ahora en adelante .

Haremos dos análisis respecto a Costos beneficios:

- El concepto de Costo beneficio anual
- Razón Costo Beneficio modificada al valor presente

Costo Beneficio anual : Relaciona los beneficios obtenidos anuales con referencia a los costos anuales en el proyecto . Es decir :

$$C / B = \frac{VA(\text{beneficios del proyecto propuesto})}{VA(\text{costos totales proyecto propuesto})} \quad (5.2.1)$$

$$C / B = \frac{VA(B)}{RC + VA(OyM)} \quad (5.2.2)$$

donde :

VA (B) : valor anual de B

B : Beneficios del proyecto propuesto

RC: Recuperación de capital, es decir, el monto equivalente anual de la inversión I

O y M : Costos de operación y mantenimiento del proyecto que se propone

El monto de beneficios para el proyecto es el ahorro que se obtiene evitando el envío de agua en buques tanqueros, lo que corresponde en cifras a lo siguiente:

Primer buque tanquero:

Capacidad de agua : 100000 a 120000 Gal.

Capacidad combustible : 12454 Gal.

Viajes en el año : 3

Consumo combustible en navegación por viaje : 7700 Gal.

Precio combustible por galón : \$ 0.681370/ Gal.

Costo de agua :  $0.50 \text{ \$/m}^3 = 0.00189270 \text{ \$/Gal}$ .

Costo mantenimiento anual nivel básico : \$1200

$$\text{costo anual} = 3 \times \left( 100000 \text{ gal} \times 0.00189270 \frac{\$}{\text{gal}} + 7700 \text{ gal} \times 0.681370 \frac{\$}{\text{gal}} \right) + \$1200$$

$$\text{costo anual} = \$17507.457$$

Segundo buque tanquero:

Capacidad de agua : 65000 Gal.

Capacidad combustible : 7500 Gal.

Viajes en el año : 2

Consumo combustible en navegación por viaje : 3168 Gal.

Precio combustible por galón : \$ 0.681370/ Gal.

Costo de agua :  $0.50 \text{ \$/m}^3 = 0.00189270 \text{ \$/Gal}$ .

Costo mantenimiento anual nivel básico : \$ 1050

$$\text{costo anual} = 2 \times \left( 65000 \text{gal} \times 0.00189270 \frac{\text{\$}}{\text{gal}} + 3168 \text{gal} \times 0.681370 \frac{\text{\$}}{\text{gal}} \right) + \$1050$$

$$\text{costo anual} = \$ 5613.21$$

Sumando estos dos costos de transporte y mantenimiento anual tenemos un valor total de \$ 23120.667 / año; valor que seria el beneficio de este proyecto por cuanto se considera un ahorro al emplear el sistema de destilador solar.

Beneficios totales anuales : 23120.667 \$

El rubro de costos anuales del proyecto del destilador solar comprende el valor de inversión mas los costos de mantenimiento y operación , a continuación se detallan :

$$\text{costos anuales} = CI \times VA + C_{\text{MANT REPAR}} + I + LO \quad (5.2.3)$$

$$\text{costos anuales} = CI \times VA + C_{MANT\ REPAR} + I + LO$$

$$\text{costos anuales} = 44300 \times VA + 4430 + 0.03 * 44300 + 0.0005 * 44300$$

$$\text{costos anuales} = 5629$$

Utilizamos la ec 5.2.2 para el calculo de la razón costo beneficio, así, :

$$C/B = \frac{VA(B)}{RC + VA(OyM)}$$

$$C/B = \frac{23120.167}{5629} = 4.1$$

El valor de la razón costo beneficio es muy buena, en la mayoría de proyectos las razones tienden a un valor alrededor de la unidad, y se desechan aquellos proyectos que producen una relacion menor a uno, por tanto es aceptable el beneficio que el proyecto representa.

En caso de que el ahorro disminuyera, es decir, los viajes de los tanqueros sean esporádicos por razones variadas, podemos recalculamos los beneficios del proyecto a un viaje por buque, lo cual bajaría notablemente el rubro de ahorro, y esto implicaría también restricción de agua para la base; con este enfoque a continuación se calcula el ahorro si los buques viajan una vez por años cada uno.



Los costos por combustible y agua del primer buque con una sola travesía hacia las islas Galápagos sería :

$$\text{costo anual} = \left( 100000 \text{gal} \times 0.00189270 \frac{\$}{\text{gal}} + 7700 \text{gal} \times 0.681370 \frac{\$}{\text{gal}} \right) + \$1200$$

$$\text{costo anual} = \$ 6635.819$$

Para el caso del buque tanquero numero dos :

$$\text{costo anual} = \left( 65000 \text{gal} \times 0.00189270 \frac{\$}{\text{gal}} + 3168 \text{gal} \times 0.681370 \frac{\$}{\text{gal}} \right) + \$1050$$

$$\text{costo anual} = \$ 3331.6$$

Esto suma un valor total de costos anuales de \$ 9967.42, que para nuestro análisis del proyecto a implementar es el rubro de ahorro o beneficios del mismo, como ya se indico. El valor de costos en si, no cambia en el año, se mantiene el mismo valor calculado con la ec. (5.2.3) que tiene un monto de \$ 5629

Nuevamente calculamos la razón de costo beneficio y de la ec 5.2.2 resulta :

$$C/B = \frac{9967.42}{5629} = 1.77$$

Este valor con cociente mayor a la unidad implica que los beneficios son mayores a los costos por lo tanto es un proyecto aceptable.

Razón Costo Beneficio modificada al valor presente : A diferencia de la razón costo beneficio anual , esta relacion analiza valores de costos y beneficios en valor actual del dinero , es decir, hay que hacer una transformación de los costos de mantenimiento y operación anual, a valor presente , al igual que los valores de ahorro por año que se obtienen. Es un análisis en tiempo presente que también es un enfoque valido.

La equivalencia de valores anuales a presente se realiza utilizando el factor de la ec 5.1.2 al numerador y denominador de la ec 5.2.3

$$C / B = \frac{VP(B)}{I + VP(OyM)} \quad (5.2.3)$$

Haremos el calculo de la razón costo beneficio para los dos casos, es decir, cuando realizan 3 y 2 travesías en el año, y cuando realizan una sola.

Para nuestro primer análisis, el valor anual de beneficios se calculo anteriormente y tiene un valor de . \$ 23120.667

Su equivalencia a valor presente utilizando la formula es de :

$$VP_{BENEFICIOS} = VA \times \frac{(1+i)^N - 1}{i \times (1+i)^N}$$

$$VP_{BENEFICIOS} = 23120.667 \times \frac{(1+0.12)^{10} - 1}{0.12 \times (1+0.12)^{10}}$$

$$VP_{BENEFICIOS} = 23120.67 \times 5.6502$$

$$VP_{BENEFICIOS} = 130363.4$$

El monto de costos anuales, que tienen que ver con la inversión y los mantenimiento y operación dan un total de : \$ 5629

Su equivalente a valor presente es de :

$$VP_{COSTOS} = VA \times \frac{(1+i)^N - 1}{i \times (1+i)^N}$$

$$VP_{COSTOS} = 5629 \times \frac{(1+0.12)^{10} - 1}{0.12 \times (1+0.12)^{10}}$$

$$VP_{COSTOS} = 5629 \times 5.6502$$

$$VP_{COSTOS} = 31804$$

Obtenemos la relacion costo beneficio dividiendo las dos cantidades :

$$C/B = \frac{131363.4}{31804} = 4.13$$

Este valor mayor a la unidad representa viabilidad de ejecución para el proyecto

Para el segundo caso el valor de beneficios anuales es de : \$ 9967.42

Equivalencia a presente :

$$VP_{BENEFICIOS} = VA \times \frac{(1+i)^N - 1}{i \times (1+i)^N}$$

$$VP_{BENEFICIOS} = 9967.42 \times \frac{(1+0.12)^{10} - 1}{0.12 \times (1+0.12)^{10}}$$

$$VP_{BENEFICIOS} = 9967.42 \times 5.6502$$

$$VP_{BENEFICIOS} = 56317.43$$

El valor de costos anuales no cambia en los dos casos por tanto el valor presente es igual , asciende a : \$ 54436

$$C/B = \frac{56317.91}{54436} = 1.03$$

el mismo indicador obtenido con el otro método, pero enfatizando los valores de numerador como beneficios de valores actuales y denominador con los costos en valor presente.

### **5.3 VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACION DEL DESTILADOR SOLAR**

El estudio realizado hasta el momento de este proyecto presenta algunas ventajas respecto a sistemas convencionales de producción de agua e incluso frente al hecho de transportar dicho elemento desde el continente hacia las islas. Sin embargo, en el siguiente capítulo de este estudio se hará un análisis económico que indicara con mayor grado de certitud la viabilidad del proyecto ; para visualizar esta conclusión haremos una breve y simple comparación de costos que han salido de este análisis.

Para iniciar podemos citar cuanto cuesta o cual es el gasto que se realiza en enviar agua en buques tanqueros de la Armada, este valor , asciende a \$ 17507.457 con uno de los buques y el segundo un gasto de \$ 5613.27, un total anual de \$ 23120.667 , en caso de que hayan hecho en el año 3 y 2 viajes respectivamente, que es lo mínimo necesario para abastecer de agua a la isla de Baltra; pero por situaciones diversas existen ocasiones en que los buques mencionados realizan una travesía cada uno, lo cual no es recomendable por la escasez de liquido que esto produce, sin embargo, para el calculo apreciativo de gastos , para el caso de un viaje por año de cada buque el valor asciende a \$

6635.819 y \$ 3331.6 para cada buque mencionado, esto da un total de \$ 9967.419 por año que se gastaría solo en combustible.

Debemos mencionar que se ha tomado en consideración el gasto de mantenimiento anual de las unidades, dicho mantenimiento lo que consideramos de nivel medio y no reparaciones mayores. De este modo el valor de cada galón de agua con valor agregado llevado a la isla en buques tanqueros es demasiado elevado con un valor diferente para cada buque por cuanto la utilización de combustible y cantidad de agua que transporta cada uno es diferente . Para el primer buque el precio del galón de agua asciende a un valor de \$ 47.96/ Gal. Y \$ 15.37/Gal. Para el segundo; estos valores comparados con los producidos por el destilador solar implica una enorme diferencia desde el punto de vista económico y desde el punto de vista ambiental .

Si analizamos el precio por galón de la planta desalinizadora que la Base Aérea posee, es un precio comparativo cercano , estos valores son los siguientes : el destilador solar produce agua a un costo de 0.0407 \$/Gal. día y en el caso de la planta desalinizadora mencionada el valor es de 0.013 \$/Gal. día ; aquí la diferencia radica en el hecho de que el valor de inversión de la planta desalinizadora no ha sido tomada en cuenta ; este ultimo valor acrecentara el costos de galón de agua producido a diesel por la planta.

Por tanto podemos finalizar este análisis de viabilidad concluyendo que es una alternativa viable de inversión , que evitaría gastos de transporte anuales cuyo beneficio no es constante por diversas razones, mas no en un beneficio a largo plazo como el caso del destilador solar que si dotaría de esta necesidad en forma continua, relativamente a un bajo costo y en forma eficiente por las condiciones climáticas que gobiernan la región en estudio.

### RESULTADOS DE COSTOS DE LAS TRES ALTERNATIVAS

Alternativa	\$/Gal. día
Planta Desalinizadora a Diesel	0.013
Transporte desde el continente. Tanquero 1	47.96
Transporte desde el continente. Tanquero 2	15.37
Destilador Solar	0.0407
Combustible usado tanqueros 1	5246 \$/ travesía
Combustible usado tanqueros 2	2158 \$/travesía
Comb. usado en desalinizadora	37.2 \$/día

La matriz arriba mostrada, especifica valores que son motivo de análisis para llegar a concluir sobre la factibilidad o no de este sistema-proyecto solar; hay un valor diferencial de cuatro veces, entre el costo de galón destilado con energía solar y aquel en el que se usa diesel, sin embargo esta diferencia en precio se incrementa a favor del primero, cuando consideramos que, como ya se mencionó, los valores por instalación y adecuación de dicha planta a diesel no son tomados en cuenta.

Sin duda alguna, los valores obtenidos por transporte desde el continente hacia las Islas Galápagos, tienen una notable y acentuada diferencia por arriba de los dos anteriores métodos de obtención de agua; esto refleja un fuerte gasto anual por este concepto; este dinero, puede ser invertido en el mencionado proyecto de energía solar, con un tiempo de recuperación de inversión RC relativamente bajo.

Si analizamos los valores diarios de consumo de combustible de la desalinizadora a diesel, observamos que 37 \$ en un día, no es una opción atractiva desde el punto de vista económico,

Por los motivos económicos arriba mencionados, la planta destiladora solar, si es una opción válida, inclusive si tomamos como hipótesis una baja en la cantidad de luz-energía, que haría vulnerable al sistema en análisis. De acuerdo



a las tablas de datos obtenidos, la heliofania tiende a disminuir anualmente, sin embargo, es necesario decir, que los cambios climatológicos no son demasiado drásticos en la zona, por ser una área geográficamente ubicada en la línea ecuatorial; aun si tomamos como punto de análisis el valor mas bajo de la tabla de datos de heliofania correspondiente a  $1.9 \times 10E3 \text{ W-h/m}^2$ , la cantidad de energía corresponde al rango entre los cuales se obtienen una cantidad de destilado estimada en 1.9 a 2.2 L./m<sup>2</sup> día.

Otro factor a favor del sistema destilador solar, es el hecho de su independencia en cuanto se refiere a suministro de energía para su funcionamiento, puesto que el sol esta siempre presente, la radiación será aprovechada en mayor o menor grado, dependiendo de las condiciones climáticas en la zona.

Desde el punto de vista de inversión económica, y si el caso lo amerita, la cantidad de módulos a construir, puede ser llevada a efecto en forma secuencial, es decir, una construcción por etapas a fin de disminuir el presupuesto de implementación ,si existe el inconveniente e no haber sido considerado un rubro para inversiones anuales; se puede incrementar en forma anual la adecuación de módulos de destiladores, en un porcentaje determinado por el organismo ejecutor del proyecto, este, se sugiere sea un valor de 25% anual, para culminar el proyecto en forma total en 4 años. Esta opción queda abierta a criterio del mencionado organismo ejecutor.

MATRIZ COMPARATIVA DE BENEFICIOS ENTRE UN SISTEMA SOLAR Y UNO A DIESEL

Destilador solar	Destilador a diesel
Un sistema con bajo índice de vulnerabilidad Excepto en condiciones de radiación solar baja; según datos, las mínimas aportan a una destilación.	Condicionado a eventuales problemas de suministro de combustible para funcionar.
Aporta con la idea de un ecosistema sano , omitiendo el uso e combustibles fósiles	La contaminación por emanación de desechos producto de combustión del derivado de petróleo que usa.
El suministro de energía es gratis, libre e independiente de huelgas, paros, etc, que truncan la producción.	En caso de escasez de petróleo, ya sea por problemas de transporte o por falta de petróleo, la producción se para .
Contribuye con las Islas Galápagos a acentuar la utilización de fuentes no convencionales de energía y preservar el ambiente reinando el la región insular.	Un contraste ecológico con la región que tiende a la preservación del medio ambiente.
A largo plazo es una atractiva inversión por el costo nulo de la fuente de energía	El gasto periódico anual por concepto de compra de combustible como fuente de energía será permanente

## 5.4 ESTIMACION TIEMPO VS RECUPERACION DE LA INVERSIÓN

El análisis anterior mediante el método de costo beneficio del proyecto tiene una relación positiva en cuanto a mayor cantidad de beneficios con referencia a los costos de inversión y mantenimiento que el proyecto posee; una evaluación del tiempo de amortización del dinero o tiempo de recuperación del mismo nos da otra idea de cuan beneficioso puede ser implementar este tipo de destilador en la zona.

Se presenta el calculo del tiempo de recuperación de la inversión, para el cual se utilizara la siguiente formula :

$$\sum_{k=0}^{\theta} (R_x - E_x) \times (P/F, i\%, \theta) - I_o \geq 0 \quad (5.3.1)$$

donde :

k : Año de referencia para la suma algebraica de ingresos y egresos

$\theta$  : Año de recuperación de la inversión

Rx : ingresos o revenues del año de referencia

Ex: egresos del año de referencia

P/F :Factor de equivalencia de un valor presente a futuro.

Para realizar este calculo se deben pasar, mediante equivalencias, todos los gastos al presente y luego recalculan hasta un numero  $\theta$  de años cuanto se igualen a la inversión, tiempo para el cual la inversión estará recuperada.

Los costos anuales de mantenimiento y reparación que se calcularon con la ec 5.2.3 ascienden a un valor de \$5629, pero esta incluido el valor de la inversión que para esta formula no debe constar sino al final, por tanto , el verdadero valor de costos anuales es de :

$$\begin{aligned} \text{costos anuales} &= C_{MANT\ REPAR} + I + LO \\ \text{costos anuales} &= 443 + 0.03 * 44300 + 0.0005 * 44300 \\ \text{costos anuales} &= 1794 \end{aligned}$$

Para los ingresos anuales debemos utilizar el valor del  $m^3$  de agua con el precio de Galápagos que tiene un precio de \$ 3.63 / $m^3$  valor domestico y \$ 7.36/ $m^3$  valor residencial, tomaremos el menor para evaluar la amortización ; el destilador produce 1266.55 $m^3$  anuales por tanto el ingreso anual por este rubro es de :

$$\text{ingresos anuales} = 1266.55m^3 \times 10.75 \frac{\$}{m^3} = \$ 13615.57$$

Aplicando la ec 5.3.1 para el periodo de recuperación de la inversión y con la ayuda del siguiente diagrama de flujo de efectivo de la FIG.5.4.1 podemos visualizar el problema planteado. Así,:

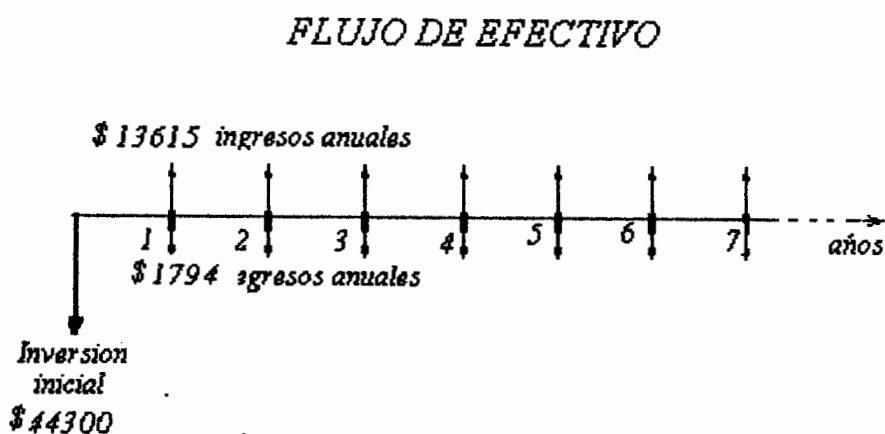


FIG.5.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE EFECTIVO ANUAL

De este diagrama podemos observar que hay un beneficio anual resultante de la resta del dinero que egresa con el que ingresa, por tanto esta diferencia positiva implica que a un futuro el valor de la inversión se recupere; esta cantidad de años la calcularemos con las equivalencias de dinero de tiempo futuro transformándola a presente, es decir, tomaremos cada año para ser evaluado a tiempo presente, el valor que debe resultar de esta resta de dineros debe ser

mayor a cero, en cuyo caso estaremos en el año en que la inversión se ha recuperado.

Para el año primero se realizara el siguiente balance :

$$Balance_{AÑO1} = (Ingresos - Egresos)(P/F, 12\%, N) - Inversion$$

$$Balance_{AÑO1} = (13615 - 1794)(P/F, 12\%, 1) - 44300$$

$$Balance_{AÑO1} = (13615 - 1794)(1 + 0.12)^{-1} = -33745$$

Esto implica que en el primer año la inversión no se ha recuperado puesto un valor negativo aparece en el balance; para cuando este valor sea mayor a cero  $N$  se convierte en  $\theta$  que corresponde al año de amortización del dinero invertido.

Presentaremos el análisis para cada año indicando el balance respectivo :

$$Balance_{AÑO2} = (13615 - 1794)(1.12^{-1} + 1.12^{-2}) - 44300 = -24321$$

$$Balance_{AÑO3} = (13615 - 1794)(1.12^{-1} + 1.12^{-2} + 1.12^{-3}) - 44300 = -15907$$

$$Balance_{AÑO4} = (13615 - 1794)(1.12^{-1} + 1.12^{-2} + 1.12^{-3} + 1.12^{-4}) - 44300 = -8395$$

B

$$Balance_{i_{AÑO 5}} = (13615 - 1794)(1.12^{-1} + 1.12^{-2} + \dots + 1.12^{-5}) - 44300 = -1687$$

$$Balance_{i_{AÑO 6}} = (13615 - 1794)(1.12^{-1} + 1.12^{-2} + \dots + 1.12^{-6}) - 44300 = 4300$$

El valor positivo implica que se ha recuperado la inversión al termino del año 6, nuestros cálculos fueron efectuados en base a una vida útil de 10 años, que tiene una apreciación relativa, en vista de que , un destilador de las características de materiales que se ha expuesto puede durar mas o incluso ser reparado en partes susceptibles de cambio como lo son los cobertores de vidrio; además el aspecto de mantenimiento que es un costo que podría ser mas bajo incluso. Otro aspecto que debemos mencionar es el valor del metro cúbico de agua que se ha tomado es el mas bajo , el cual corresponde a la zona domestica, con el valor comercial de \$7.36/m3 el periodo de amortización bajaría; un enfoque adicional que se puede dar es el ahorro por concepto de transporte de agua, cuyo valor es de \$ 23120 anuales; este puede ser analizado como una ganancia anual o ahorro, debido a que no se gasta, este calculo presentamos, así:

La FIG.5.4.2 muestra el diagrama de efectivo con este nuevo ingreso anual mas alto que el anterior, :

## FLUJO DE EFECTIVO

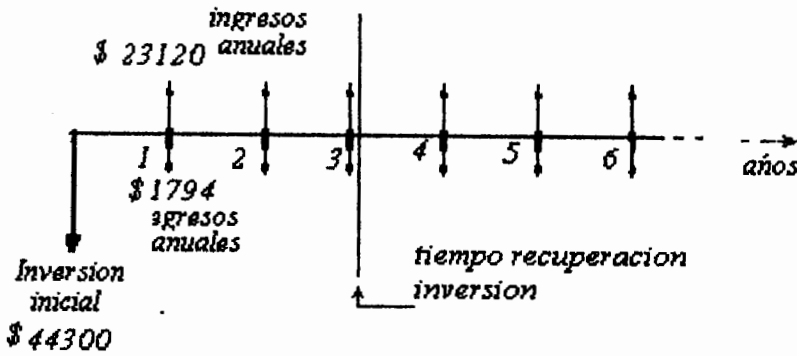


FIG 5.4.2 DIAGRAMA DE FLUJO EFECTIVO

(ingreso anual mayor)

$$Balance_{i_{AÑO1}} = (23120 - 1794)(P/F, 12\%, 1) - 44300$$

$$Balance_{AÑO1} = (23120 - 1794)(1 + 0.12)^{-1} - 44300 = -25258$$

$$Balance_{i_{AÑO2}} = (23120 - 1794)(1.12^{-1} + 1.12^{-2}) - 44300 = -8257$$

$$Balance_{i_{AÑO3}} = (23120 - 1794)(1.12^{-1} + 1.12^{-2} + 1.12^{-3}) - 44300 = 6921$$

Este resultado implica la recuperación del capital en el tercer año, es decir, resulta desde este punto de vista un beneficio de 7 años más, tiempo que se estima como vida útil del proyecto. El valor de ganancia anual para el cual se ha realizado el primer cálculo es cuantificado en relación al precio de agua en Galápagos, pero si lo vemos desde el punto de vista de bienestar para el



personal que vive en esta Isla, el valor que le podríamos asignar es mayor en vista de la comodidad que el uso de esta necesidad básica que todos tenemos, brinda a las personas.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Una de las condiciones necesarias para la optimización del sistema es la existencia de un medio donde la transferencia de calor sea máxima; esto ocurre cuando la temperatura del agua dentro del destilador y la temperatura del vidrio exterior tienen un diferencial de temperatura mayor; en lugares cerca de la playa, la isla de Baltra es uno de ellos, junto al mar la brisa aumenta el coeficiente convectivo al igual que disminuye la temperatura del vidrio lo cual es un muy valioso punto a considerar para este proyecto.

2. El destilador de prueba se drenó con una periodicidad de dos días, debido a que se presentan en el fondo del mismo sedimentación de sales y sólidos. Para los destiladores de conjunto que se han diseñado la purga deberá también ser utilizada de manera que impida la acumulación de sales en el fondo y además evite que el agua

salada nueva entrante al destilador se mezcle con el agua saturada de sales que existía lo cual disminuiría en gran cantidad la producción y eficiencia del destilador.

3. Una manera adicional y optativa de limpiar sedimentaciones que se puedan acumular es introduciendo agua dulce por la tubería de carga para evacuarlas ; este mantenimiento puede ser periódico pero no con mucha frecuencia; existe la posibilidad de drenar sedimento, incluso con agua salada, manteniendo los dos orificios de entrada y salida respectivamente abiertos con el fin de limpiar el destilador.

4. El cobertor de vidrio del destilador debe mantenerse limpio para evitar que la acumulación de polvo o partículas de suciedad impidan la transferencia de calor y el ingreso de la energía solar; para esto se recomienda una limpieza frecuente para este efecto.

5. El ángulo de  $15^\circ$  utilizado en el diseño es un ángulo dentro de un rango de valores que se han estudiado para pendientes en un destilador solar, el cual se convierte en óptimo por la facilidad con que las gotas de agua condensadas en la parte inferior del cobertor deslizan, no así, en el caso de que este ángulo sea menor como el ángulo mínimo para el cual empieza una gota a deslizar , que de acuerdo a

experimentos prácticos efectuado fue de  $7.5^\circ$ . Además por experiencias de diversos diseños el ángulo varia entre  $10$  y  $30^\circ$ ; el ángulo mayor implica mayor caída del agua pero a su vez el vapor debe elevarse mas en la parte mas alta de la pendiente lo cual disminuye en parte la condensación final al necesitar mas vapor para llegar a ese punto, sin mencionar que se debe utilizar mas material para la construcción de la pared posterior del sistema.

6. Destilar agua por medio de un sistema de energía no convencional con equipos y materiales a un costo de operación y mantenimiento relativamente bajo, pero con una inversión mediana a largo plazo, es una muy buena y viable alternativa que puede suplir la necesidad imperiosa de agua en la Isla de Baltra ,lugar al cual corresponde este estudio.

7. El sistema a emplearse es considerado ambiental debido a que no emana ningún tipo de desechos tóxicos, por lo tanto, va acorde con el medio ambiente que existe en las Islas Galápagos , tomando como base el hecho de que esta zona es considerada patrimonio y reserva ecológica de la humanidad, y que el sistema en estudio no va en contra de la preservación de la zona , punto en el cual se hace mucho énfasis en esta región insular.

8. Las coordenadas geográficas de la Isla de Baltra nos indican que se encuentra sobre el paralelo de latitud cero ligeramente hacia el sur; esta situación geográfica facilita la decisión de colocar al destilador en posición norte sur con la cara de la pendiente del cobertor hacia el norte , y a la vez, no impide que por alguna razón de construcción sea colocada en sentido contrario. Esta variación en la forma de colocar la pendiente del destilador si tendría incidencia en la eficiencia del mismo en el caso de latitudes mayores .

9. El ahorro anual que el proyecto implica, corresponde a un rubro hasta ahora considerado gasto de transporte para la institución, que puede ser utilizado como inversión en otras necesidades para beneficio mismo de las bases navales asentadas sobre las islas.

10. Si luego de un análisis de inversión efectuado por personal de ingenieros de la Armada resulta en un monto demasiado alto para lo estipulado en el presupuesto para proyectos de inversión o similares, se puede considerar como alternativa , un sistema solar del mismo tipo pero con menos unidades, con el fin de utilizar el agua obtenida para necesidades específicas como comida y bebida , y no para todas, como ha sido calculado en base a datos del personal de la zona; los costos de inversión se reducirían considerablemente.

11. Se recomienda utilizar entre los dos tipos de aislantes mencionados en la parte de materiales, el de menor costo, puesto que la diferencia en precios implica si una diferencia en rendimiento térmico que no es demasiado significativa, por lo tanto, es preferible escoger el aislante que abarate los costos del proyecto.
  
12. Los sellos de silicón en la periferia del vidrio cobertor, deben efectuarse con precaución y riguroso control de fugas, debido a que el aire caliente que pudiese escapar en el caso que las hubiera, disminuiría el rendimiento de la presión al deber aumentar mas la temperatura para la evaporación del agua de mar en el interior.
  
13. Para aprovechar el sistema de distribución ya construido , se puede hacer un análisis para llevar el destilado hacia dichos tanques de almacenamiento para una mejor y rápida recepción del liquido en las viviendas.
  
14. El sistema tiene una confiabilidad a resaltar en vista de la permanente existencia del producto inicial, es decir, el agua de mar, para destilarla y obtener suministro de agua en forma continua sin problemas de escasez.

15. La posibilidad de prescindir de este servicio es nula en casos de irregularidades como paros, huelgas, falta de combustible, este ultimo en caso de una destiladora que funcione con este elemento.

16. Para los casos de Febrero, Marzo y Abril en los cuales se registra como datos de lluvia el mayor nivel en mm de agua, la recolección por medio de canaletas aumentaría y mejoraría la producción diaria de agua de bebida a través, de un diseño acoplado y adecuado a las instalaciones ya existentes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGNIHOTRI, GUPFA, Solar Selective Surfaces, Wiley interscience Publication , 1981
2. W. ALBUJA, “Diseño y Construcción de un Destilador Solar de Cascada”, (Tesis, Facultad de Ingeniera Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989)
3. BRUN, GAZLEY, MORI, GRILULL, SOLUKHIN, SPALDING, International Journal of heat and mass transfer, Pergamon Press, vol 21, Feb 1978.
4. BURMEISTER , Convectiv Heat Transfer, Wiley Interscience, Nueva York, 1983.
5. DE GARMO, SULLIVAN, BONTADELLI, WICKS, Ingeniería Económica, Prentice Hall Hispanoamérica S A. México, 1997



6. J. DUFFY y W. BECKMAN, Solar Engineering of Thermal Process , Sons Inc. , 1980.
7. HALACY D., La nueva era de la Energía Solar, Ediciones Marimar, 1974.
8. HOWELL, BANNEROT, WIET, Solar-Thermal Energy Systems, McGrawhill, Book Company, 1982
9. INCROPERA, DEWITT, Transferencia de Calor, Editorial Lafayette, indiana,1985
10. J. KREIDER Y F.KREITH, Solar Energy Handbook, Editorial Mcgrawhill,1981
11. F. KREITH, J DREIDER, Principles of solar engineering , Hemisphere publishing corporation, 1978
12. J.MAYERS, Solar Applications in Industry And Commerce, Prentice Hall Inc New Jersey 1984
13. . McVEIGH, Sun Power, Pergamon Press, 1983

14. M. PAZMIÑO, "Energía Solar en el Ecuador", Revista tecnológica ESPOL, vol 2, N° 2..

15. WOLFANG P., Solar Electricity, Butlerworths unesco, 1978

#### DIRECCIONES ELECTRÓNICAS:

16. [wits.gdl.iteso.mx/solar/indice/html](http://wits.gdl.iteso.mx/solar/indice/html)

17. [www.censolar.org](http://www.censolar.org)

18. [www.unap.cl](http://www.unap.cl)

#### Fuente de datos meteorológicos de la Isla de Baltra :

- Estación Científica Meteorológica Charles Darwin, Santa Cruz, Galápagos