

T
660.28429
L 12

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

" DISEÑO Y PRUEBAS DE UN DESTILADOR EVAPORATIVO DE AGUA
QUE TRABAJE CON COMBUSTION DE LEÑA Y BIOGAS
USANDO COMO SUPLEMENTO ENERGIA SOLAR CON APLICACION A USO RURAL "

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

GONZALO ZABALA ORTIZ

Guayaquil - Ecuador

1985

AGRADECIMIENTO



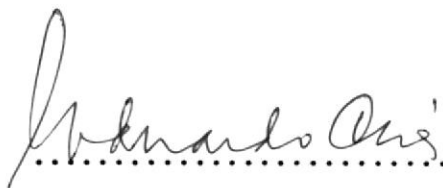
D-7283

AL DR. ALFREDO BARRIGA R,
DIRECTOR DE TESIS, POR SU AYU
DA Y COLABORACIÓN PARA LA REA
LIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.


AL INSTITUTO NACIONAL DE ENER
GÍA POR EL APOYO BRINDADO EN
LA FINANCIACIÓN DE ESTE PRO-
YECTO.

DEDICATORIA

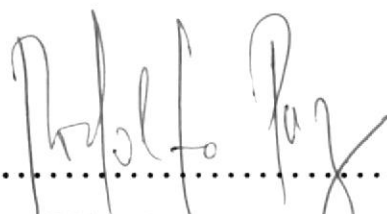
- A MIS PADRES
- A MIS HERMANOS
- A JACKELINE



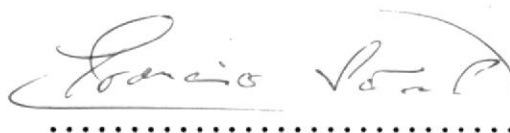
ING. EDUARDO ORCES PAREJA
DECANO
FACULTAD DE ING. MECÁNICA



DR. ALFREDO BARRIGA RIVERA
DIRECTOR DE TESIS



ING. RODOLFO PAZ MORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

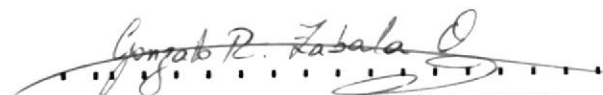


ING. FRANCISCO SANTELLI P.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXÁMENES Y TÍTULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL)


GONZALO RODOLFO ZABALA ORTIZ

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo está encaminado a modificar los destiladores de tal manera que permita calentar el agua y acelerar la evaporación usando calor de la combustión de leña o biogas, mientras se aprovecha la energía solar.

Si bien el uso de la leña se ha desarrollado indiscriminadamente creando problemas de deforestación, se plantea un uso racionalizado de la misma que por el contrario promueve su conservación al hacer uso de ella en forma eficiente para un fin prioritario como es la provisión de agua.

Las pruebas experimentales se realizaron en la Estación Experimental de Bioenergía de la ESPOL, se utilizaron 3 tipos de agua:

- agua potable
- agua del Estero Salado
- agua del Río Guayas

Se realizaron las pruebas con las siguientes fuentes energéticas:

- Solar
- Solar/leña
- Solar/gas
- Leña

Se consigue eficiencias que van de 37 - 54% dependiendo de la fuente de energía empleada,

Se establece de todas las pruebas nombradas anteriormente que la eficiencia del destilador es mayor cuando se usa leña y energía solar.

BIBLIOTECA

INDICE GENERAL

	PAGS.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE GRAFICOS	XIV
INTRODUCCION	16
CAPITULO I	
GENERALIDADES	
1.1. Generalidades y objetivos	18
1.2. Justificación del Proyecto	19
1.3. Alcance del Proyecto	21
1.4. Factibilidad	22
1.5. Análisis de requerimiento de agua	23
CAPITULO II	
DESTILACION	
2.1. Agua pura su proceso de obtención	25
2.2. Funcionamiento del Destilador	30
2.3. Requerimiento de energía en el proceso evaporativo	31
2.4. Clasificación de los destiladores	47
2.5. Uso de destiladores en el área rural	48
2.6. Selección del sistema	51

CAPITULO III

FUENTES DE ENERGIA

3.1. Radiación Solar	53
3.2. Conversión de Energía Solar	59
3.3. Características y combustión de la leña	62
3.4. Características y combustión del biogas	74

CAPITULO IV

INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1. Capacidad de evaporación	84
4.2. Cálculo de los elementos constitutivos del destilador	84
4.3. Materiales para la construcción del desti- lador	87
4.4. Consideraciones técnicas	89
4.5. Características del diseño	92

CAPITULO V

PRUEBAS PRELIMINARES DE PRODUCCION

5.1. Con energía solar	94
5.2. Con leña y biogas	94
5.3. En combinación con energía solar	95
5.4. Optimización de operación	96

CAPITULO VI

SISTEMA EXPERIMENTAL DEFINITIVO

6.1. Descripción experimental	99
6.2. Recopilación de datos	99

6.3. Análisis de datos	101
6.4. Cálculo de la eficiencia	104
CAPITULO VII	
ANALISIS ECONOMICO	
7.1. Costo de materiales de construcción	125
7.2. Costo de mano de obra	128
7.3. Economía del proceso	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
APENDICE	136
BIBLIOGRAFIA	244

INDICE DE TABLAS

BIBLIOTECA

Nº		PAG.
3.1.1.	ESPECTRO ELECTROMAGNETICO DE ACUERDO CON LA LONGITUD DE ONDA.	58
3.3.1	COMPOSICION QUIMICA DE LAS CELULAS LEÑOSAS	65
3.3.2	PODER CALORIFICO DE LOS TEJIDOS LEÑOSOS	66
3.4.1.	COMPOSICION QUIMICA DEL BIOGAS (Ref. 2)	74
3.4.2.	COMPOSICION QUIMICA DEL BIOGAS (Ref. 8)	75
3.4.3.	VALORES EXPERIMENTALES DE PRODUCCION DE BIOGAS (Lt/Kg)	76
3.4.4.	VALORES EXPERIMENTALES DE CONSUMO DE BIOGAS (m^3/hr)	77
3.4.5.	PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL METANO	78
3.4.6.	BIOGAS. EQUIVALENCIA CON OTROS COMBUSTIBLES	79
3.4.7.	CONSUMO DE BIOGAS EN EL SECTOR RESIDENCIAL	81
7.1.1.	COSTO DE MATERIALES	125
7.2.1.	COSTO DE CONSTRUCCION	128
7.2.2.	COSTO TQTAL DEL MODELO	129
A-1	VALORES MEDIOS DE LA TEMPERATURA AMBIENTE PARA GUAYAQUIL	150
A-2	VALORES MEDIOS DE LA VELOCIDAD DE VIENTO PARA GUAYAQUIL	151
A-3	PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE RADIACION SOLAR PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL ($cal/hr.cm^2$)	152
A-4	ANGULOS PROMEDIO DE LOS RAYOS SOLARES CON EL SUELO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL (θis)	153
A-5	ANGULOS DE INCIDENCIA SOBRE LA CUBIERTA DEL DESTILADOR	154
A-6	ANGULOS DE REFRACCION EN LA INTERFASE AIRE-VIDRIO	155
A-7	ANGULOS DE REFRACCION EN LA INTERFASE VIDRIO-AGUA	156

A-8	ANGULOS DE REFRACCION EN LA INTERFASE AGUA-AIRE	157
A-9	REFLECTIVIDAD DE LA INTERFASE AIRE-VIDRIO (r_1)	158
A-10	REFLECTIVIDAD DE LA INTERFASE VIDRIO-AGUA (r_2)	159
A-11	REFLECTIVIDAD DE LA INTERFASE AGUA-AIRE (r_3)	160
A-12	ABSORTIVIDADES PARA VIDRIO COMUN DE VENTANA	161
A-13	TRANSMISIVIDADES	162
A-14	FRACCION DE RADIACION INCIDENTE EN EL DESTILADOR	163
A-15	RADIACION TOTAL TRANSMITIDA	164
A-16	RADIACION TOTAL TRANSMITIDA POR LA CUBIERTA CUANDO $\psi = \theta$ is.	165
B-1	PODER CALORIFICO DEL BIOGAS Y DE OTROS COMBUSTIBLES NO GASEOSOS	169
B-2	PODER CALORIFICO EL BIOGAS Y OTROS GASES COMBUSTIBLES	170
B-3	CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES GASEOSOS	171
B-4	CONSTANTES FISICAS DE LOS HIDROCARBUROS	172
B-5	VALORES PROMEDIO DEL PODER CALORIFICO DE DIFERENTES COM <u>B</u> USTIBLES O SU EQUIVALENTE REFERIDO AL BIOGAS.	173
B-6	PODER CALORIFICO DEL BIOGAS CON RESPECTO A OTROS COMBUS <u>T</u> TIBLES Y CONSUMO PARA UNA FAMILIA DE 5 MIEMBROS.	174
B-7	COMPOSICION GENERAL DEL BIOGAS	175
B-8	RELACIONES DE UNIDADES	176
C.3.1. σ	C.3.12 DATOS DE PRUEBAS CON ENERGIA SOLAR	178
C.4.1. σ	C.4.6. DATOS DE PRUEBAS CON LEÑA	190
C.5.1. σ	C.5.6. DATOS DE PRUEBAS CON LEÑA Y ENERGIA SOLAR	196
C.6.1. σ	C.6.4. DATOS DE PRUEBAS CON GAS Y ENERGIA SOLAR	202
C.7.1.	CUADRO DE EFICIENCIAS DEL DESTILADOR DE AGUA CON ENER <u>G</u> GIA SOLAR.	206
C.7.2.	CUADRO DE EFICIENCIAS DEL FOGON METALICO.	207

C.7.3.	CUADRO DE EFICIENCIA DEL FOGON DE PIEDRA POMEZ	208
C.7.4.	CUADRO DE EFICIENCIAS DEL DESTILADOR DE AGUA CON GAS Y ENERGIA SOLAR.	209
C.7.5.	CUADRO DE EFICIENCIAS DEL DESTILADOR DE AGUA CON LEÑA Y ENERGIA SOLAR.	210
C.7.6.	RESULTADOS DE MEDICION DE PRODUCCION DE AGUA DURANTE LA NOCHE.	211

BIBLIOTECA

INDICE DE GRAFICOS

FIG.		PAG.
2.1.1.	CAIDA MULTIFASICA	28
2.1.2.	PROCESO MULTIEFECTO	28
3.3.1.	TRANSMISION, ABSORCION Y REFLEXION	34
2.3.2.	FLUJO DE CALOR PARA UN D.S.	34
2.3.3.	DISTRIBUCION DE TEMPERATURA PARA EL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE UNA SERIE DE PAREDES PLANAS	42
2.5.a A	2.5.f CLASIFICACION DE LOS DESTILADORES	49
3.1.1.	DISTANCIA PROMEDIO TIERRA-SOL	55
3.1.2.	RADIACION DE DIFERENTE LONGITUD DE ONDA QUE LLEGA A LA ATMOSFERA TERRESTRE	57
3.1.3.	RADIACION SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE	60
3.3.1.	SUSTANCIAS QUE REACCIONAN EN EL PROCESO DE COMBUSTION DE LEÑA	72
5.4.1.	FOGON METALICO	98
5.4.2.	FOGON DE PIEDRA POMEZ	98
A1	TRANSMISIVIDAD TOTAL A TRAVES DE LA CUBIERTA	140
A2	ANGULOS DE INCIDENCIA SOBRE LA CUBIERTA	140
A3	ANGULOS DE INCIDENCIA Y REFRACCION DE INTERFASE	144
A4	TRANSMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD DE ALGUNOS VIDRIOS DE VENTANA	144
A5	GEOMETRIA DEL DESTILADOR	145
A6	FLUJO DE CALOR TRANSMITIDO POR LA CUBIERTA COMO FUNCION DEL ANGULO DE INCLINACION (ψ)	166
A7	FLUJO DE CALOR TRANSMITIDO POR LA CUBIERTA EN UN AÑO COMO FUNCION DEL ANGULO DE INCLINACION	167

C.3.1. - C.3.2. - C.3.3. - C.3.11	213
TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO. PRUEBAS CON ENERGIA SOLAR	
C.3.2.A C.3.11.A	217
RADICACION SOLAR Y PRODUCCION DE AGUA VS. TIEMPO	
C.4.1. - C.4.3	219
TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO. PRUEBAS CON LEÑA	
C.5.3. - C.5.6.	221
TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO. PRUEBAS SOLAR _ LEÑA	
C.6.1.	223
PRODUCCION DE AGUA VS. TIEMPO	
D-1	225
CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO NO AISLADA	
D-2	225
CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO AISLADA	
D-3	226
CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO CON DEFLECTORES	
D-4	227
ESTRUCTURA DEL DESTILADOR	
D-5	227
VISTA DEL MODELO CON CUBIERTA DE VIDRIO	
D-6	228
VISTA GENERAL DEL MODELO	
D-7	229
DIAGRAMA DEL SISTEMA DE DESTILACION TIPO SOLAR-LEÑA-BIOGAS	
D-8	230
VISTA PRINCIPAL DEL DESTILADOR SOLAR/LEÑA	
D-9	231
SECUENCIA APLICADA EN LA CONSTRUCCION DE LA BANDEJA	
D-10	232
VISTA SUPERIOR DE LA CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO	
D-11	233
CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO.	
D-12	234
BANDEJA DE DESTILACION (TRAZADO)	
D-13	235
DESTILADOR SOLAR/LEÑA (VISTA EN CORTE)	

INTRODUCCION

BIBLIOTECA

Los requerimientos energéticos domésticos en las zonas rurales del Ecuador y de buena parte de los países andinos se satisfacen a través del uso de la leña, la cual es empleada principalmente en labores relativas a la cocción y a la preservación de alimentos. Por otro lado empiezan a aparecer programas de diseminación de nuevas tecnologías referentes a las llamadas fuentes no tradicionales de energía.

Lo anterior ha motivado que en la ESPOL se desarrollen trabajos de investigación que tienden a utilizar nuestros recursos en forma eficiente, entre ellos la leña.

Para ello se realizó el diseño, construcción y pruebas de un sistema simple para suministro de agua potable usando energía solar y de leña o biogas para el proceso de calentamiento/evaporativo. Se pretende modificar el proceso de un destilador solar convencional o de simple efecto de tal manera que se pueda aumentar la producción de agua por medio de cantidades razonables de leña o biogas, sin que se requiera energía mecánica o eléctrica adicional.

Por otra parte, ésta instalación tiene la ventaja de adaptarse a las condiciones del medio rural, siendo sumamente sencilla su construcción, operación y mantenimiento, además puede incorporar apropiadamente el u

so eficiente de leña, y está dotado de la flexibilidad de uso de energía solar y biogas.

BIOMASA

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Generalidades y Objetivos

La destilación de agua por medio de la energía solar es una tecnología solar muy antigua. Exceptuando algunos lugares de condiciones especiales tales islas y zonas donde no cuentan con este servicio ha despertado el interés por éstas técnicas cuando se sintió la necesidad de ellas como consecuencia del crecimiento demográfico en regiones áridas como también por la elevación general del nivel de vida.

En muchas partes del mundo hay falta de agua; incluso en lugares en donde ahora el agua es abundante, existe preocupación por el suministro en el futuro. La expansión de la población hacia tierras áridas se facilitará con la conversión del agua de mar ó salada en agua potable en los lugares donde no existe ahora agua de ningún tipo.

La conversión del agua salada en agua dulce es posible técnicamente y razonablemente sencilla. Aparentemente son menores las posibilidades de utilizar agua salada desmineralizada para usos agrícolas, pero existen lugares con falta de agua en que la conversión de agua salada en agua dulce puede ser útil y un éxito económico si se suministran 4 litros por persona y día para beber ó de 20 a 40 litros dia-

rios por persona para usos generales incluyendo agua para algunos animales. Para unidades pequeñas de algunos litros al día, la destilación solar es quizá la más económica, el propósito de ésta investigación es obtener una idea de los progresos y posibilidades de la destilación solar en estas unidades.

Como en muchas aplicaciones de la energía solar, ahora es el momento oportuno de empezar en algunos lugares en donde se dan condiciones únicas de costos competitivos. Con la experiencia que se obtenga en esos sitios será posible reducir los costos de manera que se puedan extender las aplicaciones solares a otros lugares en el futuro.

Existen varias técnicas posibles para obtener agua potable a partir del agua salada que incluye la destilación con energía solar ó con combustibles y alambiques de condensación sencilla ó múltiple, compresión del vapor, centrifugación, cambio iónico, tratamientos electroquímicos, electrodiálisis, extracción de solventes, congelamiento y otros. Muchos barcos destilan el agua de mar y existen grandes plantas que destilan más de 4 millones de litros por día de agua de mar con fuel oil.

1.2. Justificación del Proyecto

En el presente trabajo se combina el uso de un combustible

directamente obtenible como leña y biogas con el uso de energía solar. Un esquema de éste tipo demuestra su factibilidad y beneficio de operación, por lo que significa una contribución efectiva en la satisfacción de una necesidad básica como es la provisión de agua.

En las zonas rurales se presentan casos en que el empleo de la leña es irracional, especialmente para cocción de alimentos y otros usos, mediante un buen diseño la energía calórica producto de la combustión puede ser aprovechada en mayor proporción, además el uso de leña en destiladores evaporativos sirve para la producción de agua destilada. Los gases de combustión en un sistema de éste tipo permanece separado del agua salina en el equipo.

Se trata de diseñar un sistema térmicamente eficiente que aproveche buena parte de la energía proveniente de la quema de éste combustible vegetal.

La destilación de agua por tanto es apropiada en regiones rurales donde se pueda dar un uso racional de la leña. Además la eficiencia de los fogones abiertos de tipo convencional fluctúa entre 5 al 15%. En éste trabajo se aspira a lograr un diseño que por su misma construcción aproveche por lo menos del 30 al 50% de la energía del combustible.

El aumento elevado del consumo de leña en un esquema de este tipo es un tanto alto, se espera que la diseminación de esquemas de eficiencia mejorada tendrán realmente incidencia en la disminución del consumo, ya que permitirá rediseñar algunos de los otros esquemas convencionales de uso de leña, cuya característica es la notable baja eficiencia.

1.3. Alcance del Proyecto

En los destiladores solares de tipo rural, agua potable se genera por medio de un proceso de evaporación seguido de una condensación y recolección en un recipiente apropiado

El destilador solar básico consiste de una bandeja de poca profundidad provista de una cubierta de vidrio, el calor solar promueve la evaporación, condensándose sobre la parte inferior de la cubierta.

La construcción es muy simple, pero su producción es limitada. Experimentos realizados en la ESPOL (17) demuestran que para el área de Guayaquil la producción de un destilador simple de éste tipo produce un promedio de 2.5 a 3 litros de agua por día, sin incluir las aguas lluvias que podrían recogerse por cada metro cuadrado del destilador.

En el presente proyecto se tratará de diseñar un destilador

calentador, que permita proveer los requerimientos de agua sinelevar exageradamente el tamaño del utensilio.

Para ello se aprovechará de un diseño combinado que permita introducir el uso de leña y biogas para acelerar el calentamiento. Se tratará así mismo, de optimizar el diseño para que el consumo de leña sea razonable.

1.4. Factibilidad ✓

El problema más grave que afecta a los pobladores de extensas regiones especialmente en el Litoral Ecuatoriano, es la falta de agua para consumo humano.

En varios lugares del mundo se obtiene agua potable a partir del agua de mar, la misma que es destilada usando varios métodos. Los procesos de destilación requieren de grandes cantidades de energía para llevarse a cabo, y una forma de aprovechar una energía renovable es la aplicación de la energía solar, ya que su uso ha probado ser una buena solución.

La destilación de agua consiste en captar la radiación solar del medio valiéndose de placas colectoras y ese calor transmitir al agua salada contenida en el destilador, para obtener así su evaporación; luego se condensa éste vapor y

se recolecta en un recipiente apropiado, de ésta manera se obtiene agua para diversos usos.

Para poner en práctica éste método es necesario poseer datos de los parámetros que más influyen en el proceso como son:

Radiación solar, velocidad del viento, temperatura ambiental, etc.

La obtención de agua pura a partir del agua de mar, río ó pozo es posible mediante la destilación solar ya que nuestro país está ubicado en la zona ecuatorial, podemos aprovechar ésta fuente inagotable de energía que es favorecido con una gran cantidad de radiación solar.

1.5. Análisis de Requerimiento de Agua

Los requerimientos de agua potable para bebida y cocción de alimentos así como de agua semi-potable (para lavado de alimentos, aseo personal) varían de acuerdo a las regiones. Una cifra apropiada para nuestro medio puede ser de 20 litros de agua potable y 40 litros de agua semipotable por día para una familia de 5 - 6 miembros.

En base a las consideraciones anteriores, se requiere un destilador solar con un área de entre 6 a 8 metros para pro

veer del agua potable para consumo diario de una familia promedio.

Si adicionalmente se desea proveer de agua semipotable, el área del destilador será mayor. Por lo que se analizará un sistema que provea de la suficiente cantidad de agua sin elevar demasiado los requerimientos del área del sistema.

CAPITULO II

2. DESTILACION

2.1. Agua pura Su proceso de obtención

El destilador básico consiste en un recipiente en el que el agua mantiene poca profundidad y se evapora por la acción del calor solar que incide sobre ella. El recipiente se en encuentra dotado de una cubierta de vidrio ó plástico transparente que permite por un lado el paso de la energía solar y por otro provee de una superficie, en cuya cara interna se condensa el vapor de agua. La construcción es relativamente simple y se requiere de poco mantenimiento.

El destilador solar está sujeto a trabajar con agua de mar, río ó pozo. La destilación del agua admite dos enfoques muy diversos: uno integrado de tecnología sencilla, por el que una instalación de un sólo elemento sirve para captar energía solar y utilizarla para evaporar el agua con un rendimiento bajo y un costo de inversión también bajo, y uno de tecnología más compleja y más costosa, ambos procesos se llevan a cabo separadamente mediante sistemas especiales y diseñados para optimizar los rendimientos.

Para construir un alambique solar del tipo más elemental basta con una lámina flexible de plástico (polietileno) de 1 metro cuadrado, una pequeña batea, una piedra y un azadón.

El azadón se utiliza para excavar un agujero cónico redondo en el suelo. A éste agujero se cubre con la lámina de plástico que se sujeta apilando tierra sobre sus bordes. Se coloca la batea en el centro del agujero para coleccionar en ella el agua que gotea de la lámina de plástico, cargada en su centro con la piedra.

No es necesario alimentar el sistema descrito con agua ya que el fenómeno de la capilaridad y los gradientes de temperatura y humedad del suelo son suficientes.

Existen otros procesos mediante los cuales se obtiene agua dulce que a continuación se detalla:

Captación indirecta de la energía solar.- La captación y su transformación para separar el agua de las sales disueltas, requiere el empleo de colectores de placa plana en una planta desalinizadora tradicional del tipo multifásico, multiefecto ó por compresión de vapor.

Los colectores de placa plana son iguales a los que se encuentran en el mercado para proporcionar agua caliente a las viviendas. No es necesario tomar medidas especiales para elevar la temperatura operacional del sistema, puesto que actualmente la temperatura operacional máxima de las

plantas de destilación es de 90°C .

Proceso de descenso multifásico de la temperatura.- En éste proceso se calienta previamente el agua de mar mediante un intercambio térmico con los vapores del agua dulce en fase de condensación, recibiendo seguidamente la salmuera así calentada el calor derivado de la energía solar, que eleva su temperatura a 70 ó 90°C . A continuación se hace descender gradualmente la presión de la salmuera en una serie de recipientes por los que pasa el haz de tubos del precalentador, Fig. 2.1.1. Se recoge el agua dulce condensada que gotea del haz del precalentador y se hace circular a través de la cadena de recipientes para recuperar su calor sensible.

Las fases de presión máxima y mínima se mantienen alrededor de 0.8 bar y de 0.05 a 0.07 bar, respectivamente, y el número de fases será el necesario para poder fraccionar el descenso total de la temperatura entre el colector caliente y el agua fría del mar en descensos ó caídas de temperaturas de 2°C por cada fase.

Proceso multiefecto.- Este proceso (Fig. 2.1.2) requiere también una serie de recipientes cuya presión y temperatura van descendiendo progresivamente.

La fase más caliente del proceso está alimentada directa

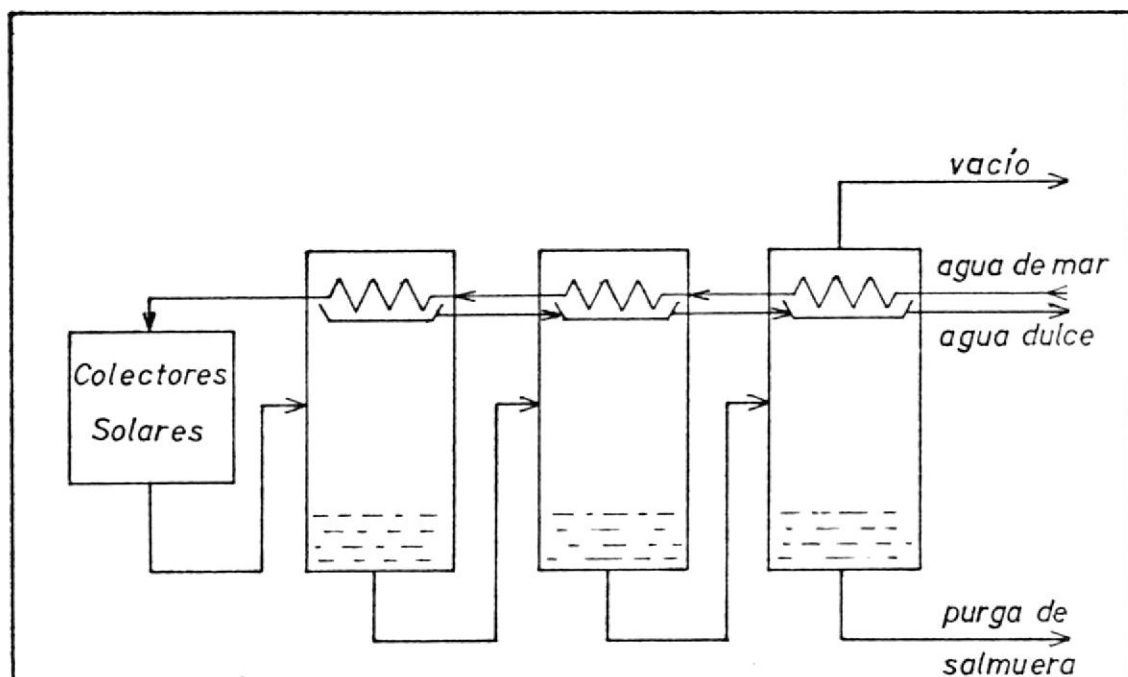


FIG. 2.1.1 CAIDA MULTIFASICA

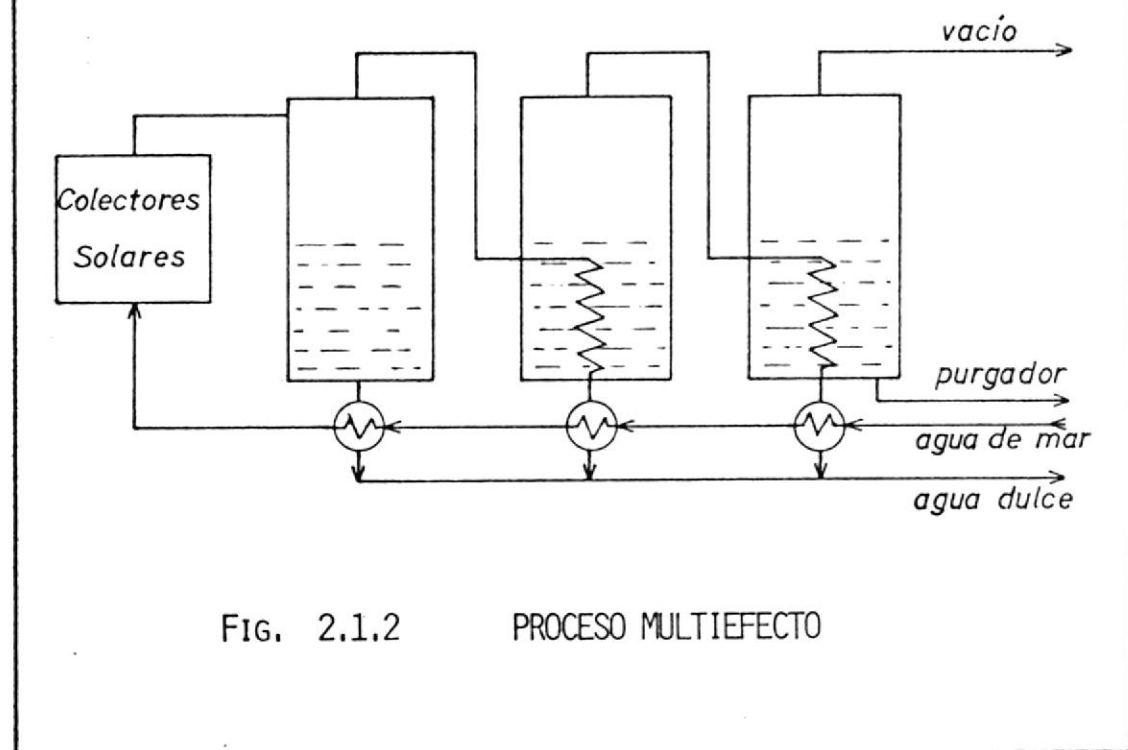


FIG. 2.1.2 PROCESO MULTIEFECTO

mente por el colector solar, y la fase más fría se mantiene a una temperatura ambiente del mar. La producción de vapor de la primera fase pasa a través de un haz de tubos al recipiente siguiente para calentar el líquido en la fase siguiente.

De éste modo se recupera el calor latente de cada fase. La diferencia de temperatura entre cada dos fases es del orden de los 5.6 a 8.3°C, y para ello rara vez se utiliza más de 5 a 10 fases.

Otros procesos

En el proceso por compresión de vapor se recupera calor extrayendo vapor de una fase elevando su nivel térmico mediante un compresor (centrífugo ó por eyector de vapor), y alimentándolo como vapor de calefacción a la fase de la que procede ó a otra fase.

En el proceso de humectación y deshumectación, se calienta el agua de mar en colectores solares, saturándose el aire ambiente en una torre de rectificación de relleno en contracorriente, recuperándose el agua dulce al refrigerarse el aire húmedo en un condensador que recupera parte del calor, pasando al agua de mar que se alimenta a los colectores solares.

2.2. Funcionamiento del Destilador

El principio es sencillo, el agua que se encuentra en la bandeja debido a la incidencia de la radiación solar sobre ésta ó al calor recibido por la transferencia de calor producto de la combustión de leña ó biogas, experimenta una elevación de temperatura, el aire en el interior empieza a humedecerse hasta que alcanza su punto de saturación, de tal forma que el espacio entre la cubierta de vidrio y la superficie del agua es llenado por una mezcla de vapor de agua y aire, el vapor de agua se condensa en la cara inferior del techo y corre hacia los canalones que conducen el agua destilada a un recipiente apropiado.

La cubierta de vidrio funciona como una trampa para el calor, es transparente a la luz solar incidente pero opaco a la radiación infrarroja emitida por el agua caliente, además impide que se escape el vapor y que los vientos enfríen el agua salada. El agua humedece la cara inferior del vidrio formándose una película uniforme de líquido.

La formación de la película de agua impide las pérdidas de agua por gotas que caen del techo a la bandeja.

Se utiliza un techo con cierta inclinación de tal manera que ofrezca la mayor ganancia de calor (captación de la energía solar) para obtener un alto rendimiento y por ende una mayor producción de condensado en comparación con el

destilador convencional.

La cantidad de vapor de agua contenido en la mezcla depende fundamentalmente de las temperaturas de las superficies de evaporación y condensación. La evaporación y condensación se produce en una fina capa de la mezcla de vapor de agua-aire próxima a la superficie del agua y la cubierta respectivamente, y se encuentran relacionadas de tal forma que un cambio en la evaporación afecta a la condensación y viceversa, por lo que estos procesos se analizan en conjunto.

El agua remanente debe vaciarse cada pocos días, antes que la cristalización de la sal de comienzo, y se llena la bandeja con agua nueva.

En este tipo de destilador de condensación interna no se puede utilizar doble cubierta porque el techo debe mantenerse en ellos relativamente frío para que se produzca la condensación del vapor de agua.

2.3. Requerimiento de Energía en el Proceso Evaporativo

Como puede describirse de la Fig. 2.3.1 pequeñas porciones de radiación solar directa y difusa que llegan al destilador es reflejada y absorbida por la cubierta. Una pequeña

parte es reflejada desde la superficie del agua y del fondo del depósito. También parte de ésta (porción de onda larga) es absorbida en el agua, el resto es absorbido sobre el fondo del depósito.

La mayor parte de la radiación incidente sobre la superficie del fondo es transferida al agua salina, pequeñas porciones pasan acaso y se pierden por conducción a la parte inferior del depósito y a través de los lados del destilador.

El agua salobre calentada pierde energía por diversos procesos, la radiación infrarroja desde la superficie del agua es en todo caso absorbida ó en cierto modo transmitida por la cubierta dependiendo de las propiedades de la cubierta.

El diagrama de energía del destilador es mostrado en la Fig. 2.3.2. El destilador solar ideal es definido como uno que no tiene pérdidas de conductividad, que la altura del líquido es suficientemente pequeña para que el calor sensible almacenado sea despreciable en comparación con las tasas de transferencia de energía al y desde el agua.

Para una temperatura ambiente dada, velocidad de viento (el cual determina el coeficiente de convección externo) y tasa de radiación solar, tal destilador podrá alcanzar instantáneamente una condición de estado estable.

Asumiendo además que:

- a) El aire húmedo del interior del destilador no puede salir a través de endijas en los bordes de la cubierta (sello perfecto).
- b) Que el agua salada no pueda salir de la bandeja y que el destilado no puede escapar hacia el fondo dentro de la bandeja.

Balance de calor en la base

Un balance de energía sobre el agua en la misma bandeja por unidad de área puede ser escrita:

$$H_c \alpha_{nw} = q_e + q_{r,w-g} + q_{c,w-g} + (q_k) + (mc_p)_w \frac{dT_w}{dt}$$

(2.3.1)

Balance de energía sobre la cubierta

Tomando en cuenta su capacitancia y la energía solar absorbida por ésta puede ser escrita como:

$$q_e + q_{r,w-g} + q_{c,w-g} + \alpha_v H_c = q_{c,g-a} + q_{r,g-a}$$

(2.3.2)

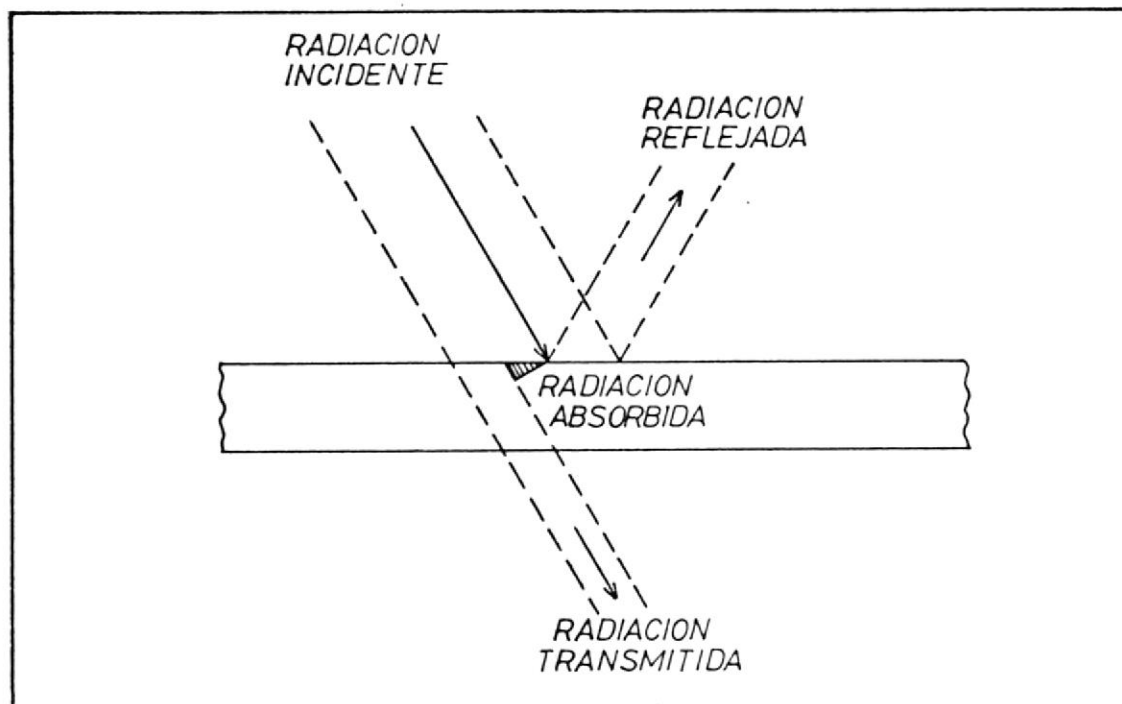


FIG. 2.3.1 TRANSMISION, ABSORCION Y REFLEXION

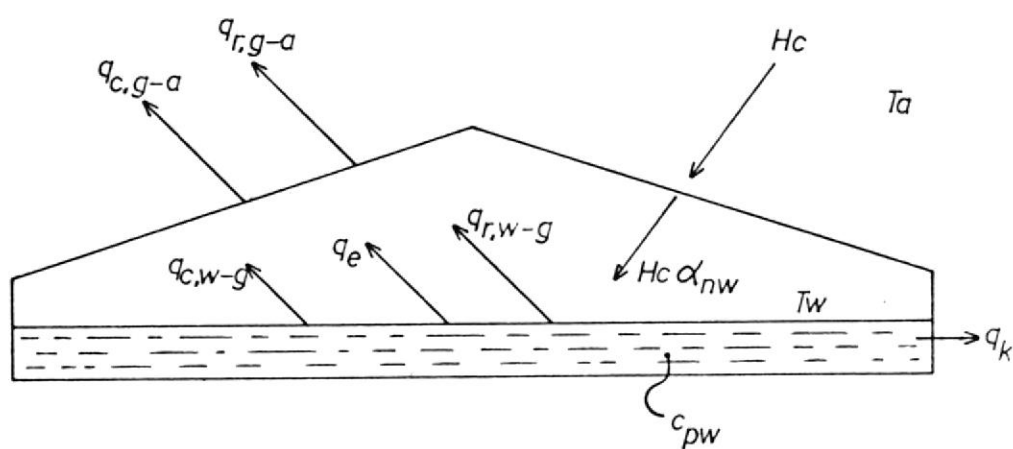


FIG. 2.3.2 FLUJO DE CALOR PARA UN D.S.

Las dos ecuaciones son análogas a las ecuaciones usadas para colectores solares de placa plana. El calor por evaporación q_e no es una función lineal de la diferencia de temperatura entre la placa y el vidrio, por lo tanto las dos ecuaciones deben ser resueltas simultáneamente para hallar T_w , T_c y q_e como función del tiempo.

Según (4), solamente utilizando asunciones básicas define los factores de intercambio neto de calor entre superficies en forma general:

$$q_{r,wg} = \frac{\sigma (T_w^4 - T_g^4)}{\frac{1 - \epsilon_w}{\epsilon_w A_w} + \frac{1}{A_w F_{w-g}} + \frac{1 - \epsilon_g}{\epsilon_g A_g}} \quad (2.3.3)$$

Para radiación entre dos placas paralelas separadas por u una distancia finita, el área A_g y el área A_w son iguales, el factor F_{w-g} es la unidad. En este caso la Ec. (2.3.3) se transforma en:

$$Q_{r,w-g} = \frac{\sigma (T_w^4 - T_g^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \quad (2.3.4)$$

Para espesores mayores a 0.1 mm. y temperaturas de 38°C el valor de $\epsilon_w = 0.96$. De (5) tabla 4.1 la emisividad del vi

drio a 22°C es $\epsilon_g = 0.937$.

Reemplazando en la ecuación (2.3.4) :

$$q_{r,w-g} = 0.9 \sigma (T_w^4 - T_g^4) \quad (2.3.5)$$

La fórmula (2.3.5) también es recomendada por (5).

Para estimar la transferencia de calor por convección desde la bandeja hasta la cubierta $q_{c,w-g}$, sugiere (5) que el número de Rayleigh normal debe ser modificado para considerar los efectos de Boyantes debido a que transferencia de calor y masa ocurre en forma simultánea.

El término de Boyantes en el número de Grashof es modificado por el gradiente de densidad causado por el gradiente de composición (adicional al gradiente de temperatura). Una relación entre los números de Nusselt y Rayleigh en una capa de aire horizontal encerrada es:

$$Nu = 0.075 (Ra)^{1/3} \quad (2.3.6)$$

La diferencia de temperatura en el número de Rayleigh,

$\Delta T'$ es una diferencia de temperatura equivalente, si consideramos la diferencia de densidad debido a la diferencia de concentración en el vapor de agua. Para aire y agua es:

$$\Delta T' = (T_w - T_g) + \left[\frac{P_{wb} - P_{wg}}{2016 - P_{wb}} \right] T_w \quad (2.3.7)$$

En la ecuación (2.3.7) P_{wb} y P_{wg} son la presión de vapor en mm. de H_g de la solución en la bandeja a T_w y el agua a la temperatura de la cubierta T_g , las temperaturas están en °K.

De las ecuaciones (2.3.6) y (2.3.7) el coeficiente de convección en un destilador es:

$$h'_c = 0.884 \left[T_w - T_g + \frac{P_{wb} - P_{wg}}{2016 - P_{wb}} T_w \right]^{1/3} \quad (2.3.8)$$

La transferencia de calor por convección desde la bandeja hasta la cubierta es:

$$q_{c,w-g} = h'_c (T_w - T_g) \quad (2.3.9)$$

La transferencia de calor por evaporación-condensación es:

$$q_e = 9.15 * 10^{-7} h'_c (P_{wb} - P_{wg}) h_{fg} \quad (2.3.10)$$

donde h_{fg} es el calor latente del agua en J/Kg.

Los modos externos de convección y radiación $q_{c,g-a}$ y $q_{r,g-a}$

son expresados como:

$$q_{c,g-a} = h_{va} (T_g - T_a) \quad (2.3.11)$$

El coeficiente de convección externo es h_{va} y es una función de la velocidad del viento donde:

$$h_{va} = 5.7 + 3.8 V \quad (2.3.12)$$

$$q_{r,g-a} = \epsilon_g \sigma (T_g^4 - T_c^4) \quad (2.3.13)$$

T_c es la temperatura aparente del cielo para el intercambio de radiación de ondalarga, la relación propuesta por (12) para determinar la temperatura del cielo es la siguiente:

$$T_{\text{cielo}} = 0.0552 (T_a)^{1.5} \quad (2.3.14)$$

donde T_a está en °K.

Un valor de 0.85 es usado para ϵ_g por lo que la ecuación (2.3.13) se transforma en :

$$q_{r,g-a} = 0.85 \sigma [T_g^4 - T_c^4] \quad (2.3.15)$$

σ es la constante de Stefan Boltzmann y su valor es

$$\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Considerando que existe una solución no explícita para las ecuaciones (2.3.3) a la(2.3.11) se puede calcular la tasa de producción para una tasa de radiación dada y una temperatura ambiente usando una técnica iterativa, para un rango de temperatura ambiente entre 0°C y 50°C. La demarcación de temperatura entre 20°C y 50°C representa una limitación para la temperatura del agua de 90°C en cada caso.

Por analogía entre transferencia de calor y masa, la tasa de transferencia de masa puede ser escrita como:

$$m_d = 9.15 \times 10^{-7} h'_c (P_{wb} - P_{wg}) \quad (2.3.16)$$

m_d es la tasa de transferencia de masa en Kg/m² seg.

Los términos de transferencia de calor de la cubierta al ambiente son formulados de igual manera que para un colector de placa plana.

El destilador tiene aislante bajo la bandeja, las pérdidas de calor con el suelo puede ser escrita como:

$$q_k = U_g (T_w - T_a) \quad (2.3.17)$$

Donde U_g es el coeficiente total de pérdidas asumiendo que el suelo está a una temperatura igual a la del ambiente.

Trataremos que este término sea lo más pequeño posible ya que esto significa un destilador bien diseñado.

La bandeja es poco profunda y está bien aislada, el término de capacidad de calor en la ecuación (2.3.1) puede ser despreciado y se establece la solución de estado estable. Por razones prácticas, si la bandeja tiene suficiente altura, la capacitancia de la bandeja debe ser considerada. Si el destilador no está bien aislado, una capacitancia del suelo tendría también que ser considerada.

Todas estas ecuaciones con los datos de radiación solar, temperatura y velocidad de viento y con los parámetros de diseño del destilador serán resueltos para T_w como una función del tiempo, y la productividad es luego calculada por medio de la ecuación (2.3.16)

Este análisis no incluye las tasas de capacitancia del agua de alimentación y salida de salmuera y producto, como tampoco los efectos en los bordes y los escapes, los cuales dificultan la formulación, estos son a menudo agrupados en un solo término que se determina experimentalmente y que es requerido para llegar a cerrar el balance energético.

Partiendo de la ecuación (2.3.17) las pérdidas de calor a través de las paredes laterales y la base se resume de la siguiente manera:

$$q_k = q_s + q_b \quad (2.3.18)$$

$$q_k = U_s (T_w - T_a) + U_b (T_w - T_a) \quad (2.3.19)$$

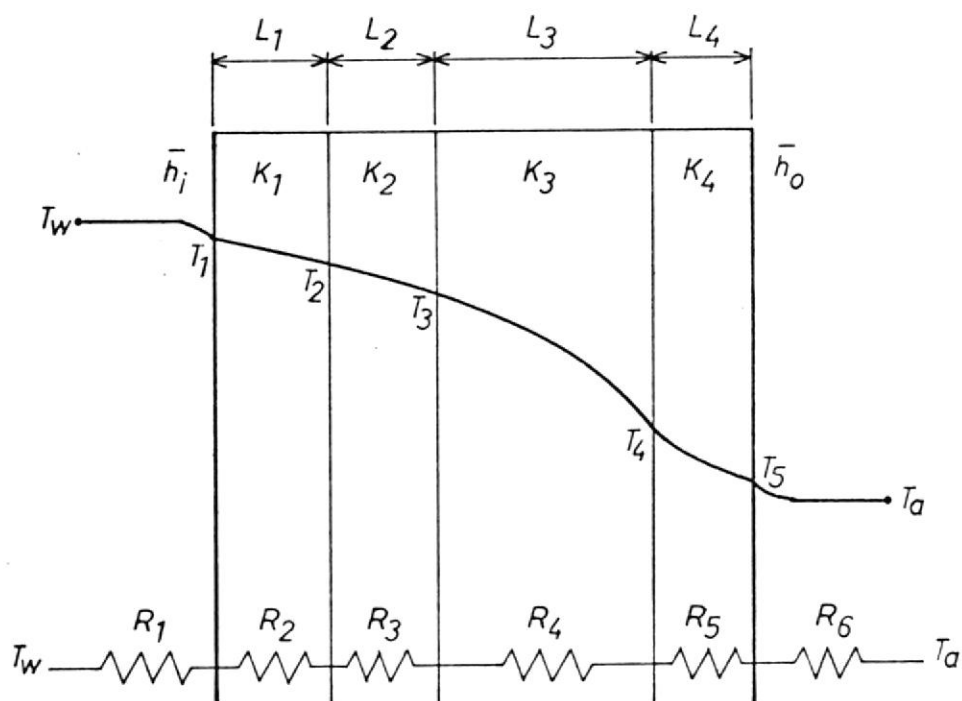
Donde U_s y U_b son los coeficientes de pérdidas por los la dos y la base respectivamente, por lo tanto estamos en la necesidad de determinar los factores que influyen en el cálculo de los coeficientes.

Pérdidas por las paredes laterales:

La Fig. 2.3.3 representa una pared compuesta en la que la placa interior está expuesta a la temperatura del agua, es acero inoxidable. La capa 2 es asbesto-cemento, la capa 3 es lana de vidrio y la capa 4 es de hierro galvanizado que sirve para protección del aislante.

La temperatura del agua es T_w y la conductancia por unidad de superficie interior es h_i , la temperatura a la que está expuesto el destilador es la ambiental T_a y la conductancia por unidad de superficie exterior es h_o . Bajo estas condi ciones, habrá flujo continuo de calor desde el agua hasta el exterior a través de la pared.

Como el flujo de calor a través de una área es el mismo para cualquier sección, obtenemos:



CIRCUITO TERMICO

FIG. 2.3.3 DISTRIBUCION DE TEMPERATURA PARA EL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE UNA SERIE DE PAREDES PLANAS

$$\begin{aligned}
 q &= h_i A_1 (T_w - T_1) = \frac{K_1 A_1}{L_1} (T_1 - T_2) = \frac{K_2 A_1}{L_2} (T_2 - T_3) = \\
 &\frac{K_3 A_1}{L_3} (T_3 - T_4) = \frac{K_4 A_1}{L_4} (T_4 - T_5) = h_o A_1 \\
 &(T_5 - T_a) \qquad \qquad \qquad (2.3.20)
 \end{aligned}$$

De acuerdo a la Fig. 2.3.3 los símbolos de la ecuación (2.3.20) pueden ser identificados y por lo tanto puede ser enunciada en términos de las resistencias de las diferentes secciones.

$$q = \frac{T_w - T_1}{R_1} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} = \frac{T_2 - T_3}{R_3} = \frac{T_3 - T_4}{R_4} = \frac{T_4 - T_5}{R_5} = \frac{T_5 - T_a}{R_6} \quad (2.3.21)$$

Las resistencias pueden determinarse a partir de las ecuaciones (2.3.20) y (2.3.21) comparando los términos correspondientes. Resolviendo la ecuación (2.3.21) para diversas temperaturas se obtiene:

$$\begin{aligned}
 T_w - T_1 &= q R_1 \\
 T_1 - T_2 &= q R_2 \\
 T_2 - T_3 &= q R_3 \\
 T_3 - T_4 &= q R_4 \\
 T_4 - T_5 &= q R_5 \\
 T_5 - T_6 &= q R_6
 \end{aligned} \qquad \qquad \qquad (2.3.22)$$

Sumando las ecuaciones miembro a miembro obtenemos:

$$T_w - T_a = q(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6) \quad (2.3.23)$$

por lo que:

$$q = \frac{T_w - T_a}{\sum_{n=1}^6 R_n} \quad (2.3.24)$$

La expresión de la ecuación (2.3.24) en el sentido de que el flujo de calor a través de las secciones planas en serie es igual al potencial total de temperatura dividido entre la suma de las resistencias térmicas de la trayectoria del flujo de calor (11).

Donde:

- h_i = Conductancia por unidad de superficie interior, $W/m^2 \cdot ^\circ K$
- K_1 = Conductividad térmica del material 1, $W/m \cdot ^\circ K$
- K_2 = Conductividad térmica del material 2, $W/m \cdot ^\circ K$
- K_3 = Conductividad térmica del material 3, $W/m \cdot ^\circ K$
- K_4 = Conductividad térmica del material 4, $W/m \cdot ^\circ K$
- h_o = Conductancia por unidad de superficie exterior, $W/m^2 \cdot ^\circ K$
- L_1 = Espesor del material 1, m.
- L_2 = Espesor del aislamiento térmico 1, m.
- L_3 = Espesor del aislamiento térmico 2, m.

- L_4 = Espesor del material 2, m.
 T_w = Temperatura del agua, °C.
 T_a = Temperatura del ambiente, °C

Eficiencia

La eficiencia global de un destilador está definida como la relación de la transferencia de calor en el destilador por evaporación-condensación a la radiación solar global incidente sobre el destilador.

$$\eta_o = \frac{q_e}{H_c} \quad (2.3.25)$$

Esta es generalmente integrada sobre un período extenso (día ó mes) para indicar el rendimiento para períodos largos. Si hay algunas pérdidas del agua producida con el fondo dentro del destilador (por goteo desde la cubierta ó escape desde el canal de recolección), menos producto podrá estar disponible.

La eficiencia de mediciones experimentales es:

$$\eta_{me} = \frac{\dot{m}_p h_{fg}}{H_c} \quad (2.3.26)$$

$\dot{m}_p = \alpha \times 10^{-2} h_c (P_{wt} - P_{wg})$
 $\dot{m}_p \leq \dot{m}_d$

donde \dot{m}_p es la tasa con la cual el destilado es producido

en el destilador, que puede ser menor a \dot{m}_d , h_{fg} es calor latente de vaporización promedio del agua durante el período de prueba.

La eficiencia interna del sistema está definida como la relación entre la energía aprovechada por el agua en la evaporación a la energía total tomada por ésta (incluye la energía que pierde el agua por conducción, convección y radiación). (17).

$$\eta_i = \frac{q_e}{\alpha_{nw} H_c} \quad (2.3.27)$$

$$q_e = \dot{m}_p (h_{fg})_p \quad (2.3.28)$$

$$\eta_i = \frac{\dot{m}_p (h_{fg})_p}{\alpha_{nw} H_c} \quad (2.3.29)$$

donde α_{nw} es la absorptividad neta del agua, y es escrita como:

$$\begin{aligned} \alpha_{nw} &= \tau_g \alpha_w + \tau_g \tau_w \alpha_{pc} \quad (2.3.30) \\ &= \tau_g (\alpha_w + \tau_w \alpha_{pc}) \end{aligned}$$

$$\tau_g = \tau_1 f_1 + \tau_2 f_2 \quad (2.3.31)$$

También

$$\alpha_g = \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 \quad (2.3.32)$$

El objetivo del diseño del destilador es maximizar q_e ó también \dot{m}_d el cual es proporcional a la diferencia de presión de vapor.

Es deseable que la temperatura en la bandeja sea lo más alta posible, ya que con ésta se incrementa la razón de transferencia de calor por evaporación-condensación en comparación con las de convección y radiación. Bandejas con pequeña altura y capacidad térmica se calientan más rápidamente que las bandejas profundas y operan a temperaturas medias altas.

2.4. Clasificación de los Destiladores

Los destiladores solares con bandeja horizontal son relativamente simples aparatos fáciles de construir y operar.

La energía es libre y los costos de equipamientos para interceptar y usar ésta energía de baja densidad y bajo grado térmico son un tanto altos.

Los destiladores solares se componen de partes principales como: cubierta transparente, estructura, bandeja de evaporación y sistema de recolección de condens

sado, etc. Para reducir las pérdidas se utiliza aislamiento y para garantizar un buen cierre de ellos, sellos.

Se han construido en varios países muchas plantas de destilación de diversos tamaños. En el año 1975 la Comisión de Energía Atómica publicó una lista cuyas ilustraciones son las siguientes: 2.5a - 2.5f

2.5. Uso de Destiladores en el área rural

La primera aplicación conocida de la destilación solar fue en 1872, cuando los destiladores de las Salinas en el desierto del Norte de Chile, arrancaron por tres décadas de operación para proveer agua consumible para los animales usados en las minas de nitrato.

Si bien es cierto que otros países trabajan con destiladores solares y tienen los conocimientos técnicos necesarios, también el éxito del sistema depende de la radiación incidente en el medio, por lo que la adecuada utilización de esta fuente energética, será para los ciudadanos un ahorro significativo, el uso racional de energía y una duración mucho mayor de las reservas energéticas tradicionales tales como el petróleo, carbón, leña, etc.

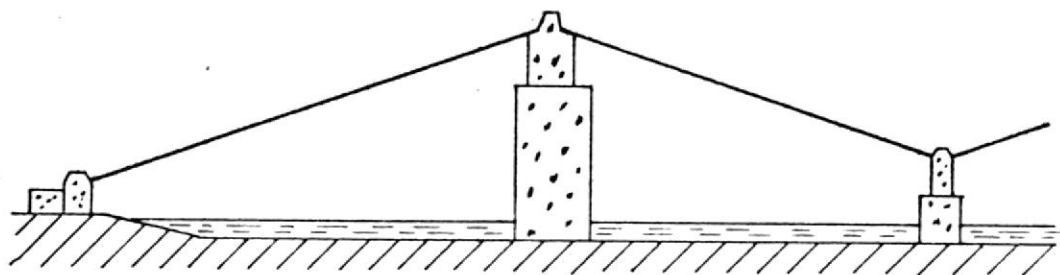


FIG. 2.5.a BATTLE - LOF

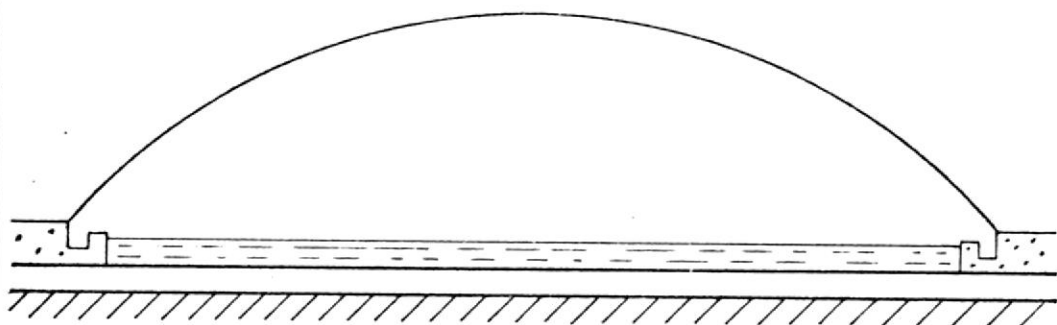


FIG. 2.5.b CUBIERTA DE PLASTICO HINCHADA

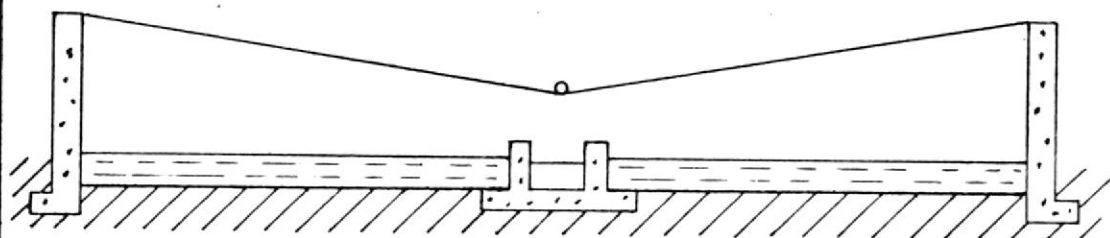


FIG. 2.5.c CUBIERTA DE PLASTICO EN FORMA DE V

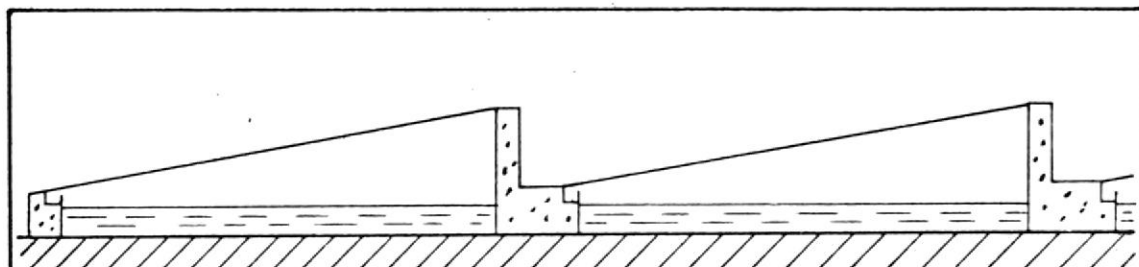


FIG. 2.5.d
PLASTICO TENSADO O CUBIERTA DE VIDRIO INCLINADA

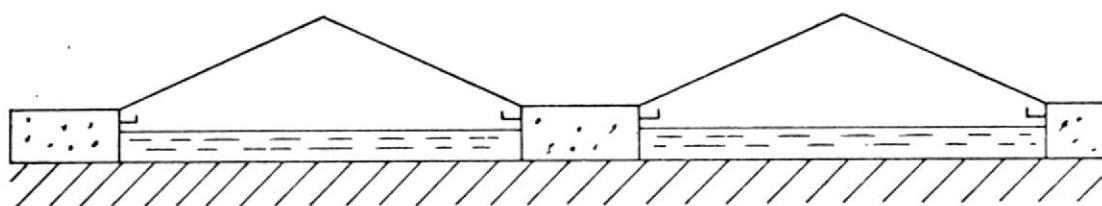


FIG. 2.5.e
CSIRO (AUSTRALIA)

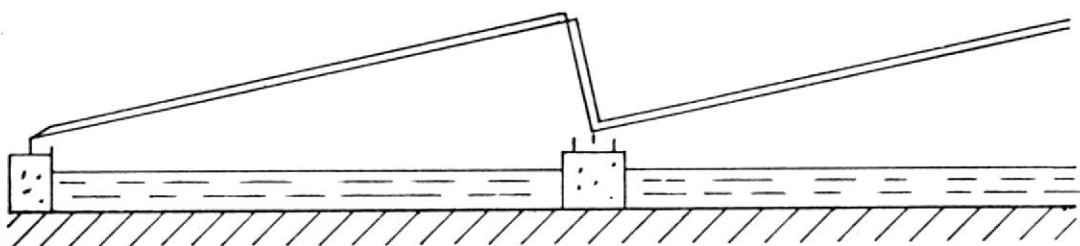


FIG. 2.5.f DELYANNIS

2.6. Selección del Sistema

Como se ha dicho anteriormente, la destilación solar en el Ecuador puede ser muy útil, entre ellas suministro de agua para uso doméstico, ganadería y agricultura, pero en nuestro medio a pesar de la aparente sencillez de la destilación, hay tantos inconvenientes presentes que todavía no hemos logrado superar.

Basándose en datos recopilados en anteriores estudios (17) y (18) podemos darnos cuenta del comportamiento del equipo si realizamos cambios en su construcción que son factores determinantes para elevar su rendimiento y producción de condensado.

La producción de agua potable a partir del agua salada por medio de destilación solar para usos domésticos requiere de varios litros por día de éste líquido; para ello se necesitará de destiladores con grandes dimensiones ó en su defecto trabajar con varios destiladores pequeños conectados en serie.

Entonces para reducir costos se proyecta construir un destilador tipo solar/leña-biogás de un metro cuadrado de área en el que el calor de combustión de la leña ó biogás es transferido al agua por medio de un intercambiador de ca

lor (caja de recirculación de humo).

Las ventajas que presenta dicho sistema en comparación con el destilador convencional se suponen las siguientes:

- a) Los costos de agua resultan mucho más reducidos
- b) Se ocupa menos espacio
- c) La producción está mucho menos sujeta a variaciones es
tacionales.
- d) Aumenta el rendimiento del destilador solar como conseu
cuencia de las mayores temperaturas de servicio.

CAPITULO III

3. FUENTES DE ENERGIA

3.1. Radiación Solar

Dentro de las energías renovables, una de las más importantes es la energía solar, la cual a más de su aplicación directa, es determinante para la existencia de otras tales como la eólica, biomasa.

La fuente básica para este tipo de energía es la estrella llamada SOL, cuya estructura y características determinan la naturaleza de la energía irradiada en el espacio.

El Sol puede ser considerado como una esfera con un diámetro de $1,39 \times 10^6$ Km. ubicado a una distancia promedio de 1.5×10^8 Km. desde la tierra. Visto desde la tierra gira sobre su propio eje, pero no lo hace como un sólido, así se tiene que su ecuador gira en aproximadamente 27 días y las regiones polares en 30 días.

Se estima que la temperatura de la superficie es de 5762°K mientras que en la región central interior se cree que está entre 8×10^5 y $40 \times 10^6^{\circ}\text{K.}$, en donde la densidad es de 80 a 100 veces la del agua.

El Sol puede ser considerado como un reactor de fusión con

tínuo, cuya energía es producida en el interior de la "esfera" a temperaturas de varios millones de grados.

La excentricidad de la órbita terrestre hace que la distancia Tierra-Sol varíe aproximadamente en 3%, lo que determina cambios climatológicos en la Tierra.

A la distancia promedio Tierra-Sol, el Sol subtiende un ángulo de 32' con relación a la Tierra, como se ve en la Fig. 3.1.1.

Las características del Sol y la distancia hasta la Tierra determinan que fuera de la atmósfera terrestre se tenga una intensidad de radiación solar prácticamente fija a la que se conoce como Constante Solar, que no es otra cosa que la energía radiada en una unidad de superficie perpendicular a la radiación; las estimaciones más recientes reportan un valor de 1353 W/m^2 .

La radiación mencionada corresponde a ondas electromagnéticas y su distribución de energía total dentro del espectro es muy importante para consideraciones relacionadas con las apliaciones de esta energía.

La Radiación Solar sobre la superficie de la Tierra es atenuada por varios factores:

- a) Variación de la distancia Tierra - Sol
- b) Variación por dispersión en la atmósfera debido a las moléculas de aire, agua-vapor.
- c) Variaciones por absorción en la atmósfera por parte del oxígeno, ozono, agua, dióxido de carbono, etc.

Las ondas electromagnéticas son subdivididas en varias clases de acuerdo con su longitud y frecuencia, dando lugar al espectro electromagnético Tabla 3.1.1, el cual va desde las ondas eléctricas de baja frecuencia y gran longitud de onda, hasta los rayos cósmicos de longitud de onda ultra corta y de muy alta frecuencia. (20).

La radiación de diferente longitud de onda penetra hasta diferentes niveles en la atmósfera de la Tierra, sin embargo, la rapidez con que la radiación solar alcanza la Tierra es menor, debido a los factores antes nombrados. Solamente unos pocos rangos de longitud de onda llegan hasta la superficie de nuestro planeta como puede verse en la Fig. 3.1.2.

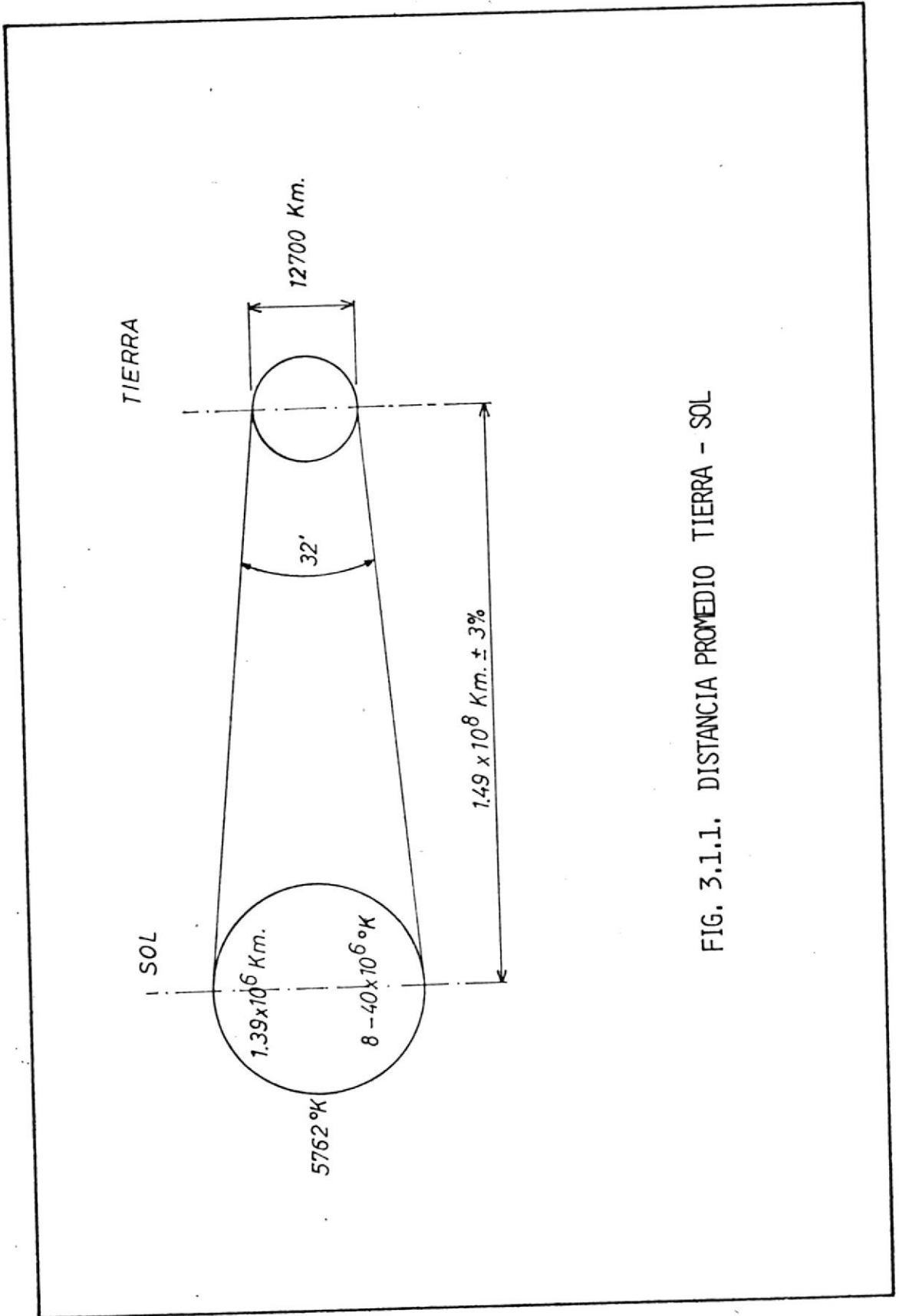


FIG. 3.1.1.1. DISTANCIA PROMEDIO TIERRA - SOL

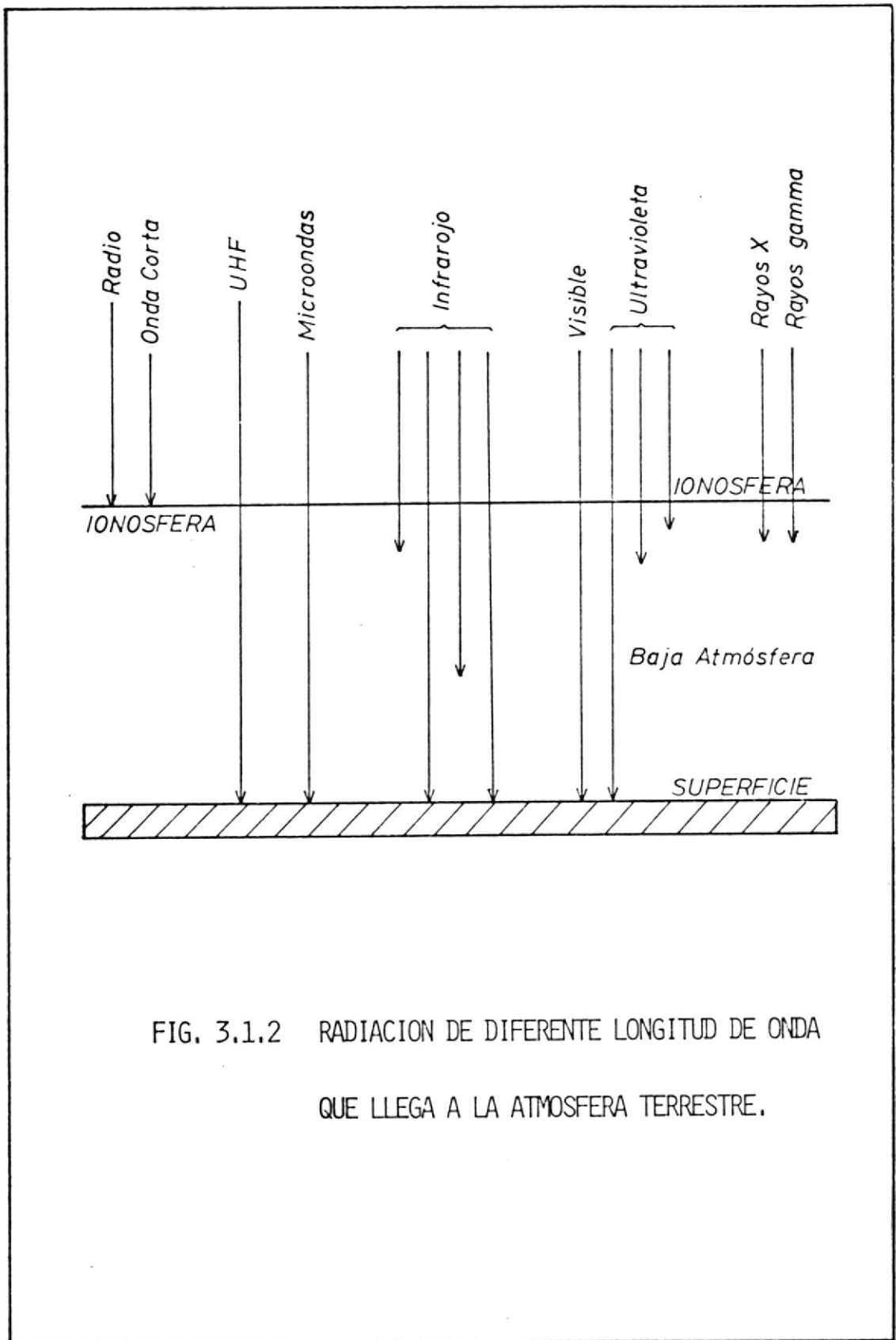


FIG. 3.1.2 RADIACION DE DIFERENTE LONGITUD DE ONDA
QUE LLEGA A LA ATMOSFERA TERRESTRE.

TABLA 3.1.1

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO DE ACUERDO CON LA LONGITUD DE ONDA

<u>LONGITUD DE ONDA</u>		<u>TIPO DE ONDA</u>
100	m.	Radio
10	m.	Onda corta
1	m.	Ultra alta frecuencia
10	cm.	-----
1	cm.	Microondas
100	micrones	-----
10	micrones	Infrarrojo
1	micrón	Visible
100	nanómetros	Ultravioleta
10	nanómetros	-----
1	nanómetro	
0.1	nanómetro	Rayos X
0.01	nanómetro	-----
10^{-3}	nanómetro	-----
10^{-4}	nanómetro	Rayos Gamma
10^{-5}	nanómetro	-----
10^{-6}	nanómetro	Rayos C3smicos

1 micr3n = 10^{-6} m.

1 nan3metro = 10^{-9} m.

3.2. Conversión de Energía Solar

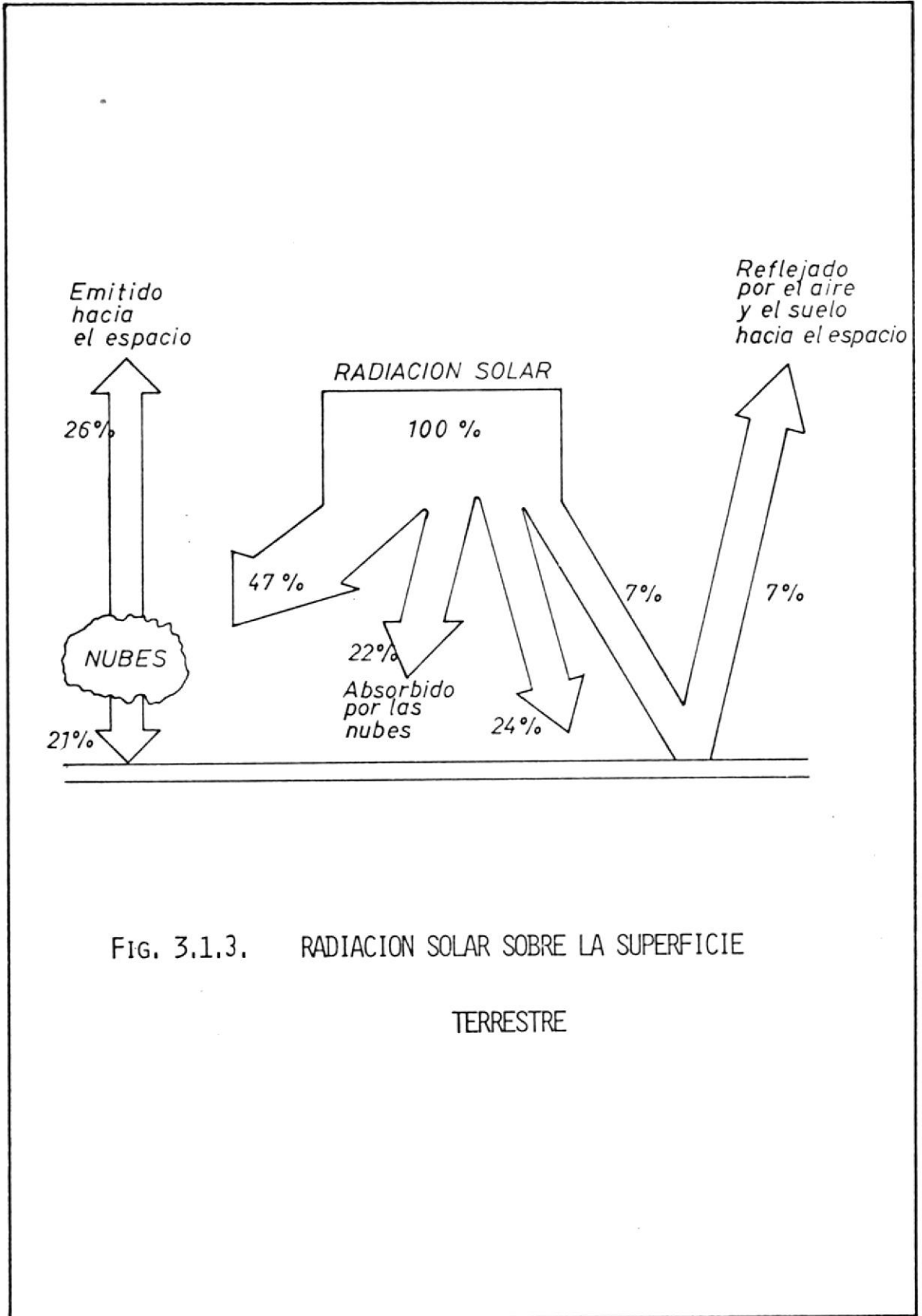
Cualquier utilización directa de la radiación solar para sistemas de calentamiento ó producción de potencia, requiere equipo capaz de absorber y almacenar energía a una temperatura suficientemente alta.

El equipo sugerido puede dividirse en tres grandes clases generales:

Colectores de placa plana, concentradores y generadores solares termoeléctricos.

Los primeros dos tipos de dispositivos usan radiación solar para calentar una sustancia de "trabajo", mientras que el último tipo convierte la energía solar radiante en energía eléctrica por medio de celdas fotoeléctricas del tipo fotovoltaico ó por medios termoeléctricos.

La energía solar captada por la Tierra es inmensa, sobrepasa los 170 trillones de Kw. De ésta cantidad 33% es reflejada al espacio, 43% convertido en calor a bajas temperaturas e irradiado al espacio, un 24% utilizado en el ciclo evaporación-precipitación de la biósfera, y menos del 0.5% es aprovechado como energía cinética en los vientos mares y fotosíntesis de las plantas.



La cantidad de radiación solar recibida por una superficie sobre la Tierra, depende de la posición geográfica, hora del día, época del año, estado del tiempo, inclinación de la superficie, contaminación ambiental, etc.

La radiación solar que es aprovechada sólo en el día, llega a la superficie de la Tierra como radiación directa y radiación difusa, donde parte de la radiación total es reflejada, por lo que es difícil obtener una elevada eficiencia.

Radiación directa ó de rayo: es la radiación que llega a la superficie terrestre sin que su trayectoria haya sido modificada.

Radiación difusa: es la radiación que llega a la superficie terrestre luego de ser absorbida, reflejada ó reemitida por la atmósfera.

Los colectores concentradores son parabólicos, semiesféricos, semicilíndricos, captan radiación directa y la difusa en menor cantidad que los colectores de placa plana. Para obtener rendimientos óptimos deben ser provistos de un mecanismo de seguimiento al Sol.

Aplicaciones

La energía solar puede ser aplicada en forma directa ó in directa, entre las segundas se puede mencionar la biomasa, la cual en el proceso de fotosíntesis capta la energía so lar; la energía eólica es también una consecuencia de la energía solar al calentar capas de aire que producen el mo vimiento de las mismas.

Consideramos que las aplicaciones directas son quizá las que más interés tienen al momento. Sin embargo recordemos algunas ventajas y limitaciones de la energía solar:

Ventajas

- a) Es prácticamente inagotable
- b) Existe en todo el planeta. No necesita transporte
- c) Es una energía que no contamina la atmósfera

Limitaciones

- a) Es una energía de baja densidad
- b) Es una energía intermitente

3.3. Características y Combustión de la Leña

Formación de tejidos leñosos.-

La leña y la mayoría de los residuos agroforestales poseen típicamente un elevado contenido de material volátil. El material volátil liberado por la leña y residuos similares se compone principalmente de una porción gaseosa y una por

ción líquida.

La porción gaseosa contiene metano, monóxido y dióxido de Carbono, etc. La porción líquida contiene principalmente ácido acético, alquitrán soluble (en agua) y un conjunto de aceites espesos y no solubles que conforman el alquitrán no soluble.

La madera se descompone químicamente al ser sometida a la acción del calor. La primera etapa de la descomposición por calor es la de desecación, por la cual se elimina el agua que como tal se encuentra retenida tanto en la superficie como en los poros internos de la madera.

A una temperatura de 105°C y durante una exposición suficientemente larga, puede considerarse que se elimina toda la humedad interna. Esta desecación no incluye el agua formada por descomposición química. Además, si la madera ya desecada vuelve a ponerse en contacto con el aire ambiental, volverá a absorber agua hasta ponerse en equilibrio con la humedad ambiental.

Si la leña se expone a temperaturas altas (no menores a 600°C) en presencia de aire, se produce la combustión. Esta consiste en una reacción química de oxidación en la que tanto el Carbono como el Hidrógeno se combinan rápida

mente con el Oxígeno, generándose Dióxido de Carbono y agua, además liberándose calor.

El proceso de combustión es exotérmico, es decir con liberación de calor, y los procesos de desecación y pirólisis requieren del suministro parcial de calor.

El agua contenida en la humedad de la madera se elimina como vapor, requiriéndose del calor latente para su vaporización. El contenido energético del combustible lignocelulósico original depende de la composición del mismo y de la cantidad de humedad que posea. Así, la celulosa seca posee un poder calorífico inferior de aproximadamente 18.5 MJ/Kg, disminuyendo a unos 15 MJ/Kg. para un 20% de contenido de humedad.

La madera presenta valores de poder calorífico neto que fluctúan en base húmeda entre 15 a 20 MJ/Kg., en forma similar los residuos agrícolas.

Como referencia, combustibles fósiles del tipo gasolina y diesel están en el orden de 45 MJ/Kg. Por otro lado, el carbón de leña presenta poderes caloríficos de alrededor de 30 MJ/Kg.

Características Físico-Químicas

La madera es un material orgánico que está fundamentalmente formada por elementos tubulares dispuestos en su mayor parte en forma paralela a lo largo del eje longitudinal. Estos elementos están formados principalmente por celulosa, lignina, agua, resina y otros materiales.

La composición química media de las paredes de las células leñosas según(21), es como sigue:

TABLA 3.3.1

COMPOSICION QUIMICA DE LAS CELULAS LEÑOSAS

Celulosas y Hemicelulosas	50 - 60%
Lignina	20 - 30%
Proteína	0.5 - 3%
Resinas y Ceras	0.7 - 3%
Cenizas	0.2 - 2%

El análisis elemental y el poder calorífico en productos exentos de humedad y cenizas es: Tabla 3.3.2

TABLA 3.3.2

PODER CALORIFICO DE LOS TEJIDOS LEÑOSOS

ELEMENTOS	C	H	O	N	PODER CALORIFICO (KJ/Kg)
Celulosa	44.4	6.2	49.4	----	16120
Lignina	64.0	5.5	30.5	----	23000
Madera (prom.)	50.4	6.7	42.3	0.6	18840

Humedad y Poder Calorífico (P.C)

La madera es un material higroscópico que contiene agua en cantidades variables, que depende de la humedad y de la temperatura del medio que lo rodee.

Se considera que la madera secada al aire tiene del 15 al 20% de contenido de humedad y que la madera recién cortada (generalmente los residuos de aserradero están en éste caso) contiene de 30 a 50% de humedad, que llega al 70% en los límites ordinarios de sus densidades, en caso de transporte por flotación, influencia de la intemperie, etc., y se seca en estufas industriales mantiene sólo la humedad higroscópica, que oscila entre 6 - 12%.

El P.C. de las distintas maderas secas es prácticamente la

misma y puede fijarse como promedio aproximado en 13840 KJ/Kg. Las maderas resinosas y muy compactas pueden llegar a 20900 KJ/Kg.

El aumento de contenido extractivo y de Lignina eleva el calor de combustión, la madera verde sólo tiene un calor de combustión de alrededor de la mitad del de la secada al aire. Se deduce de inmediato que el P.C. de la madera tal como se recibe, es el producto de 18 ó 21 por el resultado de restar de 100 el porcentaje de humedad, ó sea:

$$\text{Poder Calorífico (P.C.)} = 18 \text{ ó } 21 \times (100 - \% \text{ Humedad}) \text{ KJ/Kg}$$

Estamos en la necesidad evidente de una correcta determinación de la humedad de la madera destinada a combustible, para poder deducir la cantidad en Kg. que se necesita para producir la energía requerida por unidad de tiempo, y además fijar el costo de producción de dicha energía. De acuerdo con estos datos promedio, la aplicación de la fórmula anterior permite deducir el probable Poder Calorífico (P.C) de las maderas en la siguiente forma:

- a) Maderas verdes, residuos de aserraderos, cortezas, etc.,
P.C. = 9400 a 13200 KJ/Kg.
- b) Maderas secadas en forma natural,
P.C. = 14100 a 16000 KJ/Kg.

c) Maderas secadas artificialmente,

P.C. = 16600 a 17700 KJ/Kg.

Cabe indicar que el almacenaje a la intemperie puede reducir el P.C. como consecuencia de oxidaciones lentas desarrolladas por hongos.

Combustión de la Madera

La combustión en general es un proceso en el que se combina el Oxígeno del aire con el Hidrógeno y el carbón del combustible. Según HAWLEY (Wood Chemistry, 1944), la temperatura de reacción exotérmica de las maderas es de alrededor de 273°C, independiente del contenido de humedad y escasamente varía con la clase de madera. Cuando se aplica calor a la madera, se observan bien definidas las tres etapas clásicas de la combustión:

- a) Evaporación de la humedad
- b) Destilación del volátil
- c) Combustión del carbón residual (Coke)

a) Evaporación de la Humedad

Cuando se le aplica calor, la capa exterior de la madera despidе agua, Dióxido de Carbono (CO₂), y algunos otros ácidos orgánicos.

El Dióxido de Carbono y el vapor de agua cubren la superficie de la madera e impiden que el Oxígeno haga contacto con la madera, como consecuencia éste fenómeno produce humo pero no llama.

b) Destilación del Volátil

A medida que se incrementa la temperatura, se carboniza la superficie de la madera (convirtiéndose en carbón). El calor es conducido hacia adentro a través de la madera. Esto hace que el agua se libere del interior de la madera, luego se liberan los gases y la brea, los que se localizan sobre la superficie de la madera.

La brea reacciona con el carbón para formar material volátil (gases), éstos producen una llama en presencia del O_2 .

c) Combustión del Carbón Residual

Una vez encendidos los gases, se quema con una llama luminosa, el calor continúa impulsando más gases de la madera hasta que sólo se emiten monóxido de Carbono e Hidrógeno. El carbón resplandece con escasa ó ninguna llama.

Un promedio de 30% de la energía de radiación es reabsorbida por la madera, ésto contribuye a mantener el proceso de quemado.

En el proceso de combustión intervienen como factores principales:

a) La cantidad de Aire Necesario

Cada gas exige una determinada cantidad de aire y debe llegar a cierta temperatura antes de que se encienda. Si mayor es la cantidad de aire, mayor calor se llevan los gases, pero la madera no se encenderá si la proporción de aire en exceso es superior a un cierto límite.

Serán pocas las reacciones químicas para generar calor necesario que compense la pérdida de calor en la zona de reacción, aquello también ocurre cuando el aire presente no es suficiente.

b) Temperatura Ambiente

La absorción de calor es de 2100 KJ/Kg. por la evaporación y 420 KJ/Kg. por la destilación, hasta 250 °C.

Los vapores destilados mezclados con aire en proporción adecuada, se inflaman a 600°C aproximadamente, mientras que el carbón arde exactamente como el coke.

c) Tiempo Indispensable

Para que se efectúen las reacciones de todo el proceso, incide en gran importancia el tamaño de las piezas de madera. Es bien sabido que el aserrín arde instantáneamente, mientras que un tronco de grandes dimensiones puede arder lentamente durante horas en una chimenea de fuego abierto. Esto sucede por la escasa conductividad calorífica de la madera, que le permite arder en su superficie (periferie), mientras el núcleo se conserva frío. Además la ceniza depositada en la superficie contribuye a disminuir la rapidez de la combustión.

d) Forma ó Diseño del Hogar

Debe ser de tal modo que la madera se sitúe en un sitio convenientemente para su perfecta combustión (combustión completa, utilizando la cantidad de aire estrictamente indispensable).

Como norma general convendrá pues, que se deseen grandes liberaciones de calor, comparables con las usuales en los hogares de fuel-oil y carbón mineral, quemar la madera en trozos pequeños. (24).

Sustancias que reaccionan

Como se observa en la Fig. 3.3.1, las varias reacciones

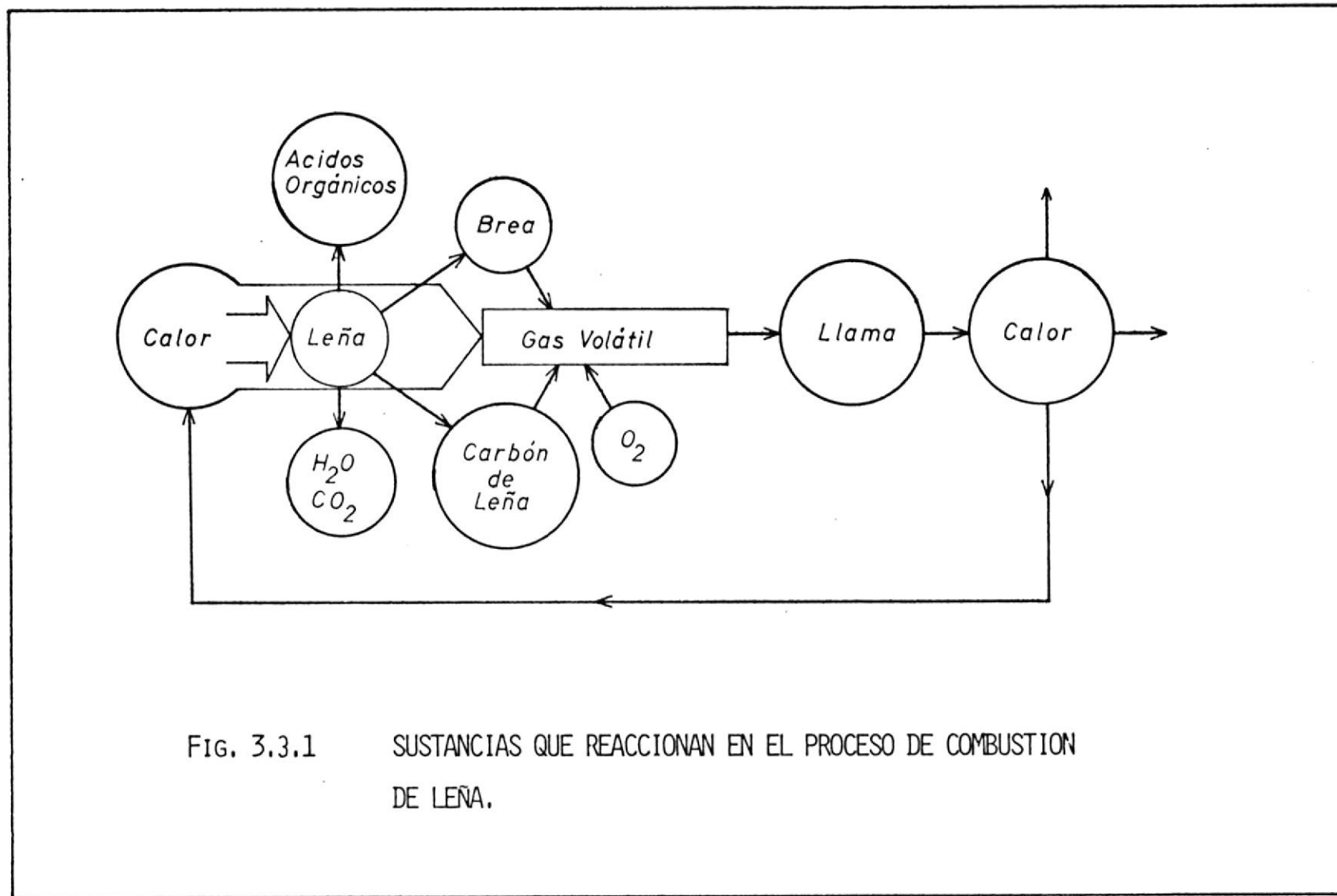


FIG. 3.3.1 SUSTANCIAS QUE REACCIONAN EN EL PROCESO DE COMBUSTION DE LEÑA.

del Oxígeno con el aire que entra se pueden resumir de la siguiente forma:

<u>Sustancias que reaccionan</u>	<u>Donde ocurre la reacción</u>	<u>Productos</u>
Carbón + aire	Superficie Combustible	Monóxido de Carbono Dióxido de Carbono
Brea + aire	Llama	Monóxido de Carbono Dióxido de Carbono y agua
Gas + aire	Llama	

El Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), agua y hollín (Carbón), son los principales productos de la combustión. Se produce una gran cantidad de brea y gases sumamente inflamables y se libera rápidamente gran cantidad de calor cuando el proceso de quemado se desarrolla con rapidez.

Se desarrolla mayor cantidad de Dióxido de Carbono cuando el proceso de quemado es lento, esto sucede si hay poco aire y poco calor cerca de la superficie de la madera. En primer caso es poco el carbón que se produce, en el segundo caso el calor se despide a una rapidez mucho más lenta y más constante.

3.4. Características y combustión del Biogas

El biogas es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el Dióxido de Carbono, el cuál se produce de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un grupo de microorganismos.

En la naturaleza se encuentran una variedad de residuos orgánicos a partir de los cuales puede obtenerse biogas, entre ellos se encuentran: desechos provenientes de animales domésticos como cerdos, aves, vacas, excretas humanas, residuos vegetales como pajas, pastos y hojas secas y basuras domésticas.

La composición del biogas depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones en que se procesa. En promedio su composición química está dada en las Tablas 3.4.1 y 3.4.2. (2) y (8) respectivamente.

TABLA 3.4.1

COMPOSICION QUIMICA DEL BIOGAS

METANO	$C H_4$	54 - 70%
DIOXIDO DE CARBONO	$C O_2$	27 - 45%
HIDROGENO	H_2	1 - 10%
NITROGENO	N_2	0.5 - 3%
ACIDO SULFHIDRICO	H_2S	0.1%

TABLA 3.4.2

COMPOSICION QUIMICA DEL BIOGAS

METANO	CH ₄	55 - 70%
DIOXIDO DE CARBONO	CO ₂	30 - 40%
HIDROGENO	H ₂	1 - 3%
GASES DIVERSOS		1 - 5%
ANHIDRIDO SULFUROSO		vestigios

El metano es un gas combustible incoloro, inodoro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. Es el principal constituyente del gas natural, ya que más del 90% de éste combustible es metano.

El biogas, con su alto contenido de metano es una fuente de energía que puede usarse para cocinar, iluminar, generar calor, operar maquinaria agrícola, bombear agua ó generar energía eléctrica.

Relación Carbono/Nitrógeno.-

Toda la materia orgánica es capaz de producir biogas al ser sometida a fermentación anaeróbica, y la cantidad y calidad de biogas producido dependerá de la composición del desecho utilizado.

El Carbono y el Nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias formadoras de metano, el Carbono es la fuente de energía y el Nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células.

Estas bacterias consumen 30 veces más Carbono que Nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima es de 30.

Los datos experimentales que a continuación se presentan permiten hacer cálculos de producción y consumo. (2).

TABLA 3.4.3

VALORES EXPERIMENTALES DE PRODUCCION DE BIOGAS (Lt/Kg)

<u>TIPO DE ANIMAL</u>	<u>ESTIERCOL FRESCO PRODUCIDO AL DIA</u>	<u>LITROS DE BIOGAS PRO- DUCIDO POR CADA Kg. FRESCO (b)</u>
Vaca	10.0 ^(a)	60
Cerdo (50 Kg.)	2.25	78
Gallina (2 Kg.)	0.18	62
Heces humanas	0.40	70

a) El dato se refiere a una estimación de la cantidad de estiércol que es posible recolectar de todo el producido, cuando el ganado no está estabulado.

b) El valor varía de acuerdo al diseño. Los datos tabulados son para un digestor tipo hindú.

TABLA 3.4.4

VALORES EXPERIMENTALES DE CONSUMO DE BIOGAS (m^3/hr)

EQUIPO	CONSUMO DE BIOGAS ($m^3/hr.$)
Estufa (2 quemadores)	0.40 - 0.55
Lampara	0.15 - 0.21
Refrigeradora ($1.8ft^3$)	0.05 - 0.063
Motor C.I.	0.45 - 0.55 por cada HP

BIBLIOTECA

TABLA 3.4.5

BIBLIOTECA

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL METANO

Tomado de (6)

fórmula química	CH ₄
peso molecular	16.042
punto de ebullición (a 1 Atm.)	-161.49°C
punto de solidificación (a 1 Atm.)	-182.48°C
presión crítica	47.363
temperatura crítica	-82.5°C
gravedad específica	
* líquido (a -164°C)	0.415
* gas (a 25°C y 1 atm.)	0.000658
poder calorífico (a 15.5°C y 1 atm.)	9120 Kcal/m ³
aire requerido para la combustión (en m ³ /m ³)	9.53
límite de flamabilidad	5 - 15 volum.
rango de octano	130
temperatura de ignición	650°C
ecuación de combustión CH ₄ + 2O ---- CO ₂ + 2H ₂ O	
O ₂ /CH ₄ para combustión completa	2.00 por vol.
CO ₂ /CH ₄ para combustión completa	2.74 por peso
CO ₂ /CH ₄ para combustión completa	1 por volumen

Poder Calorífico

Como se dijo anteriormente el poder calorífico del biogas depende de los porcentajes de metano y de dióxido de Carbono y de la saturación del agua remanente en el biogas.

Si comparamos el poder calorífico de éste gas con otros combustibles comúnmente utilizados en el campo, obtenemos las siguientes equivalencias. (8).

TABLA 3.4.6

EQUIVALENCIA CON OTROS COMBUSTIBLES

B I O G A S

1	m ³	=	6.2 Kw
1.5 - 2	m ³	=	1 Lt. nafta
1.5 - 1.8	m ³	=	1 Lt. querosene
1.5 - 1.8	m ³	=	1 Lt. gas-oil
0.5 - 0.7	m ³	=	1 Kg. leña

El gas contiene agua en proporción debido a que a la temperatura de digestión ó de degradación una parte de la humedad de los lodos se evapora y se mezcla con el biogas.

Si el biogas posee un rango normal de 60 - 70% CH₄ y 30 - 40% CO₂ su poder calorífico varía entre 20 y 26 Joul/cm³.

(540 y 700 BTU/pie³)

El poder calorífico neto saturado con agua , también es calculado del porcentaje de metano (14)

$$\begin{aligned} \text{P.C. Neto} &= 0.33 \times \% (\text{CH}_4) \quad \text{Joul/cm}^3 \\ &= 8.96 \times \% (\text{CH}_4) \quad \text{BTU/pie}^3 \end{aligned}$$

Si separamos el agua del biogas, el poder calorífico aumenta y si además separamos el dióxido de Carbono, el poder calorífico se aproxima al del gas metano puro.

La ~~comparación~~ comparación del poder calorífico con otros gases se puede ver en la Tabla B.2. El biogas puede ser usado en cualquier artefacto doméstico, adaptando previamente el pico de entrada de gas para el correcto funcionamiento.

Los consumos registrado en el Banco de pruebas de Ingeniería Rural de acuerdo a (8) es la siguiente:

TABLA 3.4.7.

CONSUMO DE ENERGIA EN VARIAS APLICACIONES

Cocina de una hornilla ...	136 Lt./hr.
	3.1315 MJ/hr.
Lámpara a mantilla	90 Lt./hr.
	2.068 MJ/hr.
Termotanque de 100 Lt.	250 - 300 Lt./hr.
	5.7564 - 6.9077 MJ/hr
Estufa	305 - 315 Lt./hr.
	7.02 - 7.25 MJ/hr.

Los consumos antes citados se realizan con una presión de trabajo de 12 centímetros de columna de agua.

A partir de esta tabla de consumo se estima que una familia rural de 5 a 6 personas consumirán:

TABLA 3.4.8

CONSUMO DE BIOGAS EN EL SECTOR RESIDENCIAL

cocina	2.5 m ³
iluminación	1.3 m ³
agua caliente	4.8 m ³
motor 1 hr.	1.3 m ³
Consumo Total	9.9 m ³

Como datos referenciales y con la finalidad de comparar el poder calorífico del biogas a otros combustibles puede verse el Apéndice B.

Seguridades en el uso de biogas

El biogas puede causar explosiones al tener como principal componente metano, el cual tiene niveles de explosión que van entre 5 hasta 15% (proporción en volumen con aire), tomando en cuenta que la composición típica del biogas incluye entre 60 - 70% de metano, los niveles de explosión son de 7 a 24% de biogas en aire (en volumen). La densidad y su composición son también importantes factores en la seguridad, tomando en cuenta que la densidad del aire es de 1293 gr/lt, y considerando un 35% de CO_2 . la densidad del biogas llega a 1.09 gr/lt., éste es más liviano que el aire y se diluye fácilmente en él.

Si el porcentaje de CO_2 sobrepasa el 46%, el biogas se torna más denso que el aire, elevando su límite de peligrosidad ya que puede ser asfixiante cuando su acumulación causa que el O_2 del aire baje a 17.3% y si baja hasta 13% es positivamente sofocante.

Por estas razones, hay que tomar precauciones en el manejo de biogas, similares a las que se tienen con cualquier

gas combustible. Al llenar tanques con biogas, éstos deben estar libres de Oxígeno, al igual que las líneas de transporte de gas. Se deben realizar pruebas de fugas con agua jabonosa, los locales donde se maneje biogas deben ser de preferencia altos y bien ventilados, cuidar que no hayan flamas, brasas, cigarrillos encendidos ó calzado con clavos que produzcan chispas en las áreas de compresión y carga. Los extinguidores de incendio deben ser de CO_2 y polvo ABC.

Al encender fósforos ó bien al producir chispas por choques metálicos, el gas puede alcanzar de 650 a 750°C a las cuales puede explotar. (8).

Quemador de Biogas - Técnicas para el diseño

La siguiente información será útil para establecer analogías con los datos que se obtengan en el desarrollo experimental de éste proyecto.

El quemador de biogas debe cumplir varios requerimientos técnicos para que realice un buen sistema de quemar el gas. Para obtener un intenso calor como producto de la combustión, el aire debe ser mezclado en una cantidad óptima, es decir se permite introducir el aire y mezclarse con el biogas en determinadas proporciones.

CAPITULO IV

4. INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1 Capacidad de Evaporación

Elaboración

El equipo construido producirá agua destilada que varía de acuerdo a la fuente energética a utilizarse. Las pruebas posteriores indicarán un rango de producción, mayores detalles se encontrarán en la evaluación y análisis de datos, así como también en las características del diseño se indican las condiciones bajo las cuales funciona el modelo experimental.

4.2 Cálculo de los Elementos Constitutivos del Destilador

Destilador

Bandeja de evaporación: El agua que contiene la bandeja es salobre, la corrosión es altamente perjudicial en este tipo de equipos, para evitar que esto suceda se construye con acero inoxidable.

Aislamiento

Como el equipo va a operar a temperaturas altas, se instalan aislamientos de asbesto y lana de vidrio, se han escogido así porque poseen una baja conductividad térmica y no se deteriora fácilmente por la acción del calor. Así mismo

para evitar que el aislamiento^v (lana de vidrio) se deteriore por la acción de agentes atmosféricos, se cubre con una pared de plancha de hierro galvanizado.

Cubierta

El destilador está provisto de dos cubiertas de vidrio con inclinación de 18° (ver Apéndice A).

Hogar

Las dimensiones de la cámara de combustión del hogar serán las mínimas compatibles con el tamaño de lumbre requerido por las tareas a realizar (calentamiento de agua), con el tamaño de las piezas de leña comúnmente utilizados.

Para este uso corriente, se ha determinado que una altura de 12 a 15 cm. (entre el piso del hogar y el fondo de la bandeja), una longitud de 30 a 45 cm. con un ancho de 24 cm. son adecuados.

Caja de Recirculación de Humo (CRH)

El recinto donde existe transferencia de calor, está provisto de una caja con deflectores, su base está construido por piedra pómez y está localizado bajo la bandeja de

evaporación.

La CRH posee una área de transferencia de calor de 60% de la base de la bandeja, ésto es debido a que el equipo puede trabajar al mismo tiempo con dos fuentes de energía y se hace necesario que en caso de trabajar sólo a base de energía solar tenga un 40% de aislamiento permanente bajo la bandeja de evaporación.

Deflectores

Se instalan paredes para dirigir al máximo posible el calor generado hacia la bandeja. Para este fin se colocan deflectores distribuidos en la CRH de tal manera que no queden en ellos puntos muertos y por consiguiente haya uniformidad en el calentamiento del agua.

Amortiguadores

Se proveen medios para controlar el aire y el flujo de gases y así poder gobernar la intensidad de combustión según sea requerido.

Para ello, generalmente basta colocar un solo amortiguador (compuerta ó válvula) a la entrada ó a la salida del hogar. Las válvulas de mariposa montadas en la base de la chimenea resultan muy convenientes por su facilidad de instala

ción y manejo.

Chimenea

Con el propósito de proveer el tiro necesario para el suministro de aire de combustión y activar el flujo de gases a través del equipo se instala una chimenea la cual al mismo tiempo dará escape fuera de la caja al humo y gases residuales de la combustión.

Por razones funcionales y de diseño, se considera adecuada un área entre 40 y 80 cm². y una altura de 1.50 a 1.75 metros.

Planos y medidas están detallados en el Apéndice D.

4.3. Materiales para la construcción del Destilador ✓

Para la construcción del modelo debemos utilizar en lo posible materiales locales y de tecnología sencilla, tomando en cuenta estos criterios hemos seleccionado los siguientes materiales:

Destilador

bandeja de evaporación : acero inoxidable brillante

película colectora : pintura anticorrosiva negro mate
cubierta : vidrio (espesor 3 mm.)
aislante : lana de vidrio, asbesto
sello : cemento silicónico
estructura: hierro de 1 1/2" x 1/8"
mangueras : caucho de 1/2"
recubrimiento exterior: plancha de hierro galvanizado

Caja de Recirculación de Humo

estructura : hierro de 1 1/2" x 1/8"
aislante : asbesto, piedra pómez, lana de vidrio
deflectores: piedra pómez espesor de 1"
recubrimiento exterior: plancha de hierro galvanizado

Horno

aislante : piedra pómez
cemento refractario
cemento gris

Chimenea

ducto metálico: hierro galvanizado
regulador de flujo: válvula de mariposa

4.4 Consideraciones Técnicas

- 1.- El modelo es experimental por lo tanto hemos seleccionado el destilador de un metro cuadrado de área.
- 2.- El modelo está compuesto por una cubierta de vidrio de dos pendientes y cada pendiente consta de un canal de recolección de condensado con su respectivo reservorio.
- 3.- El destilador es aislado en la base y sus lados.
- 4.- Consta de una tubería de alimentación y la misma sirve para limpieza, también se instala un tapón para el drenaje localizado en la base.
- 5.- Será soportado por una estructura de hierro de 0.6 metros de altura.
- 6.- El nivel máximo que alcanzará el agua en la bandeja no alcanzará el nivel más bajo del canal de recolección.
- 7.- La capacidad máxima que tendrá la bandeja será de 40 litros.
- 8.- La instalación del intercambiador de calor ó cámara de recirculación de humo estará ubicada bajo la bandeja -

del destilador.

- 9.- Los gases calientes que atraviesan la caja de recircu-
lación de humo provendrán de la combustión apropiada
en un horno diseñado para obtener la máxima eficiencia
de éste.
- 10.- Los gases de combustión después de ceder su energía
térmica al agua, escaparán al ambiente por medio de
una chimenea.
- 11.- El modelo será construido en los talleres de la ESPOL
con la colaboración de los miembros del Laboratorio de
Conversión de Energía.

Para la construcción del modelo se sigue el siguiente orden:

Destilador:

- a) Trazado de la bandeja de evaporación
- b) Doblada, sellada y remachada en sus esquinas
- c) Instalación de los canales de recolección
- d) Construcción de la estructura soporte
- e) Montaje de la bandeja sobre la estructura
- f) Colocación de aislamiento en sus paredes laterales
- g) Colocación de pared protectora del aislamiento
- h) Pintura en la base (película colectora)

- i) Instalación de termocuplas
- j) Instalación de la cubierta de vidrio
- k) Pintura del modelo (parte externa)

Horno

- a) Modelaje con ladrillo de piedra pómez y cemento refractario.
- b) Recubrimiento de las paredes interiores y exteriores
- c) Acoplamiento a la caja de recirculación de humo
- d) Aislamiento en la junta

Chimenea

- a) Trazado, cortada y doblada de la plancha de hierro galvanizado.
- b) Instalación del regulador de flujo (válvula de mariposa)
- c) Instalación del casquete de chimenea
- d) Acoplamiento con brida a la CRH
- e) Colocación de aislante en la junta
- f) pintura de la chimenea

Lugar de pruebas

Montaje del equipo en la Estación de Bioenergía de la
ESPOL

4.5 Características del Diseño

Lo básico para el diseño de un Destilador Solar de simple efecto desde el punto de vista térmico puede ser deducido de la siguiente manera:

- 1.- El nivel del agua en la bandeja debe ser tan pequeña como sea físicamente posible para disminuir los efectos de la acumulación térmica, así se logrará elevar su temperatura en menor tiempo, ya que el proceso de evaporación del agua varía en forma directa y exponencial con la temperatura como también se obtendrá una mayor producción de condensado.
- 2.- La característica del sistema debe ser suficiente para reponer la pérdida de agua en la bandeja ocasionada por la evaporación. En la práctica una alta tasa de destilación puede conducir a una rápida deposición de varias sales sobre la superficie del agua y de la bandeja. Estos efectos pueden ser reducidos manteniendo un flujo continuo en la unidad, es decir, el agua de alimentación estará entrando en la misma cantidad que el agua destilada que se produce, ó la alimentación se realizará cuando el nivel del agua ha disminuido hasta un nivel permisible previamente fijado.
- 3.- El destilador deberá ser aislado en la base y sus par

tes laterales para minimizar las improductivas pérdidas por conducción y convección. Esto conlleva una particular importancia cuando la altura del agua es reducida, la temperatura del agua en estado estable para una tasa de radiación dada, se incrementa.

- 4.- El diseño de la cubierta con pequeña pendiente es posible si se proporciona un adecuado drenaje del condensado. Incrementando la pendiente de la cubierta decrecerá la temperatura media de operación del destilador, resultando una disminución de la eficiencia de operación.

Pero más importante que este efecto, es el incremento del costo del aparato cuando se incrementa el área al aumentar la pendiente. El ángulo óptimo de inclinación de la cubierta debe ser aquel que permita una máxima transmisión de la radiación solar y a su vez sea el adecuado para permitir la recolección del condensado.

CAPITULO V

5. PRUEBAS PRELIMINARES DE PRODUCCION

5.1 Con Energía Solar

Se realizó pruebas de producción con cubierta de plástico pues aventan a las de vidrio en que son más baratas, se rompen menos, son más ligeros para transportarlos y más fáciles de construir y montar. Tiene la desventaja de la vida media más corta, y de la condensación del agua en gotas en lugar de en película uniforme.

Estas gotitas reflejan y dispersan parte del sol incidente y proporciona al techo un aspecto plateado. Además algunas gotas caen al agua salada antes de alcanzar los canalones de recolección, particularmente cuando el plástico es sacudido por el viento, por lo que se cambió a una cubierta de vidrio.

5.2 Con leña y Biogas

Las pruebas con la fuente energética (leña) se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones:

Nivel de agua : 1 cm.

Temperatura ambiente: 29°C

Inicio de combustión: 09h00

El agua comenzó a calentarse a tal punto que llegó a la temperatura de 90°C en el tiempo de 40 minutos, la tasa de producción aumentó

en 50% en comparación con las pruebas de destilación solar.

Debido a la diferencia de temperatura que existe entre el interior y el exterior de la cubierta, se origina una expansión térmica que hace que el vidrio se fracture. Como puede notarse hay un límite en el cual el vidrio no resiste, por lo que el agua debe calentarse por debajo de ésta temperatura. Además el espacio que hay entre la cubierta y el agua se satura de mezcla vapor de agua y aire a tal punto que el agua evaporada no se condensa en la cubierta en un ciento por ciento.

En las pruebas preliminares con gas no se presentó problemas.

5.3 En combinación con Energía Solar

Estas pruebas se realizaron con ayuda de un ventilador para enfriar la cubierta y evitar que el vidrio se fracture por sobrecalentamiento hasta determinar la cantidad de leña necesaria a quemar. Se notó que la producción aumentó notablemente porque la cubierta se mantuvo a una temperatura más ó menos constante e hizo que baje el punto de rocío.

En estos ensayos hubo alta radiación solar y el consumo de leña fue bajo en comparación con los ensayos definitivos en que la radiación fue relativamente baja.

5.4 Optimización de Operación

Se realizó ensayos con el equipo orientado en dirección NORTE-SUR y en dirección ESTE-OESTE, arrojando mejores resultados en ésta última, por lo que se optó seguir con las pruebas en esa posición.

También se hizo una distribución de deflectores en la caja de recirculación de humo con el objeto de guiar mejor el calor producido de la combustión y para que el agua se caliente uniformemente.

Se bajó el nivel de agua de 2 a 1 cm. así se consiguió elevar la producción de destilado porque se almacena menos calor en el agua (capacitancia) así las temperaturas de operación son mayores.

Cuando se realizaron las pruebas con leña gruesa (6 cm. de diámetro) tarda en combustionarse, no así la leña delgada (3 cm. de diámetro) que quema más rápidamente generando calor en menor tiempo, por lo que se continuó con las pruebas bajo estas condiciones que mejores resultados se obtuvo.

En las alternativas planteadas consideramos y analizamos los siguientes puntos de vista: eficiencia, capacidad, facilidad de construcción, comodidad, mantenimiento, duración, etc. y hemos seleccionado dos modelos de fogón.

Descripción de los Modelos

El fogón de la Fig. 5.4.1 construido de un envase de tambor de aceite cortado transversalmente por la mitad, en la parte más baja se practicaron seis agujeros de diámetro 2.5 centímetros que permite la entrada de aire para mantener la combustión de la leña. Seis centímetros arriba de los orificios va colocada una parrilla de tol perforado (30% del área total para entrada de aire). Se hizo una puerta que permita el suministro de combustible. El diámetro del fogón es 28 centímetros y su altura es 28 centímetros, la cámara de combustión tiene capacidad para leñas de hasta 24 centímetros de longitud.

El fogón de la Fig. 5.4.2 está construido de piedra pómez y revestido con cemento las paredes laterales y la base. El espesor del ladrillo de piedra pómez es 6 centímetros y la capa de cemento de un centímetro. El suministro de aire y combustible se realiza por la abertura hecha en la pared lateral, y tiene capacidad para leñas de hasta 22 centímetros de longitud. Las medidas internas son: ancho: 24 cm.; largo 25 cm.; altura: 25 cm.

No tiene parrilla para el fuego, por lo que éste podría ser uno de los aspectos del diseño que hace que éste fogón sea menos eficiente que el metálico. En los dos casos la chimenea produce el tiro adecuado para vencer la fricción entre los gases y las paredes de la caja de humo y ducto y evacuarlos al ambiente.

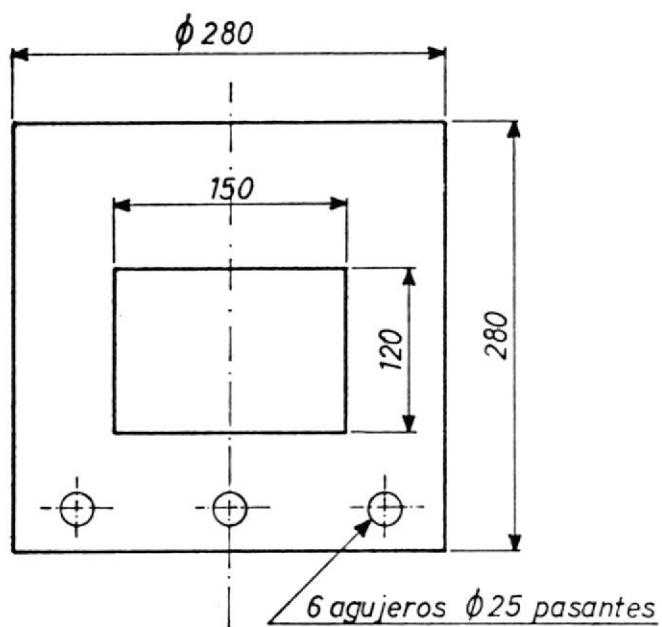


FIG. 5.4.1. FOGON METALICO

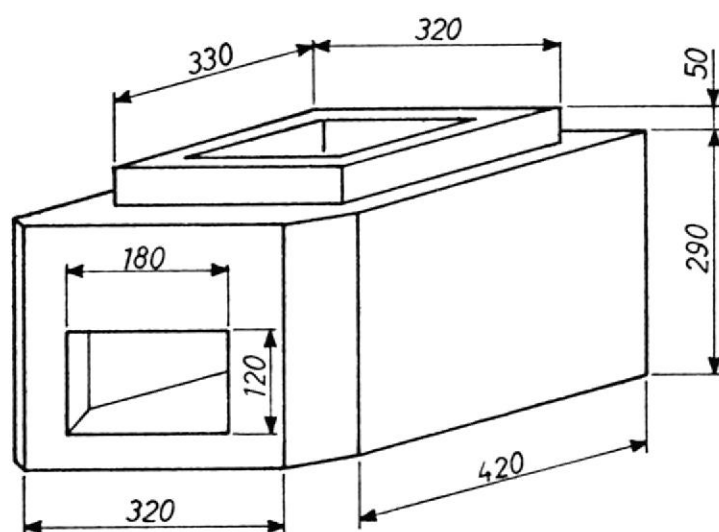


FIG. 5.4.2. FOGON DE PIEDRA POMEZ

med. en mm.

CAPITULO VI

6. SISTEMA EXPERIMENTAL DEFINITIVO

6.1. Descripción Experimental

Se dispone el sistema en la orientación ESTE - OESTE, es decir una cubierta del destilador orientada hacia el Este y la otra hacia el Oeste.

Empleamos tres tipos de agua: potable, agua del Río Guayas, y agua del Estero Salado.

Experimentamos con nivel de un centímetro de agua dentro del sistema durante 4 días con cada tipo de agua.

Las pruebas se realizan de 09h00 a 18h00 y se lleva control cada hora de los siguientes parámetros: T_a , T_w , T_g , T_b , T_{si} , T_{se} , T_{gi} , \dot{m}_d , H_c , V .

Durante las pruebas de destilación a base de leña, solar/leña, biogas, y biogas/solar, se anotan los parámetros antes mencionados, además el consumo horario de combustible, temperaturas en el horno, caja de recirculación de humo y chimenea.

6.2. Recopilación de Datos

Como se dijo anteriormente, la experimentación se lleva a cabo des

de las 09h00 hasta las 18h00, en el equipo se han instalado termocuplas convenientemente colocadas en los puntos de interés para de terminar los parámetros antes citados.

El equipo usado en las pruebas realizadas es:

TD 30_a. Indicador de la temperatura de lectura directa.

El procedimiento que se sigue para la toma de datos es la siguiente:

Una vez instalado el equipo de medición de temperaturas y las pipe tas de recolección de condensado vacías, mediante el selector de termocuplas se realiza la toma de datos correspondiente a tempera turas y producción de condensado a intervalos de una hora.

Las pruebas realizadas corresponden a días con alta y baja radiación solar. Los datos de temperatura ambiente, velocidad de viento, y radiación solar son tomadas del registro de la Estación Meteo rológica de la ESPOL.

Durante los ensayos con leña se lleva registro del consumo horario de combustible. Del mismo modo cuando se usa gas, se controla que la presión sea constante en el gasómetro.

Los datos recopilados durante los días de pruebas constan en el A péndice C.

6.3. Análisis de Datos

La Tabla C.3.1, que muestra la temperatura ambiental, indica que cuando se realizaron las pruebas se estaba en verano, la temperatura fluctuaba entre $22.5 - 30^{\circ}\text{C}$, con un promedio de $27 - 28^{\circ}\text{C}$.

Por el comportamiento de las curvas del gráfico C.3.1. que corresponde a la Tabla C.3.1, observamos que en las primeras horas de la mañana, la temperatura de la cubierta es menor que la del agua. A medida que avanza la tarde ésta diferencia es aún mayor $13 - 15^{\circ}\text{C}$, y al entrar la noche las dos temperaturas descienden hasta alcanzar la temperatura ambiente.

En las últimas horas de la tarde T_g es menor que T_w , lo que determina un flujo de calor desde el agua hacia la cubierta. A partir del instante en que el sistema alcanza la temperatura ambiente (T_a), es uno de los parámetros que determina el sentido del flujo de calor; si T_a aumenta será hacia el sistema y si T_a disminuye será hacia el medio.

Como el sistema no recibe energía en la noche, existe un balance térmico continuo con el medio; cuando se inicia el amanecer, la temperatura ambiente comienza a ascender, se produce un flujo de calor desde el medio hasta el sistema siguiendo el orden medio ambiente - cubierta - agua. Revisando las Tablas de Datos observamos que desde tempranas horas T_w supera a T_g .

Por el contrario cuando la intensidad de la radiación solar transmitida y emitida por la cubierta al agua es pequeña, permite a la cubierta de vidrio a base de la energía solar absorbida alcanzar temperaturas un poco superiores a la del agua.

Los registros diarios de producción indican que todos varían en cantidad. La Fig. C.6.1. indica que el destilador trabajando a base de energía solar produce en promedio 2.2. lt/día con nivel de agua de un centímetro, lo que da una eficiencia promedio de 42.17% (Tabla C.7.1). Se puede observar también que la mayor producción de condensado superior a los 4 lt/día fue durante la segunda prueba (C.3.2.), que concuerda con la más alta tasa de radiación incidente captada por el destilador como puede notarse en la Fig. C.3.2.A. Así mismo se obtuvo la más baja cantidad de condensado durante la prueba C.3.11. de poco más de 1 lt. y que también corresponde al día con más baja radiación solar (Fig. C.3.11.A).

En la Fig. C.6.1. se aprecia la producción diaria de condensado usando leña como fuente energética. Comparando los resultados con los de energía solar registra un aumento de producción del 54% con un consumo de leña de 2 Kg/día en promedio.

Durante los ensayos con leña se probaron dos tipos de fogones domésticos, uno metálico cilíndrico con parrilla del tipo INE y otro de ladrillo de piedra pómez unidos con cemento, sin parrilla en forma de caja y con una abertura lateral para suministro

tro de combustible y aire. Entre estos, los resultados de consumo en el fogón de piedra pómez fue ligeramente superior probablemente debido a la ausencia de parrilla para el fuego.

Los valores de producción con la fuente energética solar/leña (Tabla C.7.6.) son mayores al comparar con la producción de condensado a base de leña. Así mismo la eficiencia aumentó debido a las mayores temperaturas de servicio. Como era de suponer las condiciones de operación no cambiaron pero la producción de condensado y el consumo de leña variaron; en cuanto a la producción se elevó a 5.85 lt/día en promedio, significando un aumento del 17.25%. Además el consumo de leña disminuyó de alrededor de 2Kg/día a 1.3 Kg/día en promedio, que en porcentaje es 36.85%

Los datos de producción presentados en la Tabla C.7.5 son mayores al comparar con los de la Tabla C.7.4, así como también la eficiencia, esto se debe a las mayores temperaturas de servicio. La producción de condensado usando como fuente energética solar/gas es baja porque no hay suficiente calor de combustión (flujo) para distribuirse en la caja de recirculación de humo debido a las limitaciones que presenta el fogón.

Para una temperatura de agua dada, la eficiencia es relativamente independiente de la diferencia de temperaturas excepto para bajos valores de esta diferencia, mientras que la tasa de producción de agua se incrementa casi linealmente

con la diferencia de temperatura.

- Otro factor de importancia en la alta temperatura de operación para una entrada de energía dada es la masa térmica del sistema. Rebajando la altura del líquido en la bandeja y por lo tanto reduciendo la masa térmica, se obtiene alta temperatura de operación y eficiencia.

6.4. Cálculo de la Eficiencia

Destilación de Agua

La eficiencia del sistema puede ser calculada por medio de las ecuaciones (2.3.26) y (2.3.29), se sabe la cantidad de radiación recibida durante el período de prueba y la cantidad de agua pura producida.

De las pruebas a base de energía solar seleccionamos los cuadros C.3.2 y C.3.11 que corresponden al máximo y mínimo m_p obtenido respectivamente. De la Tabla A-16 (Apéndice A) para el mes de Agosto tenemos:

$$\begin{array}{lll} \alpha_1 = 0.0373 & z_1 = 0.898 & f_1 = 0.552 \\ \alpha_2 = 0.05186 & z_2 = 0.8794 & f_2 = 0.448 \end{array}$$

$$\alpha_{nw} = (\alpha_w + \tau_w \alpha_p)(\tau_1 f_1 + \tau_2 f_2)$$

$$= 0.8295$$

$$\eta_{me} = \frac{h_{fg} \int_{m_p} dt}{H_c}$$

$$\eta_i = \frac{h_{fg} \int_{m_p} dt}{\alpha_{nw} H_c}$$

Prueba C.3.2

$$\bar{h}_{fg} = \frac{\sum h_{fg}}{10} = 2357633.6 \text{ J/Kg.}$$

$$H_c = 18165.81 \text{ KJ/m}^2$$

$$\dot{m}_p = 0.4509 \text{ Kg./m}^2 \text{ hr}$$

$$\eta_{me} = \frac{2357633.6 \text{ J/Kg} \int_0^1 0.4509 dt}{18165.81 \times 10^3 \text{ J/m}^2} \times 100$$

$$= 52.65\%$$

$$\eta_i = \frac{\eta_{me}}{\alpha_{nw}}$$

$$= 63.47\%$$

PRUEBA C.3.11

$$\bar{h}_{fg} = \frac{\sum h_{fg}}{10} = 2402758 \text{ J/Kg}$$

$$H_c = 8155.8 \text{ KJ/m}^2$$

$$\dot{m}_p = 0.119 \text{ Kg/m}^2 \text{ hr}$$

$$\eta_{me} = \frac{2402758 \cdot 0.0119 \text{ dt}}{8155.8 \times 10^3} \times 100$$

$$\eta_{me} = 31.55\%$$

$$\eta_i = 38.03\%$$

Las eficiencias calculadas son la máxima y la mínima del sistema correspondiente a los días de prueba, en igual secuencia se procede para el resto de días (Ver Tabla C.7.1)

CALCULO DEL BALANCE DE ENERGIA EN LA CUBIERTA

Prueba C.3.2

Hora : 13h00

$$T_w = 346.23^\circ\text{K}$$

$$T_a = 305.66^\circ\text{K}$$

$$T_g = 336.26^\circ\text{K}$$

$$T_{gi} = 337.36^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2326.233 \text{ KJ/Kg.}$$

$$P_{wb} = 266.52 \text{ mm. Hg.}$$

$$P_{wg} = 180.97 \text{ mm.Hg.}$$

Reemplazando en las ecuaciones 2.3.5 a 2.3.15 se obtiene:

$$q_{r,w-g} = 0.9(5.6697 \times 10^{-8}) \left(\frac{346.23^4}{2016} - \frac{337.36^4}{266.52} \right)$$

$$q_{r,w-g} = 72.30 \text{ w/m}^2$$

$$hc' = 0.884 \left[346.23 - 337.36 + \frac{(266.52 - 180.97)}{2016 - 266.52} (346.23) \right]$$

$$hc' = 2.6121$$

$$q_e = 9.15 \times 10^{-7} (2.6121) (266.52 - 180.97) (2326423.33)$$

$$q_e = 475.68 \text{ w/m}^2$$

$$q_{c,w-g} = 23.17 \text{ w/m}^2$$

$$hva = 5.7 + 3.8 \text{ V}$$

$$hva = 10.72$$

$$q_{c,g-a} = 10.72 (336.26 - 305.66)$$

$$q_{c,g-a} = 328.03 \text{ w/m}^2$$

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5}$$

$$T_s = 294.98^\circ\text{K}$$

$$q_{r,g-a} = 0.9 (5.6697 \times 10^{-8}) \left(\frac{336.26^4}{4} - \frac{294.98^4}{4} \right)$$

$$q_{r,g-a} = 266.04 \text{ w/m}^2$$

$$\alpha_{vH_c} = 0.045 (575.18)$$

$$\alpha_{vH_c} = 25.88 \text{ w/m}^2$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 2.3.2 se ha calculado un error mínimo del orden de 0.5%.

Cálculo del Balance de Energía en la cubierta

Prueba C.3.11

Hora : 13h00

$$T_w = 48.6^\circ\text{C} = 321.76^\circ\text{K}$$

$$T_a = 26.8^\circ\text{C} = 299.96^\circ\text{K}$$

$$T_g = 38.1^\circ\text{C} = 311.26^\circ\text{K}$$

$$T_{gi} = 40.1^\circ\text{C} = 313.26^\circ\text{K}$$

$$h_{fg} = 2380.0108 \text{ KJ/Kg}$$

$$P_{wb} = 88.41 \text{ mm Hg}$$

$$P_{wg} = 55.79 \text{ mm Hg}$$

$$q_{r, w-g} = 0.9 (5.6697 \times 10^{-8}) \left(\frac{4}{321.76} - \frac{4}{313.26} \right)$$

$$q_{r, w-g} = 55.54 \text{ w/m}^2$$

$$hc' = 0.884 \left[321.76 - 313.26 + \frac{88.41 - 55.79}{2016 - 88.41} (321.76) \right]^{1/3}$$

$$hc' = 2.41$$

$$q_e = 9.15 \times 10^{-7} (2.41) (88.41 - 55.79) (2380010.8)$$

$$q_e = 171.63 \text{ w/m}^2$$

$$q_{c,w-g} = 2.41 (321.76 - 313.26)$$

$$q_{c,w-g} = 20.48 \text{ w/m}^2$$

$$hva = 5.7 + 3.8 \text{ V}$$

$$hva = 5.7 + 3.8 (1.69)$$

$$hva = 12.12$$

$$q_{c,g-a} = 12.12 (38.1 - 26.8)$$

$$q_{c,g-a} = 136.95 \text{ w/m}^2$$

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5}$$

$$T_s = 286.77^\circ\text{K}$$

$$q_{r,g-a} = 0.9 (5.6697 \times 10^{-8}) \left(\frac{311.26^4}{5} - \frac{286.77^4}{5} \right)$$

$$q_{r,g-a} = 133.86 \text{ w/m}^2$$

$$\alpha_v H_c = 0.045 (242.3)$$

$$\alpha_v H_c = 10.9$$

Reemplazando los valores calculados en la ecuación 2.3.2, se encuentra un error del orden del 3.5%.

Cálculo del Coeficiente de Convección Externo (h_o)

Prueba C.3.2

Paredes Laterales

DatosAltura pared lateral del destilador $L = 0.2325$ mTemp. Promedio de la pared externa $T_o = 33.15^\circ\text{C}$ Temp. ambiente promedio $T_a = 29.44^\circ\text{C}$

Según (11)

Para aire Tabla (A-3).

 $Pr = 0.72$

$$Gr = \frac{L^3 \rho^2 g \beta (T_o - T_a)}{\mu^2}$$

$$\frac{\rho^2 g \beta}{\mu^2} = 1.118 \times 10^8 (\text{m}^3 - ^\circ\text{C})^{-1}$$

$$Gr = (0.2325)^3 \text{m}^3 (1.118 \times 10^8) (\text{m}^3 - ^\circ\text{C})^{-1} (33.15 - 29.44)^\circ\text{C}$$

$$Gr = 5.2129 \times 10^6$$

Por transferencia de calor y por convección libre desde placas y cilindros verticales.

$$N_u = 0.555 (Gr Pr)^{1/4}$$

$$N_u = 24.43$$

$$N_u = \frac{\bar{h}_c L}{K}$$

$$K = \text{Conductividad térmica del aire Ref. (11)}$$

$$\text{Para } T = 29.44^\circ\text{C}$$

$$K = 0.0266 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

$$\bar{h}_c = \frac{N_u K}{L} = \frac{(24.43) (0.0266)}{0.2325} \times \frac{1}{\text{m}} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

$$\bar{h}_c = 2.7950 \frac{\text{W}}{\text{m}^2^\circ\text{C}}$$

Base \bar{h}_c

Las ecuaciones para placas verticales también pueden usarse para calcular coeficiente de transferencia de calor por convección libre desde superficies verticales de cilindros, con suficiente aproximación. Sin embargo, el comportamiento de las superficies horizontales es ligeramente diferente, McAdams recomienda la ecuación:

$$N_u = 0.27 (Gr_L Pr)^{1/4}$$

Donde L es la longitud del lado del cuadrado

Dominio Laminar para Gr de 3×10^5 a 3×10^{10}

Para aire

$$\text{Pr} = 0.72$$

$$\frac{g\beta\rho^2}{\mu^2} = 1.118 \times 10^8 \text{ (m}^3\text{°C)}^{-1}$$

$$\text{Gr} = L^3 \frac{g\beta\rho^2}{\mu^2} (T_b - T_a)$$

$$\text{Gr}_L = (1.14)^3 \text{ m}^3 (1.118 \times 10^8) \text{ (°C-m}^3\text{)}^{-1} (44.5 - 29.44) \text{ °C}$$

$$\text{Gr}_L = 2.4943 \times 10^9$$

$$\text{Nu}_u = 55.58$$

$$\bar{h}_c = \frac{\text{Nu}_u K}{L} = \frac{(55.58) (0.0266)}{1.14}$$

$$\bar{h}_c = 1.3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

Cálculo del Coeficiente de Convección Interno (hi)

Bandeja - Vapor de Agua

Altura pared lateral de la bandeja $L = 0.2225 \text{ m}$ Temp. promedio de la pared interior $T_i = 51.9^\circ\text{C}$ Temp. promedio del ambiente interior $T_{ai} = 59.67^\circ\text{C}$

Para Vapor de Agua Tabla (A-3)

$$Pr = 0.96$$

$$Gr = L^3 \frac{\rho^2 g \beta}{\mu^2} (T_{ai} - T_i)$$

$$\frac{\rho^2 g \beta}{\mu^2} = 0.557 \times 10^8 \text{ (m}^3\text{ }^\circ\text{C)}$$

$$Gr = 4.7672 \times 10^6$$

$$Nu_u = 0.555 (Gr Pr)^{1/4}$$

$$Nu_u = 25.67$$

$$Nu_u = \frac{hiL}{K}$$

$$hi = \frac{Nu_u K}{L} = \frac{(25.67) \times (0.02510)}{0.2225}$$

$$hi = 2.896 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

Cálculo de Pérdidas de Calor por Conducción hacia el Ambiente

Prueba C.3.2

Superficie Lateral

$$q_s = U_s (T_i - T_a)$$

$$q_s = \frac{1}{\sum R_n} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{1}{h_o}}$$

$$T_w = 60.42^\circ\text{C} \quad \frac{1}{2.896} - \frac{1.2 \times 10^{-3}}{15.6} + \frac{3 \times 10^{-3}}{0.319} + \frac{5 \times 10^{-2}}{0.0032} + \frac{1.2 \times 10^{-3}}{8.31} + \frac{1}{2.7950}$$

$$T_a = 29.44^\circ\text{C} \quad 0.3453 + 0.0001 + 0.0094 + 15.615 + 0.0001 + 0.3578$$

$$x_1 = 1.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_2 = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_3 = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$x_4 = 1.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_i = 2.896 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_o = 2.7950 \text{ w/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$k_1 = 15.6 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$k_2 = 0.319 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$k_3 = 0.0032 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$k_4 = 8.31 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

BIBLIOTECA

$$U_s = \frac{1}{16.34}$$

$$q_s = \frac{0.5073}{16.34} \quad (60.42 - 29.44) \quad \text{30.98}$$

$$q_s = 0.9618 \frac{w}{m^2}$$

Base

$$q_b = U_b (T_w - T_b)$$

$$U_b = \frac{1}{R_n} = \frac{1}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{1}{h_o}}$$

$$T_w = 60.42^\circ\text{C}$$

$$T_a = 29.44^\circ\text{C}$$

$$x_1 = 1.2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$x_2 = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_3 = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$x_4 = 1.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$k_1 = 15.6 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$k_2 = 0.319 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$k_3 = 0.0032 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$k_4 = 8.31 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

$$h_o = 1.3 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

$$U_b = \frac{1}{25.78}$$

$$q_b = \frac{1}{25.78} (60.42 - 29.44)$$

$$q_b = 1.20 \text{ w/m}^2 \text{ Ab.}$$

Reemplazando en la ecuación 2.3.18

$$q_k = 2.16 \text{ w/m}^2$$

Cálculo del Rendimiento del Fogón

El rendimiento del fogón o lo que es lo mismo el porcentaje de calor utilizado (PCU) puede ser expresado como:

$$\text{PCU} = \frac{\text{calor absorbido por el agua}}{\text{potencial de energía en leña}}$$

Según (23):

$$\text{PCU} = \frac{A_c C_a (T_f - T_i) + A_e L}{L_q H_{sL} - C_r H_{sc}} \quad (6.4.1)$$

Prueba C.4.1

$$T_i = 38.4^\circ\text{C}$$

$$T_f = 56.7^\circ\text{C}$$

$$A_c = 10 \text{ Kg}$$

$$C_a = 4.2 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$L = 2260 \text{ KJ/Kg}$$

$$L_q = 2.648 \text{ Kg}$$

$$H_{sL} = 15000 \text{ KJ/Kg}$$

$$C_r = 0.015 \text{ Kg}$$

$$H_{sc} = 29000 \text{ Kg}$$

$$PCU = \frac{(10\text{Kg}) (4.2 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}) (56.7 - 38.4)^\circ\text{C} + (5.179 \text{ Kg}) (2260 \text{ KJ/Kg})}{(2.648 \text{ Kg}) (17000 \text{ KJ/Kg}) - (0.015 \text{ Kg}) (29000 \text{ KJ/Kg})}$$

$$PCU = 27.98\%$$

En igual forma se procede para las pruebas siguientes.

(Ver Tabla C.7.3)

Una forma gráfica de mostrar la eficiencia en un proceso es mediante el diagrama de SANKEY.

El gráfico 4.1.1 representado por anchos de bandas proporcionales de energía nos dá una idea de la distribución de la energía, siendo la eficiencia la relación entre la energía entregada al agua a la energía química contenida en el combustible.

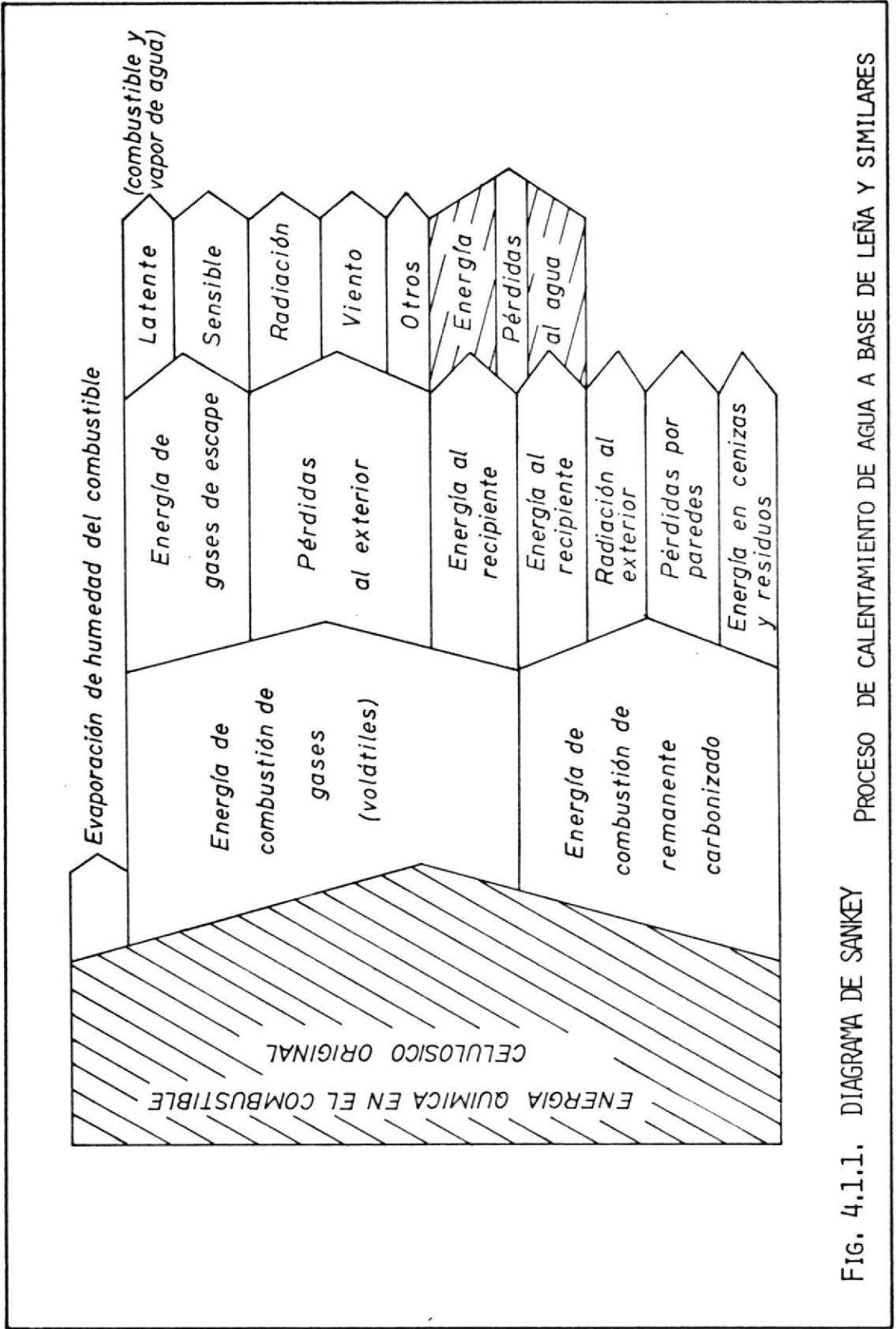


FIG. 4.1.1.1. DIAGRAMA DE SANKEY PROCESO DE CALENTAMIENTO DE AGUA A BASE DE LEÑA Y SIMILARES

Cálculo de la eficiencia del Destilador

Fuente Energética : Solar/Leña

$$\eta = \frac{\bar{h}_{fg} \int m_p dt}{H_c + L_q H_{sL}}$$

$$\bar{h}_{fg} = \frac{\sum h_{fg}}{10}$$

Prueba C.5.1

$$\bar{h}_{fg} = 2349.54 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$H_c = 4797.65 \text{ KJ}$$

$$L_q = 1.568 \text{ Kg}$$

$$H_{sL} = 15000 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{me} = \frac{2349.54 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} (5.302) \text{ Kg}}{4797.65 \text{ KJ} + (1.568) \text{ Kg} (15000) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\eta_{me} = 43.98\%$$

Así mismo se procede para el cálculo de eficiencia en el resto de pruebas . (Ver Cuadro C.7.5)

CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL DESTILADOR

FUENTE ENERGETICA: Solar/gas

$$\eta_{me} = \frac{\int h_{fg} m_p dt}{H_c + m_g H_{sg}}$$

$$\bar{h}_{fg} = \frac{\sum h_{fg}}{10}$$

PRUEBA C.6.1

Masa de Biogas = V x ρ Masa de Biogas = A x h x $\rho_o \left(\frac{p}{p_o} \right) \left(\frac{T_o}{T} \right)$

Donde:

ρ = Densidad del biogas (20% < ρ_{air})
(Kg/m³)

ρ_o = Densidad referencial del biogas
(Kg/m³)

P_o = Presión referencial, cm H₂O

T_o = Temperatura referencial, °K

P = Presión de trabajo, cm. H₂O

T = Temperatura de trabajo, °K

Aquí:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (56 \text{ cm})^2}{4} = 2463 \text{ cm}^2$$

Donde:

$$D = 56 \text{ cm. diámetro de la campana}$$

El volumen es:

$$V = A \times h = 2463 \text{ cm}^2 \times 102 \text{ cm}$$

$$V = 251.22 \text{ Lt.}$$

Aquí:

$$h = 102 \text{ cm.}$$

La densidad del biogas será:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{P}{P_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right)$$

$$\rho = (0.8) (1.3) \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \left(\frac{1030 + 12.5}{1030} \right) \frac{\text{cm H}_2\text{O}}{\text{cm H}_2\text{O}} \left(\frac{273}{273+27} \right) \frac{^\circ\text{K}}{^\circ\text{K}}$$

$$= 0.9578 \text{ Kg/m}^3$$

En esta ecuación

$$\left(\frac{P}{P_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) ; \text{ factor de conversión para la densidad, constante}$$

Finalmente tendremos que:

$$m_g = (251.22 \times 10^{-3}) \text{ m}^3 \times 0.9578 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_g = 24.06 \times 10^{-2} \text{ Kg}$$

$$h_{fg} = 2367.583 \text{ KJ/Kg}$$

$$H_c = 8225.89 \text{ KJ}$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{2367.583 \text{ KJ/Kg} (2.2 \text{ Kg})}{8225.89 \text{ KJ} + (24.06 \times 10^{-2} \text{ Kg}) (49650 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}})} \\ &= 25.82\% \end{aligned}$$

Del mismo modo se procede para calcular la eficiencia en los días siguientes. (Ver Tabla C.7.4).

CAPITULO VII

7. ANALISIS ECONOMICO

7.1. Costo de Materiales de Construcción

A continuación se detallan en la tabla 7.1.1 los rubros que constituyen el costo de materiales que se ha invertido en la construcción del prototipo. Cabe señalar que se trató de minimizar en lo posible los costos antes señalados.

TABLA 7.1.1

COSTO DE MATERIALES

<u>CANTIDAD</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>S/UNIDAD</u>	<u>TOTAL</u>
1/2	Plancha de acero inoxidable brillante. 1.22 m x 2.44 m x 0.8mm	3000	1500
2	Planchas galvanizadas 1.22 m x 2.44 m x 0.75mm	1190	2380
3	Angulos L de 26.25 x 0.125mm (1 1/4 x 1/8)	300	900
1	Angulos L de 0.625 x 0.125 mm (5/8 x 1/8)	146	146
2	Platinas de 0.75 x 0.125 mm (3/4 x 1/8)	125	250

CANTIDAD	MATERIAL	S/.UNIDAD	TOTAL
3	Libras de Soldadura E - 6011 de 1/8	88	264
1	Varilla cuadrada 12 mm x 6 m	193	193
100	Remaches de 0.125 x 0.375 mm (1/8" x 3/8")	1.10	110
2.10m	Perfil de Al. en U	45	90
20	Tornillos T.P. 8 x 5/8	4	80
1	Plancha de Eternit 120 x 240 x 0.3 cm.	515	515
2	Brocas HHSS de 1/8"	45	90
2	Hojas de Sierra Sandflex	100	200
1 Lt.	Masilla Plástica	277	277
2	Tubos de Silicón	570	1140
28 pie ²	Lana de vidrio 1 x 48 x 50	27	756
1	Rollo de Teflón	50	50
1	Llave de paso de 1/2"	310	310
1	Pegamento Epoxi	165	165

CANTIDAD	MATERIALES	S/.UNIDAD	TOTAL
2	Vidrios 55 x 100 x 3 mm	430	860
1	Codo galvanizado de 1/2"	45	45
1	Litro de pintura negro mate	150	150
1	Litro de pintura anticorro <u>s</u> siva gris	150	150
1	Litro de pintura martilla <u>a</u> da	210	210
1	Litro de diluyente	50	50
10	Ladrillos de piedra pómez	5,60	56
5 m	Cabezal de celosía pesada de Al.	145	725
0.4m ²	Empaque: corcho	320	128
TOTAL			11790

TABLA 7.2.2

COSTO TOTAL DEL MODELO

COSTO	SUCRES
Costo de Materiales	11.790
Costo de Mano de obra	7.600
Imprevistos y otros	1.800
TOTAL	21.190

7.3. ECONOMIA DEL PROCESO

El costo es analizado considerando los siguientes parámetros:

- 1.- Capital invertido
- 2.- Costo de operación, mantenimiento y reparación
- 3.- Producto obtenido

En procesos corrientes de destilación de agua de mar el costo de la energía es bastante elevado y es un parámetro muy significativo, en nuestro caso sin embargo es el capital invertido en la construcción el que representa el total del costo de producción.

El costo será obtenido usando la relación:

$$c = \frac{CI (PA + MR + I) + O.L}{D_a A_d}$$

Donde:

CI = Capital invertido, sucres

$$PA = \text{Pago anual} = r \left[1 + \frac{1}{1 + \frac{r}{100}^n - 1} \right] \% \text{ año}$$

r = Porcentaje de interés anual, % año

MR = Mantenimiento y Reparación, % año

n = Período de amortización, años

I = Imprevisto, % año

O = Labor de operación, horas-hombre/año

L = Labor de limpieza, sucres/hora-hombre

D_a = Destilado anual, litros/m² - año

A_d = Area del destilador, m²

En nuestro sistema:

$$CI = 21190$$

$$r = \text{se asume un íntefes del 10\% anual}$$

$$n = 20 \text{ años, vida útil del destilador}$$

$$PA = 10 \left[1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{10}{20}\right)^{20} - 1} \right] = 10\% \text{ anual}$$

$$MR = 1\% \text{ anual del capital invertido}$$

$$I = 0,4\% \text{ anual del capital invertido}$$

$$O = \text{Se estima un control de } 0,125 \text{ horas-hombre/día}$$

$$= 45.62 \text{ horas-hombre/año}$$

$$L = 0.05\% \text{ de CI/horas-hombre}$$

$$= 10.6 \text{ sucres/hora-hombre}$$

$$O.L. = 483.57 \text{ sucres/año}$$

Destilado obtenido en período de prueba (10h00 - 18h00):

175.49 Lt/m²-mes agregado un 10% que es obtenido fuera de las

horas de prueba: 193.04 Lt/ m²- mes

$$D_a = 2316.47 \text{ Lt/m}^2\text{-año}$$

$$A_d = 1\text{m}^2$$

$$c = \frac{21190 \left(0.10 + \overset{0.010}{0.10} + 0.04 \right) + 483.57}{2316.47}$$

$$c = 1.58 \text{ sucres/litro}$$

En nuestro medio, el agua distribuida en tanqueros en el subur**u**bio de Guayaquil tiene un costo de 40 sucres los 50 galones, ó

lo que es lo mismo 0.21 sucres/litro, es decir un precio mucho menor al nuestro. Por otra parte, en la zona peninsular el agua de pozo que se distribuye de la misma manera y que es de menor calidad, tiene un costo de 30 sucres los 5 gal. ó 1.59 sucres/litro, un precio ligeramente superior al que hemos obtenido con energía solar.

La producción del sistema dependerá del área del destilador; con 1 m² de área obtenemos ^{alrededor} de 6 litros por día en promedio, y el tamaño del destilador solar a instalarse estará en función de ello.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las óptimas condiciones de trabajo del sistema deberán ser aquellas que permitan captar la mayor parte de radiación solar incidente al mismo tiempo que la temperatura de la cubierta se mantenga lo más baja posible. Para ello debe existir un óptimo entre las dos temperaturas, T_w y T_g , por lo tanto se debe experimentar en lugares junto al mar donde se tiene velocidades de viento mayores.
2. Existe un retorno de condensado por las paredes laterales. Debe instalarse canalones de recolección en éstas independientemente, para establecer la cantidad que puede ser aprovechada.
3. Las primeras pruebas se realizaron con agua potable, se pudo comprobar que no se presentó sedimentación en la bandeja.
4. Con el agua del Río Guayas se presentó sedimentación, y fué fácilmente eliminada al hacer pasar agua limpia por el sistema de carga.
5. Con agua del Estero Salado presentó sedimentación que se adhiere a la película colectora lo cual hace difícil la limpieza. Por lo que es recomendable incluir en el diseño de un destilador destinado a trabajar con agua salada, una cubierta fácilmente desmon

table, ó una entrada que permita limpiar manualmente.

6. Para evitar la transmisión de calor por conducción, la cubierta debe estar aislada térmicamente del resto del sistema.
7. Limpiar regularmente la cubierta, especialmente en sitios con mucho polvo.
8. El retorno por goteo de la película de condensado formada sobre la cubierta es prácticamente nulo.
9. Una de las ventajas que presenta esta instalación dotada de un hogar alimentado con combustibles renovables (leña, carbón, biogas), es mantener el equipo en funcionamiento en ausencia de la radiación solar.
10. Realizar pruebas con niveles de agua mayores que permitan apreciar diferencias más marcadas, puede ser 4 - 5 cm.
11. De acuerdo al uso que tenga el condensado y según las condiciones de trabajo, realizar la limpieza del sistema con agentes químicos que eliminen microorganismos.
12. Variar la distancia entre la superficie del agua y la cubierta.

Se RECOMIENDA a los Directivos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en las distintas dependencias:

1. Dotar de un pequeño taller con las herramientas y equipos necesarios para uso del Laboratorio de Energía Solar.
2. Disponer de información actualizada en lo que se refiere a datos; suministrados por los equipos de medición.
3. Cuando se realicen pruebas con leña y energía solar es recomendable que la temperatura del agua en la bandeja no sobrepase los 90°C para evitar que la cubierta se fracture por cambios bruscos de temperatura.
4. Para futuras experimentaciones disponer el equipo en la orientación ESTE-OESTE, es decir una cubierta orientada al NORTE y otra orientada al SUR.

Es sólo en épocas recientes en que se ha visto la necesidad de fomentar el desarrollo rural como un camino para aumentar la productividad del país y promover el bienestar de sus gentes, de ahí que la importancia de este campo justifica plenamente cualquier esfuerzo que se haga en el sentido de promover medios y ayuda para la investigación y aplicación óptima de los recursos energéticos.

A P E N D I C E S

APENDICE A

Cálculo del Destilador Solar

Como el destilador a diseñarse es con cubierta de dos pendientes, existen dos ángulos de incidencia sobre ésta para cada ángulo de incidencia de los rayos solares con el suelo. Estos datos son indispensables para hacer un análisis de la transmisividad global de la cubierta a distintos ángulos de inclinación de la misma.

Debemos saber los ángulos de incidencia promedio de los rayos solares con el suelo en ésta ciudad, ya que intervienen variables como el ángulo de declinación, latitud, ángulo horario.

La ecuación que relaciona el ángulo de incidencia que es el ángulo formado por la normal al plano en forma general es la siguiente:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \operatorname{Sen}(\delta) \operatorname{Sen}(\phi) \operatorname{Cos}(\beta) - \operatorname{Sen}(\delta) \operatorname{Cos}(\phi) \operatorname{Sen}(\beta) \operatorname{Cos}(\gamma) \\ & + \operatorname{Cos}(\delta) \operatorname{Cos}(\phi) \operatorname{Cos}(\beta) \operatorname{Cos}(\omega) \\ & + \operatorname{Cos}(\delta) \operatorname{Sen}(\phi) \operatorname{Sen}(\beta) \operatorname{Cos}(\gamma) \operatorname{Cos}(\omega) \\ & + \operatorname{Cos}(\delta) \operatorname{Sen}(\beta) \operatorname{Sen}(\gamma) \operatorname{Sen}(\omega) \end{aligned} \quad (\text{A1})$$

Para superficies horizontales y orientadas hacia el sur $\beta = 0$ y $\gamma = 0$ respectivamente. Por lo que la ecuación se reduce a:

$$\cos \theta = \operatorname{Sen}(\delta) \operatorname{Sen}(\phi) + \operatorname{Cos}(\delta) \operatorname{Cos}(\phi) \operatorname{Cos}(\omega) \quad (\text{A2})$$

Donde:

- δ = Declinación Solar
 ϕ = Latitud
 ω = Angulo Horario
 θ = Angulo de incidencia de los rayos del Sol con el suelo

La declinación solar se calcula mediante la ecuación:

$$\delta = 23.45^\circ \text{Sen} \left[360 \frac{284 + n}{365} \right] \quad (\text{A3})$$

δ Varía de 23.45° a -23.45°

n = día del año desde el 1º de Enero

$$W = \frac{360}{24 \text{ hr}} = 15^\circ/\text{hr}$$

Por lo tanto para calcular el ángulo de incidencia para cada hora realizamos un programa de computadora, los resultados se presentan en la Tabla A.4 en forma resumida (promedio mensual).

Cálculo del Angulo de Inclinación de la cubierta

Método de radiación para determinar la transmisividad de la cubierta

La superficie exterior de la cubierta del destilador está expuesta al aire ambiente y en la superficie interior existe la película de condensado formada por la condensación del vapor de agua de la mezcla aire-vapor de agua contenido en el interior del destilador.

Debido a que la película de condensado es pequeña podemos asumir que no absorbe radiación solar. (Fig. A-1)

$$q_{01} = r_1 q_{i1} + (1-r_1) q_{i2} \quad (A4)$$

$$q_{02} = (1-r_1) q_{i1} + r_1 q_{i2} \quad (A5)$$

$$q_{03} = r_2 q_{i3} + (1-r_2) q_{i4} \quad (A6)$$

$$q_{04} = (1-r_2) q_{i3} + r_2 q_{i4} \quad (A7)$$

$$q_{05} = r_3 q_{i5} + (1-r_3) q_{i6} \quad (A8)$$

$$q_{06} = (1-r_3) q_{i5} + r_3 q_{i6} \quad (A9)$$

q_i se relaciona con q_o :

$$q_{i1} = Q \quad (A10)$$

$$q_{i2} = (1-\alpha) q_{03} \quad (A11)$$

$$q_{i3} = (1-\alpha) q_{02} \quad (A12)$$

$$q_{i4} = q_{05} \quad (A13)$$

$$q_{i5} = q_{04} \quad (A14)$$

$$q_{i6} = 0 \quad (A15)$$

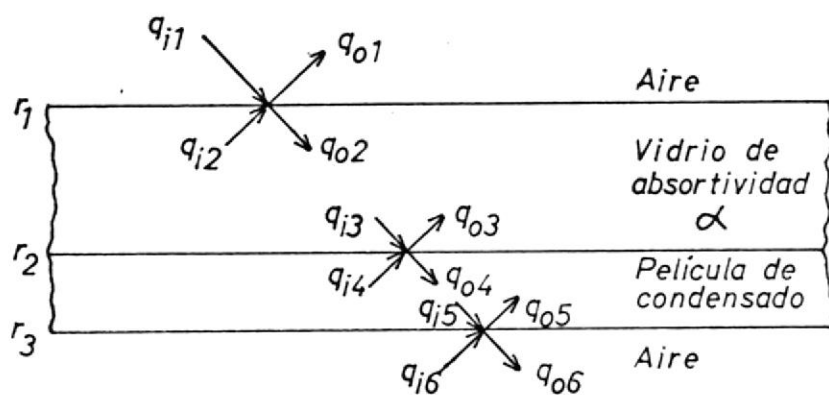


FIG. A1 TRANSMISIVIDAD TOTAL A TRAVES DE LA CUBIERTA

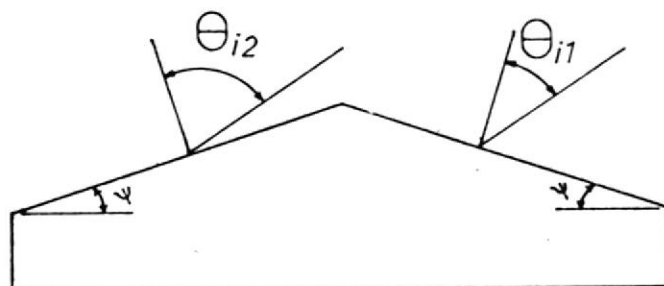


FIG. A2 ANGULOS DE INCIDENCIA SOBRE LA CUBIERTA

Reemplazando las ecuaciones (A10) a (A15) en las ecuaciones (A4) a (A9) obtenemos:

$$q_{01} = r_1 Q + (1-r_1) (1 - \alpha) q_{03} \quad (\text{A16})$$

$$q_{02} = (1-r_1) Q + r_1 (1 - \alpha) q_{03} \quad (\text{A17})$$

$$q_{03} = r_2 (1 - \alpha) q_{02} + (1 - r_2) q_{05} \quad (\text{A18})$$

$$q_{04} = (1-r_2) (1 - \alpha) q_{02} + r_2 q_{05} \quad (\text{A19})$$

$$q_{05} = r_3 q_{04} \quad (\text{A20})$$

$$q_{06} = (1 - r_3) q_{04} \quad (\text{A21})$$

Reemplazando la ecuación (A18) en la ecuación (A17) obtenemos:

$$q_{02} = \frac{(1-r_1) Q + r_1 (1-r_2) (1 - \alpha) q_{05}}{1 - r_1 r_2 (1 - \alpha)^2} \quad (\text{A22})$$

Reemplazando la ecuación (A20) y (A22) en la ecuación (A19) obtenemos:

$$q_{04} = \frac{(1-r_1) (1-r_2) (1 - \alpha) q}{(1-r_2 r_3) \left[1 - r_1 r_2 (1 - \alpha)^2 \right] - r_1 r_3 (1-r_2)^2 (1 - \alpha)^2} \quad (\text{A23})$$

Reemplazando la ecuación (A23) en la ecuación (A21) obtenemos:

$$\frac{q_{06}}{q_{11}} = \frac{(1-r_1)(1-r_2)(1-r_3)(1-\alpha)}{(1-r_2r_3) \left[1-r_1r_2(1-\alpha)^2 \right] - r_1r_3(1-r_2)^2 (1-\alpha)^2} \quad (\text{A24})$$

Ángulos de Incidencia en la Cubierta del Destilador

La cubierta del destilador está formada por dos caras por lo tanto existen dos ángulos de incidencia sobre ésta. Por geometría y con los datos de la Tabla A-4 (a las 12h00) y para ángulos de inclinación de la cubierta que varía entre 10 y 40° así elaboramos la Tabla A-5.

Aplicando la Ley de Snell y con los datos de la Tabla A-5 se puede calcular los ángulos de incidencia y refracción de cada interfase Tablas A-6, A-7, A-8.

Los ángulos de incidencia (θ_{ic}), de reflexión (θ_1) y de refracción (θ_2), Fig. A-3 son medidos entre la normal a la superficie y el rayo respectivo.

$$\text{Para la reflexión} \quad \theta_{ic} = \theta_1$$

$$\text{Para la refracción} \quad \frac{\text{Sen } \theta_1}{\text{Sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{A25})$$

Usando la Ley de Fresnel calculamos la reflectividad en cada inter fase, Tablas A-9, A-10, A-11.

$$r = \frac{\tan^2 (\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2 (\theta_1 + \theta_2)} + \frac{\text{Sen}^2 (\theta_1 - \theta_2)}{\text{Sen}^2 (\theta_1 + \theta_2)} \quad (\text{A26})$$

Los valores de absorptividad correspondiente a los ángulos de inciden cia de la Tabla A-5, se toman para vidrio común de ventanas con bajo contenido de hierro de la Fig. A4.

El rango en el cual la absorptividad crece en forma lineal está entre 0° y 45° que son los ángulos de incidencia del Sol y como nuestro aná lisis está entre 10° y 40° , asumimos entonces que se trata de una recta cuya ecuación aproximada es:

$$\alpha = 0.0379 + 0.000444 (\theta_{ic}) \quad (\text{A27})$$

Reemplazando los valores de las Tablas A-9, A-10, A-11 y A-12 en la ecuación (A24), obtenemos la transmisividad correspondiente. Tabla A-13.

Geometría del Destilador

La transmisividad de la cubierta depende de la inclinación de cada cara, considerando la Fig. A-5, podemos ver que del total de la radia ción incidente sobre el destilador, la fracción sobre la cubierta 1

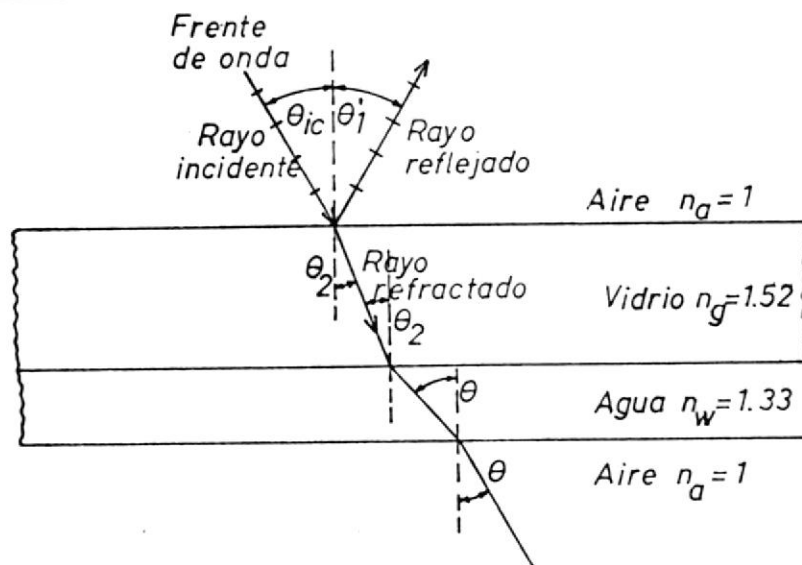


FIG. A3 ANGULOS DE INCIDENCIA Y REFRACCION DE INTERFASE

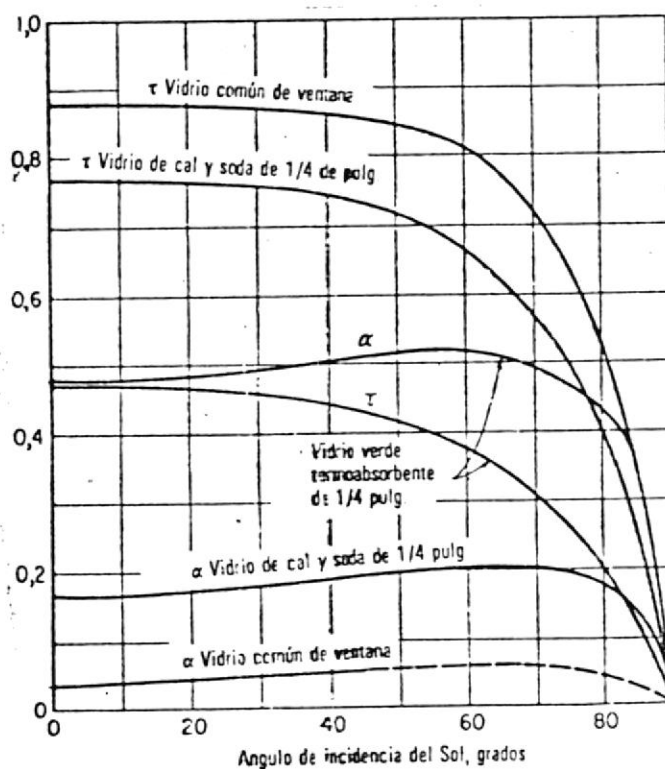


FIG. A4. TRANSMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD DE ALGUNOS VIDRIOS DE VENTANA.

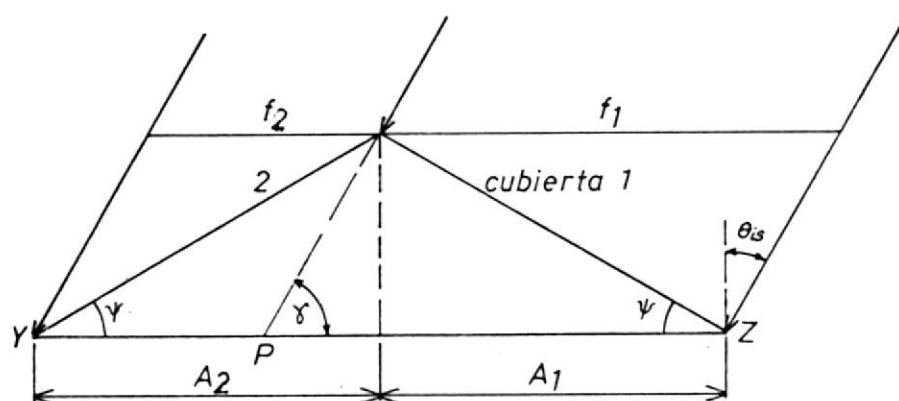


FIG. A5 GEOMETRIA DEL DESTILADOR

es ZP/YZ y sobre la cubierta 2 es YP/YZ .

En la figura A-5

$$YZ = YP + PZ \quad (\text{A28})$$

$$\gamma = 90 - \theta_{i2} \quad (\text{A29})$$

Resolviendo los triángulos por la Ley del Seno, tenemos:

$$f_1 = PZ/YZ = \frac{1}{1 + \frac{\text{Sen}(\gamma - \psi)}{\text{Sen}(\gamma + \psi)}} \quad (\text{A30})$$

$$f_2 = YP/YZ = \frac{1}{1 + \frac{\text{Sen}(\gamma + \psi)}{\text{Sen}(\gamma - \psi)}} \quad (\text{A31})$$

Si:

$$P = \frac{\text{Sen}(\gamma - \psi)}{\text{Sen}(\gamma + \psi)} \quad (\text{A32})$$

Tenemos que:

$$f_1 = \frac{1}{1 + P} \quad (\text{A33})$$

$$f_2 = \frac{P}{1 + P} \quad (\text{A34})$$

De acuerdo a la Fig.A-5 el calor transmitido por unidad de área horizontal se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Energía total incidente} = Q(A_1+A_2) \quad (\text{A35})$$

$$\text{Fracción incidente en 1} = f_1 Q(A_1+A_2) \quad (\text{A36})$$

$$\text{Fracción incidente en 2} = f_2 Q(A_1+A_2) \quad (\text{A37})$$

$$\text{Cantidad transmitida por 1} = \zeta_1 f_1 Q(A_1+A_2) \quad (\text{A38})$$

$$\text{Cantidad transmitida por 2} = \zeta_2 f_2 Q(A_1+A_2) \quad (\text{A39})$$

$$\text{Energía total transmitida} = \zeta_1 f_1 Q(A_1+A_2) + \zeta_2 f_2 Q(A_1+A_2) \quad (\text{A40})$$

$$\text{También} = \zeta_m Q(A_1+A_2) \quad (\text{A41})$$

$$\text{Donde:} \quad \zeta_m = \zeta_1 f_1 + \zeta_2 f_2 \quad (\text{A42})$$

ζ_1 y ζ_2 Tabla A-13

f_1 y f_2 Tabla A-14

Q es el promedio entre (11h00 - 12h00) y (12h00 - 13h00), Tabla A-3

(A_1+A_2) es el área total de la base del destilador = 1 m^2

Utilizando la ecuación (A33) y (A34) elaboramos la Tabla A-14.

La Tabla A-15 elaboramos mediante la ecuación (A41). Además calculamos el flujo de calor transmitido a través de la cubierta cuando los rayos solares son normales con una de las caras del destilador, o

cuando el ángulo de incidencia sobre ésta es cero ($\theta_{is} = \psi$), elaboramos la Tabla A-16.

Criterios para Determinar el Angulo Optimo

Con los datos de las Tablas A-15 y A-16 elaboramos la Fig. A-6 que tiene como absisa el ángulo de inclinación de la cubierta y como ordenada la radiación total transmitida.

Como se puede apreciar en éste gráfico, la radiación total transmitida decrece a medida que el ángulo de inclinación de la cubierta se incrementa, no así cuando el ángulo de incidencia sobre la cubierta se aproxima a cero grados, según la Tabla A-16, es decir cuando una de las caras de ésta es normal a los rayos solares.

Si sumamos la radiación transmitida para cada ángulo de inclinación de la cubierta durante los 12 meses, obtenemos la radiación total transmitida a distintos ángulos de inclinación, de ésta manera elaboramos la Fig. A-7.

De la Fig. A-7 se puede apreciar que existen tres ángulos de inclinación de la cubierta para los cuales la ganancia de calor tiene su máximo, por lo que establecemos cuál de ellos es el más conveniente ya que de ello dependerá la producción de condensado.

En este gráfico apreciamos que con un ángulo de 12° obtenemos una ma

yor ganancia de calor en los meses de Enero, Febrero, Marzo y Agosto, estos son los meses con elevada intensidad de radiación.

Con un ángulo de 18° la ganancia de calor aumenta en los meses de Septiembre, Abril, Mayo que son los meses de media alta intensidad de radiación.

Es conveniente seleccionar el ángulo de tal manera que permita la máxima captación posible de la radiación solar y a su vez sea el adecuado para permitir que el condensado en la cara inferior del vidrio corra hacia los canalones que conducen éste hacia el exterior.

Si el destilador trabajara solo a base de energía solar sería conveniente construir el modelo con cierto ángulo para conseguir que la producción del destilador se mantenga estable, esto ocurre con un ángulo de 23° .

Debemos tomar en cuenta que al aumentar la pendiente, se incrementa el área y por supuesto el costo del aparato, decrecerá la temperatura media de operación esto implica una disminución de la eficiencia de operación. Además la ganancia de calor a 23° es menor que a 18° , por lo tanto el ángulo de inclinación de la cubierta será de 18° , también como el destilador trabaja con leña y biogas la producción de condensado será mayor y con ese ángulo conseguiremos que todo el flujo descienda hacia el canal de recolección, así evitaremos que el agua fresca retorne a la bandeja de evaporación por goteo desde la cubierta.

VALORES MEDIOS DE LA TEMPERATURA AMBIENTE PARA GUAYAQUIL, PROV. DEL GUAYAS (°C)

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
8-9	23.8	24.3	25.1	25.7	22.6	21.4	20.4	20.0	22.2	23.1	23.2	24.33
9-10	25.6	26.0	27.2	27.8	24.4	22.9	22.2	22.1	24.6	25.2	26.0	25.5
10-11	27.5	27.6	29.0	29.2	26.5	24.8	24.3	24.1	26.7	26.9	27.9	27.2
11-12	29.3	29.1	30.2	30.4	28.5	26.2	25.7	24.2	27.9	28.1	28.9	28.1
12-13	30.4	30.0	31.3	31.0	29.5	27.5	27.1	26.4	29.2	28.8	29.9	29
13-14	30.9	30.3	31.5	31.1	30.2	28.5	28.2	28.1	30.3	29.2	30.1	29
14-15	30.8	30.5	31.2	30.9	30.4	29.0	28.6	28.8	30.7	29.4	30.2	29.4
15-16	30.2	30.2	30.5	29.9	29.6	28.5	28.3	29.3	29.7	28.6	29.9	28.8
16-17	29.4	29.4	29.8	28.7	28.3	27.4	27.1	28.9	28.1	27.6	28.6	27.9

TABLA A-1

VALORES MEDIOS DE LA VELOCIDAD DE VIENTO PARA GUAYAQUIL, PROV. DEL GUAYAS (Km/hora)

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DCBRE
8-9	4.86	4.79	4.32	4.28	7.28	7.93	8.71	7.77	5.69	6.59	5.69	5.33
9-10	4.93	5.29	4.97	5.58	6.44	6.63	7.84	7.45	6.15	6.30	5.90	5.40
10-11	5.62	5.87	5.90	5.87	6.95	7.17	7.81	7.88	6.91	7.09	6.01	5.83
11-12	5.11	5.79	6.73	6.70	7.45	7.69	8.31	8.42	7.30	7.27	5.4	5.65
12-13	5.18	6.12	6.77	6.59	7.56	7.16	8.42	8.35	7.63	7.09	5.61	5.58
13-14	5.01	5.83	6.95	6.44	7.38	7.03	7.88	8.24	7.74	7.09	4.82	5.04
14-15	4.93	5.94	6.62	6.55	6.87	6.68	7.56	8.35	8.60	7.38	5.40	5.54
15-16	5.29	5.69	6.34	5.94	6.08	6.58	7.66	8.82	9.61	8.67	5.80	5.97
16-17	5.76	5.40	6.48	5.47	6.73	6.86	8.49	10.12	10.83	89 6	6.59	7.02

TABLA A-2

PROMEDIOS DE INTENSIDAD DE RADIACION SOLAR PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PROV. GUAYAS Q (cal/h·cm²)

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
9h00	17.42	20.66	21.76	23.8	16.63	13.0	13.02	15.31	20.54	17.36	21.14	17.90
10h00	31.14	36.11	36.34	38.22	29.72	22.69	26.18	26.92	37.13	30.76	32.76	28.67
11h00	46.42	50.57	50.41	51.23	44.26	35.12	35.92	40.45	49.16	42.26	41.31	41.79
12h00	56.52	58.31	56.77	53.05	51.91	41.33	44.06	53.49	54.87	47.27	43.96	48.60
13h00	55.59	58.41	60.28	54.08	49.73	45.66	49.82	60.35	57.80	44.06	47.28	39.04
14h00	50.80	50.35	51.31	49.20	46.40	44.74	49.60	56.95	55.40	39.83	37.25	35.24
15h00	37.90	44.31	41.04	42.93	40.34	39.67	43.36	50.37	47.56	35.37	31.93	34.96
16h00	26.08	30.06	27.55	28.28	23.22	28.64	27.41	33.66	35.66	24.82	22.35	21.66
17h00	14.45	16.62	16.49	14.88	13.50	14.46	13.93	20.16	18.34	12.93	12.49	11.16
18h00	6.16	6.28	5.95	3.84	3.61	3.86	3.70	5.54	4.82	2.66	2.81	2.60
TOTAL	342.48	371.68	369.9	360.5	319.32	289.17	307.0	373.2	380.96	297.32	293.28	281.62

TABLA A-3

ANGULOS PROMEDIO DE LOS RAYOS SOLARES CON EL SUELO EN LA CIUDAD
DE GUAYAQUIL, PROV. DEL GUAYAS (θ_{is})

MES	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
ENERO	41.16	29.20	21.17	21.17	29.20	41.16
FEBRERO	38.84	25.21	14.88	14.88	25.21	38.84
MARZO	37.61	22.77	9.20	9.20	22.77	27.61
ABRIL	39.30	25.65	15.40	15.40	25.66	39.30
MAYO	42.61	30.96	23.34	23.34	30.96	42.61
JUNIO	44.60	33.91	27.23	27.23	33.91	44.60
JULIO	43.65	32.52	25.42	25.42	32.52	43.65
AGOSTO	40.47	27.61	18.53	18.53	27.61	40.47
SEPTIEMBRE	37.86	23.18	10.16	10.16	23.18	37.86
OCTUBRE	38.17	23.95	12.30	12.30	23.95	38.17
NOVIEMBRE	40.51	28.13	19.60	19.60	28.13	40.51
DICIEMBRE	42.05	30.62	23.16	23.16	30.62	42.05

TABLA A-4

ANGULOS DE INCIDENCIA SOBRE LA CUBIERTA DEL DESTILADOR (12 m.m.) ($^{\circ}$) (θ_{ic})

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	11.17	4.88	0.80	5.4	13.34	17.23	15.42	8.53	0.16	2.3	9.6	13.16
	31.17	24.88	19.20	25.4	33.34	37.23	35.42	28.53	20.16	22.3	29.6	33.16
15°	6.17	0.12	5.80	0.4	8.34	12.23	10.42	3.53	4.84	2.7	4.6	8.16
	36.17	29.88	24.20	30.4	38.34	42.23	40.42	33.53	25.16	27.3	34.6	38.16
20°	1.17	5.12	10.80	4.6	3.34	7.23	5.42	1.47	9.84	7.7	0.4	3.16
	41.17	34.88	29.20	35.4	43.34	47.23	45.42	38.53	30.16	32.3	39.6	43.16
25°	3.83	10.12	15.80	9.6	1.66	2.23	0.42	6.47	14.84	12.7	5.4	1.84
	46.17	39.88	34.20	40.4	48.34	52.23	50.42	43.53	35.16	37.3	44.6	48.16
30°	8.83	15.12	20.80	14.6	6.66	2.77	4.58	11.47	19.84	17.7	10.4	6.84
	51.17	44.88	39.20	45.4	53.34	57.23	55.42	48.53	40.16	42.3	49.6	53.16
35°	13.83	20.12	25.80	19.6	11.66	7.77	9.58	16.47	24.84	22.7	15.4	11.84
	56.17	49.88	44.20	50.4	58.34	62.23	60.42	53.53	45.16	47.3	54.6	58.16
40°	18.83	25.12	30.80	24.6	16.66	12.77	14.58	21.47	29.84	27.7	20.4	16.84
	61.17	54.88	49.20	55.4	63.34	67.23	65.42	58.53	50.16	52.3	59.6	63.16

TABLA A-5

ANGULOS DE REFRACCION EN LA INTERFASE AIRE - VIDRIO ($^{\circ}$) (θ_{ag})

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DCIBRE
10°	7.29	3.19	0.52	3.53	8.69	11.19	10.03	5.57	0.10	1.50	6.27	8.58
	19.82	16.00	12.44	16.32	21.11	23.35	22.32	18.24	13.05	14.40	18.88	21.0
15°	4.04	0.07	3.79	0.26	5.45	7.98	6.80	2.31	3.17	1.77	3.0	5.33
	22.75	19.05	15.58	19.36	23.98	26.13	25.14	21.22	16.17	17.5	21.84	23.88
20°	0.76	3.35	7.05	3.01	2.18	4.73	3.55	0.96	6.43	5.03	0.26	2.07
	25.55	22.01	18.64	22.31	26.72	28.75	27.82	24.09	19.22	20.5	24.69	26.63
25°	2.51	6.61	10.27	6.27	1.08	1.46	0.27	4.23	9.66	8.28	3.54	1.2
	28.21	24.84	21.61	25.13	29.31	31.20	30.33	26.83	22.17	23.40	27.39	29.22
30°	5.77	9.84	13.45	9.50	4.35	1.81	3.0	7.48	12.85	11.5	6.79	4.47
	30.69	27.54	24.46	27.81	31.71	33.43	32.65	29.40	25.0	26.17	29.94	31.63
35°	9.01	13.02	16.57	12.70	7.61	5.08	6.26	10.70	15.98	14.65	10.02	7.72
	32.98	30.07	27.18	30.32	33.90	35.44	34.74	31.80	27.69	28.79	32.28	33.83
40°	12.21	16.15	19.60	15.83	10.82	8.33	9.49	13.87	19.03	17.73	13.20	10.4
	35.03	32.41	29.74	32.64	35.84	37.17	36.58	33.98	30.21	31.23	34.42	35.78

TABLA A-6

ANGULOS DE REFRACCION EN LA INTERFASE VIDRIO - AGUA ($^{\circ}$) (θ_{gw})

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	8.37	3.66	0.59	4.05	9.98	12.86	11.52	6.39	0.12	1.72	7.19	9.85
	22.89	18.43	14.31	18.81	24.41	27.05	25.83	21.05	15.0	16.58	21.79	24.28
15°	4.63	0.08	4.35	0.3	6.25	9.16	7.81	2.65	3.63	2.03	3.44	6.12
	26.34	22.0	17.94	22.35	27.79	30.35	29.17	24.53	18.63	20.18	25.26	27.67
20°	0.87	3.84	8.09	3.45	2.5	5.45	4.07	1.10	7.38	5.77	0.30	2.37
	29.66	25.46	21.51	25.82	31.05	33.49	32.37	27.92	22.19	23.69	28.63	30.95
25°	2.88	7.59	11.80	7.19	1.24	1.67	0.31	4.85	11.10	9.51	4.06	1.37
	32.84	28.81	24.99	29.16	34.17	36.46	35.41	31.19	25.65	27.11	31.86	34.06
30°	6.62	11.31	15.48	10.91	5.0	2.07	3.44	8.59	14.78	13.22	7.79	5.13
	35.84	32.04	28.36	32.36	37.09	39.2	38.24	34.28	29.0	30.40	34.94	37.0
35°	10.35	14.98	19.10	14.61	8.74	5.83	7.18	12.30	18.41	16.87	11.51	8.86
	38.65	35.09	31.61	35.39	39.79	41.7	40.83	37.2	32.22	33.54	37.8	39.7
40°	14.04	18.61	22.63	18.24	12.44	9.57	10.90	15.96	21.97	20.45	15.19	12.58
	41.19	37.95	34.69	38.23	42.21	43.88	43.14	39.88	35.26	36.50	40.43	42.13

TABLA A-7

ANGULOS DE REFRACCION EN LA INTERFASE AGUA - AIRE ($^{\circ}$) (θ_{w-a})

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	11.17	4.83	0.80	5.40	13.34	17.23	15.42	8.53	0.16	2.30	9.60	13.16
	31.17	24.88	19.20	25.40	33.34	37.23	35.42	28.53	20.16	22.30	29.60	33.16
15°	6.17	0.12	5.80	0.4	8.34	12.23	10.42	3.53	4.84	2.70	4.60	3.16
	36.17	29.88	24.20	30.40	38.34	42.23	40.42	33.53	25.16	27.30	34.60	38.16
20°	1.17	5.12	10.80	4.60	3.34	7.23	5.42	1.47	9.84	7.70	0.40	3.16
	41.17	34.88	29.20	35.40	43.34	47.23	45.42	38.53	30.16	32.30	39.60	43.16
25°	3.83	10.12	15.80	9.60	1.66	2.23	0.42	6.47	14.84	12.70	5.40	1.84
	46.17	39.88	34.20	40.40	48.34	52.23	50.42	43.53	35.16	37.30	44.60	48.16
30°	8.83	15.12	20.80	14.60	6.66	2.77	4.58	11.47	19.84	17.70	10.40	6.84
	51.17	44.88	39.20	45.40	53.34	57.23	55.42	48.53	40.16	42.30	49.60	53.16
35°	13.83	20.12	25.80	19.60	11.56	7.77	9.58	16.47	24.84	22.70	15.40	11.84
	56.17	49.88	44.20	50.40	58.34	62.23	60.42	53.53	45.16	47.30	54.60	58.16
40°	18.83	25.12	30.80	24.60	16.66	12.77	14.58	21.47	29.84	27.70	20.40	16.84
	61.17	54.88	49.20	55.40	63.34	67.23	65.42	58.53	50.16	52.30	59.60	63.16

TABLA A-8

REFLECTIVIDAD DE LA INTERFASE AIRE - VIDRIO (r_1)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	0.04347	0.04372	0.04499	0.04368	0.04356	0.04356	0.0435	0.04365	0.05325	0.04429	0.04350	0.04342
	0.04529	0.03651	0.04368	0.04418	0.04589	0.04763	0.04671	0.04462	0.04369	0.04377	0.04491	0.04587
15°	0.04330	0.06925	0.04374	0.04499	0.04352	0.04338	0.04358	0.04357	0.04333	0.04324	0.04420	0.04363
	0.04706	0.04495	0.04401	0.04510	0.04824	0.05106	0.04961	0.04597	0.04471	0.04430	0.04641	0.04312
20°	0.04512	0.04352	0.04348	0.04353	0.04410	0.04339	0.04329	0.04404	0.04338	0.04365	0.04499	0.04338
	0.05019	0.04646	0.04481	0.04668	0.05215	0.05685	0.05442	0.04832	0.0450	0.04553	0.04399	0.05193
25°	0.04326	0.04344	0.04362	0.04350	0.04479	0.04352	0.04726	0.04359	0.04349	0.04348	0.04312	0.04430
	0.05536	0.04923	0.04623	0.04958	0.05856	0.06622	0.06233	0.05228	0.04659	0.04758	0.05347	0.05827
30°	0.04348	0.04349	0.04378	0.04360	0.04389	0.04333	0.04186	0.04364	0.04364	0.04339	0.04349	0.04364
	0.06389	0.05377	0.04879	0.05440	0.06904	0.08145	0.07989	0.05890	0.04939	0.05111	0.06070	0.06855
35°	0.04347	0.04376	0.04419	0.04360	0.04341	0.04348	0.04341	0.04362	0.04404	0.04381	0.04349	0.04358
	0.07757	0.06127	0.05302	0.06230	0.08588	0.10573	0.09560	0.06952	0.05407	0.05692	0.07258	0.08509
40°	0.04359	0.04411	0.04519	0.04403	0.04365	0.04337	0.04354	0.04384	0.04490	0.04453	0.04372	0.04356
	0.09962	0.07339	0.060	0.07503	0.11293	0.14476	0.12844	0.08668	0.06178	0.0664	0.09150	0.11169

TABLA A-9

REFLECTIVIDAD DE LA INTERFASE VIDRIO - AGUA (r_2)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	0.00470	0.00470	0.00398	0.00527	0.00469	0.00469	0.00467	0.00467	0.00227	0.00467	0.00463	0.00467
	0.00481	0.00473	0.00476	0.00486	0.00494	0.00489	0.00480	0.00480	0.00466	0.00474	0.00478	0.00485
15°	0.00461	0.00444	0.00472	0.00510	0.00464	0.00467	0.00473	0.00469	0.00457	0.00468	0.00466	0.00473
	0.00491	0.00482	0.00472	0.00479	0.00495	0.00509	0.00502	0.00484	0.00474	0.00476	0.00486	0.00495
20°	0.0045	0.00463	0.00467	0.00463	0.00467	0.00472	0.00464	0.00462	0.00469	0.00467	0.00510	0.00456
	0.00505	0.00486	0.00478	0.00489	0.00512	0.00531	0.00522	0.00496	0.00480	0.00483	0.00499	0.00513
25°	0.00471	0.00472	0.00469	0.00463	0.00475	0.00450	0.00476	0.00464	0.00471	0.00471	0.00467	0.00437
	0.00526	0.0050	0.00485	0.00503	0.00538	0.00563	0.00552	0.00515	0.00487	0.00494	0.00519	0.00537
30°	0.00467	0.00473	0.00474	0.00463	0.00481	0.00449	0.00466	0.00471	0.00461	0.00470	0.00465	0.00470
	0.00555	0.00521	0.00498	0.00522	0.00572	0.00605	0.00850	0.00540	0.00501	0.00510	0.00547	0.00573
35°	0.00470	0.00472	0.00476	0.00472	0.00471	0.00470	0.00464	0.00472	0.00474	0.00474	0.0468	0.00466
	0.00596	0.00548	0.00518	0.00550	0.00619	0.00675	0.00657	0.00645	0.00574	0.00522	0.00532	0.00615
40°	0.00471	0.00475	0.00479	0.00475	0.00473	0.00472	0.00469	0.00471	0.00480	0.00477	0.00473	0.00474
	0.00645	0.00585	0.00543	0.00589	0.00671	0.00717	0.00696	0.00617	0.00549	0.00564	0.00629	0.00668

TABLA A-10

REFLECTIVIDAD DE LA INTERFASE AGUA - AIRE (r_3)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	0.02016	0.02053	0.02282	0.02032	0.02023	0.02025	0.02027	0.02035	0.02041	0.02080	0.02032	0.02018
	0.02138	0.02060	0.02027	0.02060	0.02176	0.02298	0.02235	0.03087	0.02041	0.02032	0.02112	0.02175
15°	0.02022	0.02000	0.02030	0.02041	0.02031	0.02016	0.02017	0.02024	0.02034	0.02004	0.02075	0.02021
	0.02258	0.02110	0.02055	0.02126	0.02344	0.02545	0.02440	0.02183	0.02063	0.02070	0.02217	0.02336
20°	0.02162	0.02033	0.02023	0.02034	0.02065	0.02006	0.02015	0.02072	0.02012	0.02035	0.02041	0.02038
	0.02482	0.02220	0.02105	0.02232	0.02628	0.02976	0.02794	0.02350	0.02117	0.02153	0.02399	0.02607
25°	0.02000	0.02010	0.02028	0.02032	0.02097	0.02060	0.02271	0.02035	0.02015	0.02015	0.01998	0.02143
	0.0286	0.02415	0.02204	0.02438	0.03103	0.03697	0.03391	0.02633	0.02229	0.02294	0.02721	0.03082
30°	0.02022	0.02012	0.02032	0.02030	0.02013	0.02089	0.02014	0.02022	0.02028	0.02011	0.02026	0.02027
	0.03515	0.02743	0.02383	0.02791	0.03916	0.04918	0.0440	0.03129	0.02426	0.02548	0.03263	0.03873
35°	0.02015	0.02038	0.02061	0.02021	0.02008	0.02016	0.02023	0.02023	0.02053	0.02035	0.02021	0.02031
	0.04599	0.03311	0.02687	0.03391	0.05279	0.06959	0.06094	0.03954	0.02765	0.02980	0.04192	0.05215
40°	0.02024	0.02056	0.02133	0.02049	0.02023	0.02004	0.02024	0.02042	0.02109	0.02034	0.02029	0.02016
	0.06435	0.04262	0.03213	0.04394	0.07579	0.10414	0.08944	0.05349	0.03350	0.03710	0.05749	0.07472

TABLA A-11

ABSORTIVIDADES PARA VIDRIO COMUN DE VENTANA (α)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	0.0413	0.0387	0.0370	0.0389	0.0422	0.0438	0.0431	0.0402	0.0367	0.0376	0.0407	0.0422
	0.0497	0.0470	0.0447	0.0473	0.0506	0.0522	0.0514	0.0486	0.0451	0.0460	0.0490	0.0505
15°	0.0392	0.0367	0.0391	0.0368	0.0401	0.0418	0.0410	0.0381	0.0387	0.0378	0.0386	0.0401
	0.0517	0.0491	0.0468	0.0495	0.0526	0.0543	0.0535	0.0506	0.0472	0.0480	0.0511	0.0526
20°	0.0372	0.0388	0.0412	0.0386	0.0331	0.0397	0.0389	0.0373	0.0408	0.0399	0.0368	0.0380
	0.0532	0.0512	0.0488	0.0514	0.0547	0.0563	0.0556	0.0527	0.0492	0.0501	0.0532	0.0547
25°	0.0385	0.0409	0.0433	0.0407	0.0374	0.0376	0.0368	0.0394	0.0429	0.0420	0.0289	0.0374
	0.0559	0.0533	0.0509	0.0535	0.0568	0.0584	0.0577	0.0548	0.0513	0.0522	0.0553	0.0567
30°	0.0403	0.0430	0.0453	0.0428	0.0394	0.0378	0.0386	0.0414	0.0449	0.0440	0.0410	0.0395
	0.0580	0.0554	0.0530	0.0556	0.0589	0.0605	0.0598	0.0569	0.0534	0.0543	0.0573	0.0588
35°	0.0424	0.0451	0.0474	0.0448	0.0415	0.0399	0.0407	0.0435	0.0470	0.0461	0.0431	0.0416
	0.0601	0.0575	0.0551	0.0527	0.0610	0.0626	0.0618	0.0590	0.0555	0.0564	0.0594	0.0604
40°	0.0445	0.0471	0.0495	0.0469	0.0436	0.0420	0.0427	0.0456	0.0491	0.0482	0.0452	0.0437
	0.0622	0.0595	0.0572	0.0597	0.0631	0.0647	0.0639	0.0611	0.0576	0.0585	0.0615	0.0630

TABLA A-12

TRANSMISIVIDADES (Z)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	0.895	0.897	0.896	0.896	0.894	0.892	0.893	0.896	0.892	0.897	0.896	0.894
	0.885	0.896	0.892	0.888	0.879	0.878	0.883	0.886	0.891	0.890	0.886	0.892
15°	0.897	0.876	0.897	0.897	0.896	0.894	0.895	0.898	0.897	0.898	0.896	0.896
	0.880	0.885	0.889	0.885	0.877	0.871	0.874	0.883	0.880	0.887	0.881	0.877
20°	0.896	0.897	0.895	0.897	0.897	0.896	0.897	0.898	0.895	0.896	0.897	0.898
	0.374	0.891	0.886	0.881	0.869	0.861	0.865	0.877	0.885	0.884	0.875	0.870
25°	0.898	0.896	0.893	0.896	0.897	0.898	0.894	0.895	0.894	0.895	0.897	0.897
	0.863	0.875	0.882	0.874	0.857	0.844	0.847	0.869	0.88.1	0.878	0.866	0.857
30°	0.896	0.894	0.891	0.893	0.896	0.897	0.898	0.896	0.892	0.893	0.895	0.897
	0.847	0.866	0.876	0.865	0.838	0.817	0.823	0.856	0.875	0.871	0.853	0.839
35°	0.894	0.891	0.889	0.892	0.895	0.897	0.896	0.893	0.889	0.890	0.894	0.895
	0.823	0.852	0.867	0.850	0.809	0.776	0.793	0.837	0.866	0.860	0.832	0.810
40°	0.892	0.889	0.885	0.889	0.893	0.895	0.875	0.891	0.886	0.887	0.891	0.893
	0.786	0.830	0.854	0.828	0.764	0.713	0.739	0.808	0.851	0.843	0.80	0.761

TABLA A-13

FRACCION DE RADIACION INCIDENTE EN EL DESTILADOR (f1 y f2)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	0.53	0.52	0.51	0.52	0.54	0.54	0.54	0.53	0.52	0.52	0.53	0.54
	0.47	0.48	0.49	0.48	0.46	0.46	0.46	0.47	0.48	0.48	0.47	0.46
15°	0.55	0.54	0.52	0.54	0.56	0.57	0.56	0.54	0.52	0.53	0.55	0.56
	0.45	0.46	0.48	0.46	0.44	0.43	0.44	0.46	0.48	0.47	0.45	0.44
20°	0.57	0.55	0.53	0.55	0.58	0.59	0.59	0.56	0.53	0.54	0.56	0.58
	0.43	0.45	0.47	0.45	0.42	0.41	0.41	0.44	0.47	0.46	0.44	0.42
25°	0.59	0.56	0.54	0.56	0.60	0.62	0.61	0.58	0.54	0.55	0.58	0.60
	0.41	0.44	0.46	0.44	0.40	0.38	0.39	0.42	0.46	0.45	0.42	0.40
30°	0.61	0.58	0.55	0.53	0.62	0.65	0.64	0.60	0.55	0.56	0.60	0.62
	0.39	0.42	0.45	0.42	0.38	0.35	0.36	0.40	0.45	0.44	0.40	0.38
35°	0.64	0.59	0.56	0.60	0.65	0.68	0.67	0.62	0.56	0.58	0.62	0.65
	0.36	0.41	0.44	0.40	0.35	0.32	0.33	0.38	0.44	0.42	0.38	0.35
40°	0.66	0.61	0.57	0.62	0.68	0.72	0.70	0.64	0.58	0.59	0.65	0.68
	0.34	0.39	0.43	0.38	0.32	0.28	0.30	0.36	0.42	0.41	0.35	0.32

TABLA A-14

RADIACION TOTAL TRANSMITIDA (q) (Kcal/hr)

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
10°	499.06	523.19	523.21	481.92	450.82	385.19	417.0	507.33	502.23	408.06	406.61	391.36
15°	498.55	513.63	522.74	481.54	451.07	384.54	415.79	507.21	500.70	407.69	405.69	388.95
20°	496.93	521.91	521.34	480.62	449.86	383.49	414.90	505.90	503.07	406.65	404.78	388.33
25°	495.36	517.54	519.64	478.73	447.72	381.67	411.05	503.23	500.25	405.23	403.28	386.05
30°	491.55	514.85	517.54	475.98	444.17	377.97	408.85	500.89	498.23	403.36	400.63	382.42
35°	486.78	510.65	514.61	472.74	439.54	373.32	404.62	496.17	495.13	400.66	397.07	379.17
40°	479.83	505.40	510.16	467.66	432.83	367.09	391.57	490.14	490.85	396.83	391.97	372.82

TABLA A-15

RADIACION TOTAL TRANSMITIDA POR LA CUBIERTA CUANDO $\psi = \theta_{is}$, (Kcal/hr)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
q	516.88	540.7	542.64	500.07	467.64	397.5	430.58	526.28	522.39	422.86	421.25	403.36
ψ	21.17	14.88	9.20	15.40	23.34	27.23	25.42	18.53	10.16	12.30	19.60	23.16
θ_{ic}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	42.34	29.76	18.40	30.80	46.68	54.46	50.84	37.06	20.32	24.60	39.20	46.42
θ_{ag}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26.19	18.96	11.94	19.61	28.47	32.22	30.54	23.26	13.15	15.83	24.47	28.29
θ_{gw}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30.42	21.91	13.73	22.65	33.16	33.72	35.66	26.94	15.13	18.24	28.37	32.94
θ_{wa}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	42.34	29.76	18.40	30.80	46.68	54.46	50.80	37.06	20.32	24.60	39.20	46.32
r_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0512	0.0449	0.0435	0.0451	0.0561	0.0721	0.0631	0.0475	0.0437	0.0440	0.0487	0.0555
r_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0051	0.0039	0.0047	0.0048	0.0053	0.0058	0.0055	0.0049	0.0047	0.0048	0.0050	0.0053
r_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0255	0.0211	0.0202	0.0212	0.0291	0.0416	0.0345	0.0229	0.0203	0.0205	0.0238	0.0288
α	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379	0.0379
	0.0567	0.0511	0.0460	0.0516	0.0586	0.0621	0.0604	0.0543	0.0469	0.0438	0.0553	0.0584
z	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621	0.9621
	0.8691	0.8847	0.8908	0.8832	0.8598	0.8319	0.8973	0.8769	0.8897	0.8868	0.8741	0.8607
f	0.57	0.54	0.51	0.54	0.59	0.63	0.61	0.56	0.52	0.52	0.56	0.59
	0.43	0.46	0.49	0.46	0.41	0.47	0.39	0.44	0.48	0.48	0.44	0.41

TABLA A-16

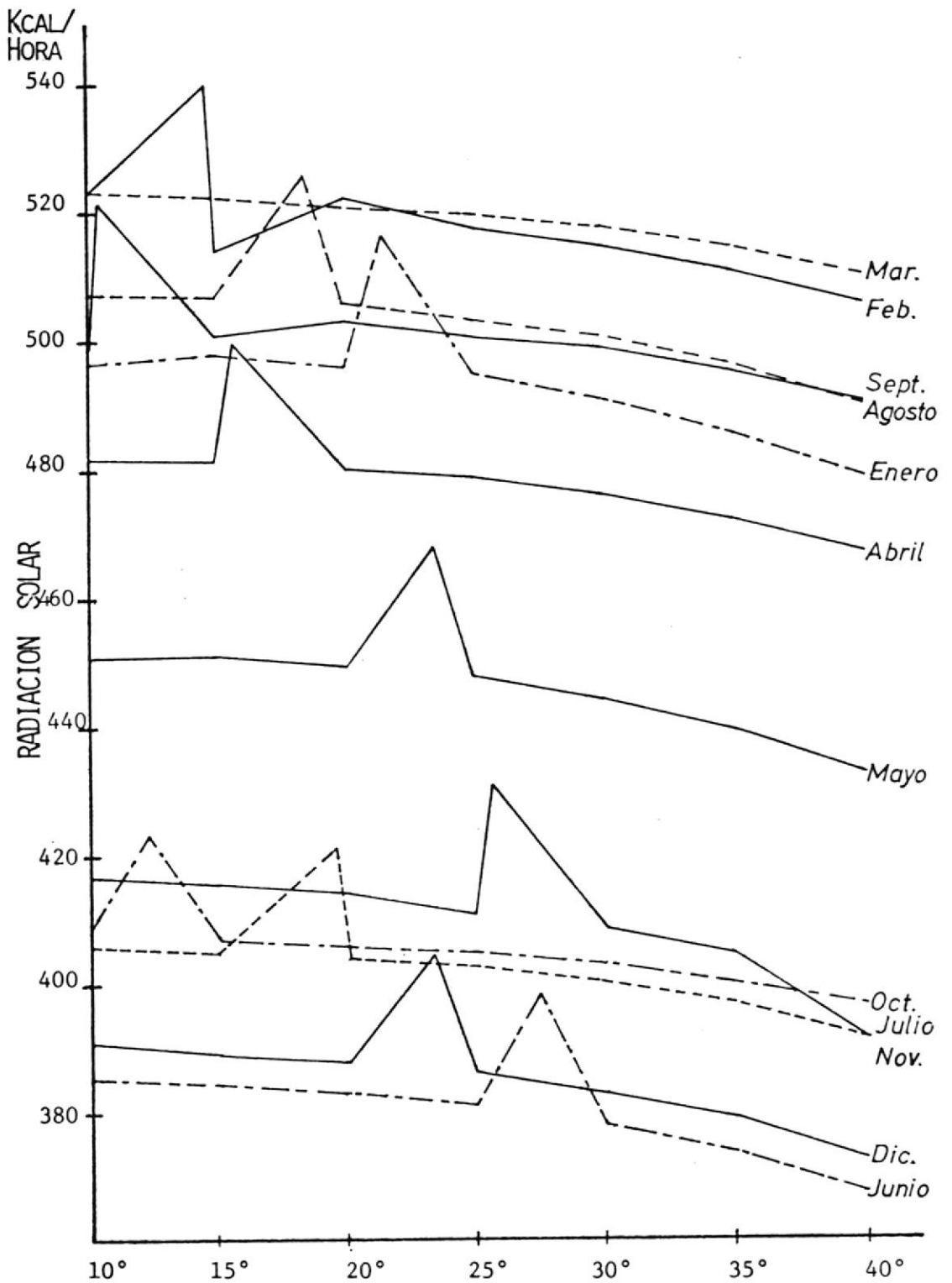


FIG. A-6 FLUJO DE CALOR TRANSMITIDO POR LA CUBIERTA COMO FUNCION DEL ANGULO DE INCLINACION (ψ)

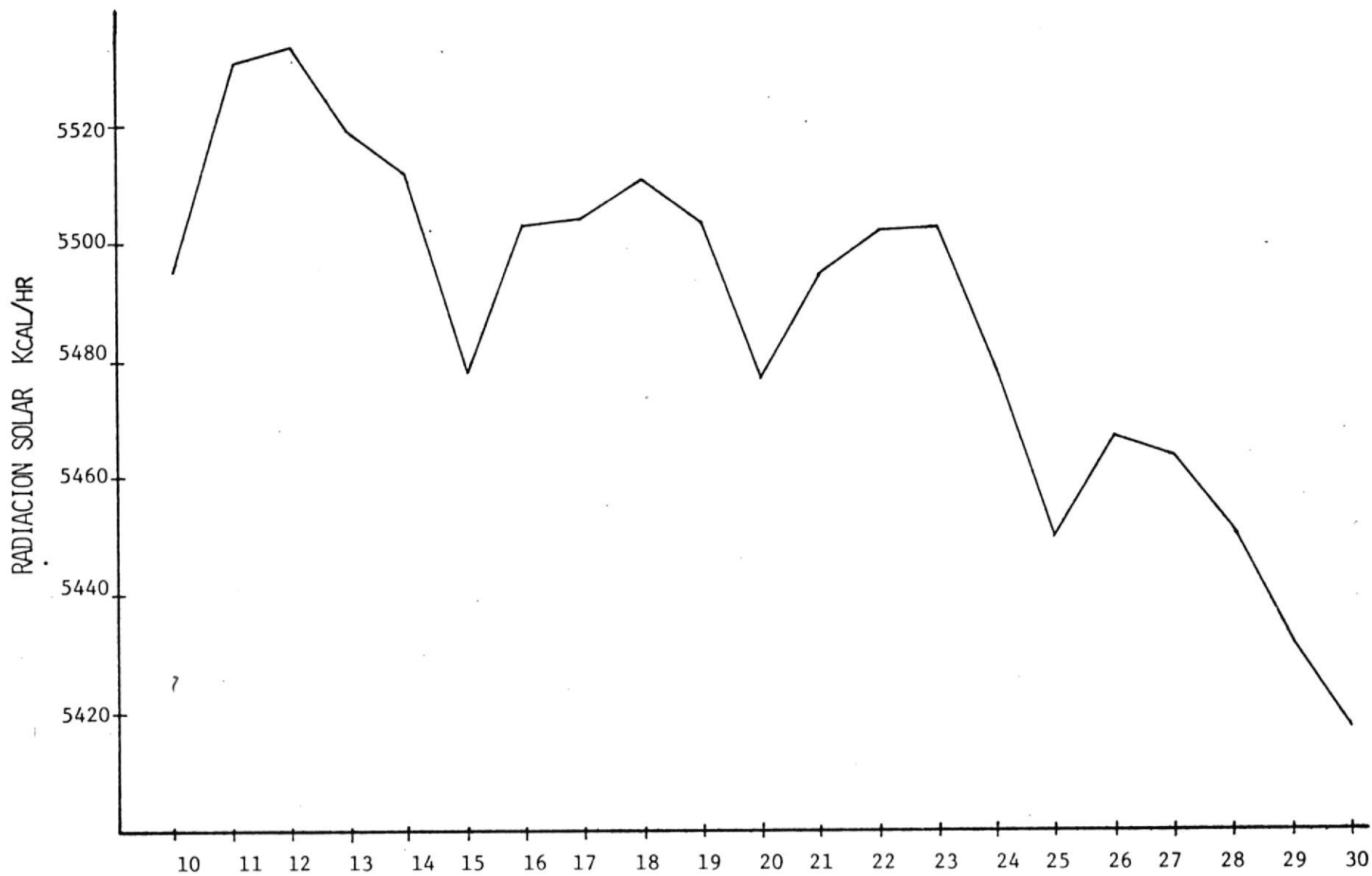


FIG. A-7 FLUJO DE CALOR TRANSMITIDO POR LA CUBIERTA EN UN AÑO COMO FUNCION DEL ANGULO DE INCLINACION

A P E N D I C E B

TABLAS DE BIOGAS

TABLA B.1

PODER CALORIFICO DEL BIOGAS Y DE OTROS COMBUSTIBLES NO GASEOSOS

COMBUSTIBLE	MJ/Kg		EFICIENCIA	MJ/Kg EFECTIVOS	
BIOGAS	28.97	- 33.41	60%	17.38	- 20.04
COQUE	24.5	- 26.79	28%	6.86	- 7.50
CARBON DE PIEDRA	27.84	- 31.25	28%	7.79	- 8.74
LEÑA	15.70	- 19.05	17.3%	2.71	- 3.29
KEROSENE	43.54		48%	20.90	
DIESEL	42.28		-----	-----	

FUENTE: MANUAL DE BIOGAS: OLADE, GUATEMALA 1981

TABLA B.2

PODER CALORIFICO DEL BIOGAS Y OTROS GASES COMBUSTIBLES

GAS COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO MJ/m ³		
GAS CARBON	16.12	-	17.89
BIOGAS	19.46	-	25.12
METANO	38.18		
GAS NATURAL	37.68	-	79.54
PROPANO	79.54	-	94.19
BUTANO	104.66	-	121.4
ACETILENO	53.58	-	57.35

FUENTE: MANUAL DE BIOGAS: OLADE, GUATEMALA 1981

TABLA B.3

CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES GASEOSOS

COMBUSTIBLE	PESO ESPECIFICO A 15°C Y PRESION 760 mm Hg		PODER CALORIFICO INFERIOR		AIRE TEORICO DE COMBUSTIBLE		TONALIDAD TERMICA A 0°C	Nº OCTANO (RESEARCH)
	Kg/m ³		KJ/m ³	KJ/kg	m ³ /m ³ de gas	Kg/Kg de gas	KJ/Lt de mezcla	N.O
METANO	0.740		34.74	46.89	9.5	17.4	3.43 x 10 ⁻³	125
PROPANO	1.81		83.31	46.05	24	15.8	2.76 x 10 ⁻³	125
BUTANO	2.38		108.43	45.63	31	16.5	3.64 x 10 ⁻³	93
PROPANO 50/50 BUTANO	2.06		94.61	45.84	27.5	16.1	-----	100
GAS DE ALUMBRADO (Berlín 1940)	0.60		15.90	45.84	5.1	8	3.35 x 10 ⁻³	90
GAS DE GASOGENO	1.0 ÷ 1.2		4.1865 ÷ 5.86	2.72 ÷ 5.23	0.9 ÷ 1.2	0.95 ÷ 1.4	2.09 ÷ 2.51	90
GAS DE COQUE	0.425 (*)		17.58	-----	-----	-----	-----	90

(*) COMPRIMIDO EN FASE GASEOSA A 200 Kg/cm²

FUENTE: MOTORES ENDOTERMICOS. DANTE GIACOSA, BARCELONA 1970

TABLA B.4

CONSTANTES FISICAS DE LOS HIDROCARBUROS

HIDROCARBURO	METANO	ETANO	PROPANO	BUTANO	PENTANO	HEXANO	HEPTANO	OCTANO
FORMULA	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆	C ₈ H ₁₈
PESO MOLECULAR	16.043	30.070	44.097	58.124	72.151	86.178	100.205	114.232
GRAVEDAD ESPECIF. (como Líquido)	0.3	0.3564	0.5077	0.5844	0.6310	0.6640	0.6882	0.7068
GRAVEDAD ESPECIF. (como gas) Aire= 1*	0.5539	1.0382	1.5225	2.0068	2.4911	2.9753	3.4596	3.9439

FUENTE: ENGINEERING DATA BOOK, 9th EDITION, 1972

(THE PROPERTIES OF PETROLEUM FLUIDS. MCCAIN, WILLIAN D, 1973)

TABLA B.5

VALORES PROMEDIO DEL PODER CALORIFICO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES
O SU EQUIVALENTE REFERIDO AL BIOGAS

COMBUSTIBLE	MJ/m ³	MJ/Kg	CANTIDAD EQUIVALENTE A 1000 m ³ BIOGAS
BIOGAS	22.33	-----	1000 m ³
GAS NATURAL	38.45	-----	581 m ³
METANO	37.03	-----	603 m ³
PROPANO	92.32	-----	242 m ³
BUTANO	119.68	-----	187 m ³
CARBON	-----	28.76	776 Kg
PETROLEO	-----	47.54	470 Kg 553 Lt.
COMBUSTOLEO	-----	42.44	526 Kg 628 Lt.
ELECTRICIDAD	3.6 MJ/kw	-----	6203 Kw-hr

TABLA B.6
PODER CALORIFICO DEL BIOGAS CON RESPECTO A OTROS COMBUSTIBLES
Y CONSUMO PARA UNA FAMILIA DE 5 MIEMBROS

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO MJ/Kg	EF. CALORIFICA		P.C. ef. MJ/Kg OLADE	P.C. RELATIVO (BIOGAS 1.0)	CONSUMO fam/dia INE
		OLADE	INE			
LEÑA	13.81	17.3	5	2.39	0.18	12.6 Kg
KEROSENE	46	48	15	22.08	1.6	1.557 Lt.
Lpg (gas)	49.65	60	20	29.79	2.28	0.877 Kg
Biogas	28.97	45	15	13.04	1.0	2.56 m ³ *

P.C. = Poder Calorífico

ef. = Efectivo

* En OLADE (16) establecen que es 1m^3 .
 Otros autores establecen entre $1.2 - 1.4\text{m}^3$. Adoptado de INE.
 Ing. Eduardo Yáñez "Bioabono-gas Estudio Técnico y Socio-económico" Agosto /82. Quito-Ecuador. OLADE (16).

TABLA B.7
COMPOSICION GENERAL DEL BIOGAS

COMPONENTE	FORMULA	RANGO	VALOR TIPICO
METANO	$C H_4$	54 - 70 %	60 %
BIOXIDO DE CARBONO	CO_2	27 - 45 %	30 %
NITROGENO	N_2	0.5 - 3 %	-----
HIDROGENO	H_2	1 - 10 %	-----
MONOXIDO DE CARBONO	CO	0.1 - %	-----
SULFURO DE HIDROGENO	H_2O	T r a z a s	

Fuente: Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer. L. John Fry. 1983

TABLA B.8

RELACIONES DE UNIDADES

2544	BTU /hp-hr	3412.2	BTU/Kw-hr
42.4	BTU/hr-min	860.4	Kcal/Kw-hr
10.4	Kcal/cv-min	632.5	Kcal/CV-hr
33000	pie-Lb/hp-min	737.562	pie-Lb/Kw-seg
550	pie-Lb/hp-seg	102	Kgm/Kw-seg
3600	KJ/Kw-hr	4.1868	KJ/Kcal

	BTU	pie-Lb	hp-hr	Joules	Kcal	kw-hr
1 Kg	8.521×10^{13}	6.629×10^{16}	3.348×10^{10}	8.987×10^{16}	2.147×10^{13}	2.497×10^{10}
CV-hr	2509.56	$1.957 \cdot 10^6$	0.9860	2.647×10^6	6.3242×10^2	0.7353

* 1 hp - hr = 2544 BTU

Fuente : Termodinámica: V. Faires, UTHEA, 1973

Física: Halliday. Resnick, CECSA, 1974

BIC CA

A P E N D I C E C
RECOPIACION DE TABLAS Y GRAFICOS

TIEMPO	TEMPERATURAS ° C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _b	T _S			
09H00	22.5	37	31.2	32.5	26.3	23.6	36.5	0.0	229.1	0.97
10H00	23	48.9	42.4	43.5	27.2	27.4	42.4	0.022	432.86	1.06
11H00	25.1	65.9	56.2	57.4	29.6	37.1	58.6	0.358	532.56	1.26
12H00	28.5	58.6	47.9	49	33.1	37.8	52.8	0.812	405.73	1.60
13H00	30	67.9	57.1	58.5	36.4	38.2	61.7	1.284	454.32	1.32
14H00	32	74.4	59.3	60.9	29.8	38.8	64.2	1.874	583.1	1.65
15H00	32	66.5	55	56.2	36.3	36.4	61.3	2.40	429.0	1.87
16H00	30.5	57.8	48.9	50.3	32.8	35	55	2.851	153.96	1.85
17H00	30	50.4	41.2	42.2	32.2	33.2	47.5	3.081	156.48	1.78
18H00	28.7	39.3	34.2	35.6	30.1	29.2	39	3.219	37.86	2.15

TABLA C.3.1

4077.93

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 9, 1984

MAÑANA: Parcial cubierto

TARDE: despejado

TIEMPO	TEMPERATURAS ° C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	19.7	47.2	41	42.3	32.9	20.8	41.2	0.0	232.2	0.98
10H00	23	57.3	46.2	48.8	38.2	27.3	50.5	0.316	439.2	1.32
11H00	27	67.8	55.3	57.6	44.7	33.2	60.6	0.663	548.96	1.49
12H00	30	73.4	62.2	63.8	49.7	38.4	67.1	1.281	615.86	1.30
13H00	32.5	73.1	63..1	64.2	51.6	38.7	67.9	2.017	636.10	1.32
14H00	33.5	72.3	60.9	82.7	53.1	38.8	66.6	2.592	610.8	1.04
15H00	34.5	70.9	58.7	61.2	53.2	36.3	66.1	3.181	545.18	1.42
16H00	34	59.3	49.3	51.3	48.4	35.2	57.6	3.69	307.93	1.54
17H00	31.5	47.7	36.6	39.7	42.4	33.1	47.4	3.964	205.72	2.43
18H00	28.7	35.2	29.6	30.4	31.2	29.7	35.7	4.058	63.10	2.85

TABLA C.3.2

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 10, 1984

MAÑANA: despejado

TARDE : despejado

TIEMPO	TEMPERATURAS ° C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	23.2	36.4	30.5	32.9	28.9	25.2	32.7	0.0	191.82	0.59
10H00	26.3	48.3	40.4	41.6	36	34	43.2	0.164	306.67	0.77
11H00	27	65.4	52.5	54.8	37.2	35.6	58.6	0.528	542.66	1.22
12H00	29.3	70.3	56.2	57.4	44.4	38	63.7	1.046	608.28	1.78
13H00	28.5	702.5	58.6	62.8	44.8	38.6	67.1	1.708	643.62	1.92
14H00	30	67.7	54.8	53.6	41.9	38.2	61.8	2.478	625.96	1.92
15H00	30	64.9	52.1	54	38.9	37.6	58.9	3.048	545.18	2.14
16H00	29	58.5	43.8	47.4	34.5	33.4	54.7	3.49	368.5	2.14
17H00	27.7	45.5	33.7	35.6	32.6	31	44.4	3.741	176.68	2.5
18H00	27.5	34.8	28.4	29.5	29.2	26	34.4	3.849	75.72	1.87

TABLA C.3.3

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 11, 1984

MAÑANA: parcial cubierto

TARDE : despejado

1/085.09

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	20.9	30.4	24.3	26.3	25.2	22	29.3	0.0	201.92	0.96
10H00	21.7	39.2	31.2	35.4	30.7	24.5	38.3	0.034	318.12	0.96
11H00	24.2	47	34.9	38.3	36.1	27.4	43.7	0.144	307.93	0.87
12H00	26	53.2	44.9	45.3	39.8	29.5	49.7	0.302	393.74	1.88
13H00	26.2	53	39.2	40.2	39.3	29.5	50.2	0.709	307.93	1.88
14H00	26.5	49.6	38.7	40.2	37.4	30	48.5	0.826	302.88	2.5
15H00	26.7	52.6	41.1	44.3	41.7	31.5	50.3	1.081	232.22	1.24
16H00	28	48.6	40	41.2	40.3	30.7	47.2	1.186	181.73	1.24
17H00	28	44.8	33.3	36.2	38	29	43.3	1.406	101.0	2.34
18H00	27.5	35.3	27.3	28.6	33.1	28	34.7	1.486	12.62	2.34

TABLA C.3.4

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 12, 1984

MAÑANA: cubierto

TARDE : cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	20.5	30.5	28.6	30.2	25.6	25.6	32	0.0	80.77	1.39
10H00	20.6	52.8	42	43.4	38.2	34	48.1	0.153	242.3	1.39
11H00	20.9	45.6	36	37.2	36.2	33	41.7	0.274	292.78	1.5
12H00	21.3	44.4	36.3	37.4	35.2	33.6	42.1	0.399	201.92	1.25
13H00	24.7	55.4	43.3	46.2	41.9	39.2	50.1	0.622	271.33	1.47
14H00	26.4	50.4	39.7	42	38.8	40.2	47.2	0.751	282.69	1.53
15H00	28.5	58.8	43.1	45.8	43.3	44	53.3	1.052	334.13	1.85
16H00	27.7	45.3	35.6	37.2	38	39	43.2	1.284	166.58	1.77
17H00	26.5	36.1	29.9	31.2	32.3	32.4	36.2	1.38	55.53	1.77
18H00	25.5	30.3	25.6	27.2	28.2	26	30.5	1.426	40.38	2.36

TABLA C.3.5

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 13, 1984

MAÑANA : cubierto

TARDE : cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	21.5	35.4	30.9	32.2	29.2	25.2	34	0.0	343.26	2.17
10H00	24.1	49.2	38.2	41.2	36.6	26.5	44.4	0.126	272.59	1.54
11H00	26.4	49.5	38.7	40.5	36.9	31.4	46.3	0.314	237.25	1.52
12H00	26.5	48.7	36.7	39.6	41.6	34.5	46.7	0.482	267.54	1.52
13H00	26.5	49.2	40.3	41.8	45.9	38.7	49.2	0.717	214.54	1.74
14H00	27.3	45.5	38.5	39.2	42.3	38.9	45.4	0.868	156.49	1.74
15H00	27.1	43.9	35.2	37.4	40.5	34.8	44	0.958	164.12	1.30
16H00	27	43	34.8	37	39	34.8	42.9	1.106	136.29	1.25
17H00	26.7	41.9	36.6	38.6	39.7	32.2	44.6	1.186	90.86	1.51
18H00	25.7	33.3	29.4	32.6	32	30	34	1.268	12.62	1.73

TABLA C.3.6

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 14, 1984

MAÑANA : cubierto

TARDE : cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	21.2	32.8	25.5	28.7	27.2	22.1	31.5	0.0	75.72	1.16
10H00	21.8	32.2	27.2	30.2	29.7	24	31.2	0.03	63.10	0.89
11H00	23	42.5	37.5	38.6	29.3	25.4	41.7	0.102	126.2	1.55
12H00	25.5	48.5	39.2	42.1	31.3	36.6	46.9	0.170	302.88	1.81
13H00	27.7	66.4	50.4	54.3	35.9	40.8	59.5	0.654	459.37	1.80
14H00	29.5	70.4	54.4	58.6	39.2	46.3	65.7	1.030	610.80	1.39
15H00	30.2	67.4	51.2	54.9	31.7	46.3	62.5	1.570	524.9	1.35
16H00	29.2	57.8	44.3	47.2	30.5	42	53.2	1.992	353.36	1.71
17H00	28	43.7	33.2	36.1	29.2	35	42.3	2.208	181.73	1.34
18H00	26.5	33.5	26.7	30.3	27.7	26	33.2	2.272	30.29	2.71

TABLA C.3.7

ESTADO DEL TIEMPO : Agosto 14, 1984

MAÑANA: cubierto

TARDE : cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	21	31.7	25.2	28.5	25	24.3	31.4	0.0	138.82	1.94
10H00	22.5	43	34.6	37.9	27.7	26.3	40.5	0.082	247.35	1.53
11H00	24.2	46.9	33.6	39.2	33.1	26.5	44.3	0.242	307.93	1.80
12H00	25.5	47.2	35	39.3	36.2	30.5	45.6	0.416	277.64	1.80
13H00	26.7	53.8	44.1	47.3	39.7	32.1	51.2	0.551	368.50	1.76
14H00	28	64.6	52.1	54.6	49.1	41.8	59.1	0.991	408.89	1.74
15H00	29.3	63.7	52.9	55.1	43	43.5	58.5	1.291	535.12	1.53
16H00	30.2	61.5	50.3	52.6	44.5	40.2	58.1	1.691	267.54	1.32
17H00	28.9	47	37.1	39.2	37.5	35.5	46.4	1.998	151.44	2.31
18H00	26	37.6	27	30.1	30.3	28	37	2.199	55.63	2.35

TABLA C.3.8

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 16, 1984

MAÑANA : cubierto

TARDE : despejado

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M/D	H _C	V
H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S	T _{SI}	LT.	W/M ²	M/SEG
09H00	22.5	32.7	26.7	29.8	24	23.2	33	0.0	90.86	1.28
10H00	23.5	37.8	28.4	32.8	24.5	29.5	37.9	0.082	153.96	1.28
11H00	25	45.8	36.8	40.7	35.6	29.8	45.9	0.188	196.87	1.53
12H00	26.3	49.3	39.4	41.7	35.2	31.2	48.5	0.330	312.93	1.61
13H00	27	48.8	41.1	42.8	38.2	32.1	46	0.477	239.78	1.52
14H00	29.5	65.4	54.6	57.5	47.5	41.7	59.8	0.692	424	1.52
15H00	31.5	65.3	53.1	55.5	47.5	39.2	60.5	1.170	444.22	1.71
16H00	30.5	59.2	53.3	56.8	45	39.7	55.3	1.504	252.4	1.71
17H00	29.6	50.6	41.7	44.5	42.7	36.5	48.9	1.768	232.21	0.92
18H00	26.5	38.6	31.3	34.5	36.2	31.5	38.1	1.855	54.27	1.54

TABLA C.3.9

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 17, 1984

MAÑANA : cubierto

TARDE : parcial cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	22.7	34.2	31	32.1	28.4	28.1	34	0.0	75.72	0.7
10H00	23.5	38.4	34.3	36.2	30.5	29.3	36.7	0.016	151.44	0.82
11H00	23.7	40.2	35.2	36.8	32	30.5	38.5	0.088	143.87	0.94
12H00	25.5	55.6	47.3	49.9	39.2	35.2	51.2	0.240	186.77	0.94
13H00	28	59.8	53	56.2	39.2	36.4	55.7	0.357	403.84	0.74
14H00	30	63.3	44.6	48.3	42.4	37.7	61.3	0.583	392.48	1.04
15H00	29	52.2	44	46.7	40.2	37.7	50.5	0.935	242.30	1.10
16H00	28.5	47.7	40	42.7	39	36.1	46.7	1.063	181.73	1.0
17H00	26.5	37.9	31.2	33.1	33	30.7	37.7	1.153	63.10	1.93
18H00	25.5	32.5	27.4	31.1	29.5	25.3	32.8	1.209	37.86	1.97

TABLA C.3.10

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 18, 1985

MAÑANA : cubierto

TARDE : cubierto

1879.11 W/m²
 10 * 91.0 * 3600
 240000
 W/m²

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	22.5	29.8	27.1	27.2	27	25.8	29.5	0.0	100.96	1.54
10H00	24.5	40.9	36.4	38.2	28.2	29.8	40	0.088	186.77	1.23
11H00	26	44	39.1	40.3	29.7	30.4	43.6	0.167	222.10	1.23
12H00	26.5	46.8	40.6	41.9	30.3	32.9	46.2	0.319	237.26	1.46
13H00	26.8	48.5	38.1	40.1	30.3	33.2	43	0.445	201.92	1.69
14H00	27	46.3	42	43.8	31.5	34.3	44.5	0.565	181.73	1.18
15H00	30	53.6	48.8	50.7	34.7	37.8	50.7	0.773	307.93	1.18
16H00	28.2	42.5	34.6	36.2	29.5	32.8	39.8	0.953	191.82	0.85
17H00	27	38.2	31.6	32.8	29.1	29.7	37	1.023	80.77	1.67
18H00	26	32.5	26.9	28.3	27.1	27.5	31.5	1.071	50.48	1.49

TABLA C.3.11

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 20, 1984

MAÑANA : cubierto

TARDE : cubierto

0.088

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	H _C	V
	H O R A	T _A	T _W	T _G	T _{GI}	T _B	T _S			
09H00	25.4	40.8	37.7	39.9	28.9	28.5	39.1	0.0	206.97	0.8
10H00	25.5	41.8	34.2	36.2	23.8	27.6	38.2	0.122	201.92	0.8
11H00	25.7	43.7	37.6	39.7	29.6	28.5	41.4	0.224	126.2	1.08
12H00	27.4	49.3	42	43.4	29.6	32	45.7	0.401	249.87	1.08
13H00	31	68.8	59.3	61.4	35.8	39.4	64.7	0.773	434.13	0.83
14H00	32	69.2	61.6	63.7	33.9	41.2	62.8	1.067	530	1.06
15H00	30	58.6	48.1	48.9	29.1	35	54.4	1.553	454.3	1.04
16H00	30.5	55.6	45.7	47.8	29.8	34.9	51.8	1.839	383.65	1.53
17H00	28	40.1	33.4	36.6	31.3	33.1	39.4	1.973	85.82	2.22
18H00	26	29.6	25.2	26.8	26.2	25.9	30.3	2.036	37.8	2.50

TABLA C.3.12

ESTADO DEL TIEMPO: Agosto 21, 1984

MAÑANA: cubierto

TARDE : parcial cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	L _Q
H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _S	T _{SI}	T _{CF}	LT.	KG.
09H00	22.5	38.4	29.7	27.3	27.2	38.3	24.7	0.0	0.0
10H00	24	73.7	62.5	60.1	47	66.3	90	0.68	0.408
11H00	25.5	77.9	65.6	63.3	54	71.8	98.8	1.445	0.455
12H00	28	72.3	60.7	58.9	52	67.2	88.8	1.907	0.234
13H00	31.5	63.8	60.8	56.2	54.8	65.1	76.2	2.507	0.385
14H00	32	78.2	66.7	65.2	66.6	72.2	98.6	3.027	0.349
15H00	32.5	68.3	55.5	53.4	66.8	62.7	91.9	3.435	0.171
16H00	31	72.2	61.7	60.3	82.5	70.4	119.6	4.143	0.414
17H00	28	72.6	59.6	58	64.6	69.8	99.1	4.955	0.232
18H00	27	56.7	48.9	47.2	34.2	56.2	73.6	5.179	0.0

TABLA C.4.1.

$$V_M = 1.671$$

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	L _Q
H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _S	T _{SI}	T _{CF}	LT.	KG.
09h00									
10h00	27	35.2	30.1	28.6	28.7	30	26.3	0.0	0.0
11h00	28	49.5	39	37	36.4	43.7	38	0.0	0.322
12h00	30	75.8	69.3	65.1	44.1	68.9	89.8	0.302	0.4
13h00	31.5	53.4	48.2	45.3	38.8	52.1	64	0.704	0.0
14h00	32	65.3	52.2	50.1	47	56.1	88.9	0.912	0.438
15h00	31.5	81.1	68.3	65	53.9	74.2	133.6	1.706	0.546
16h00	30.6	73.5	58.6	57	47	67.2	122.8	2.738	0.375
17h00	27.5	68.8	52.8	50.4	36	63.8	104.5	3.918	0.348
18h00	26.5	57.4	47.7	45.2	29.2	54.5	76.2	4.188	0.0

TABLA C.4.2

$$V_V = 2.47 \text{ W/SEG.}$$

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	L _Q
	H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _S	T _{SI}		
09H00	20.6	24.3	24.1	23.3	24.1	24.2	23.5	0.0	0.0
10H00	22	35.4	30.5	29.2	65.6	29.9	60	0.0	0.509
11H00	26	73.8	63.7	60.2	86.5	65.7	110	0.520	0.429
12H00	27.5	57.5	49.3	47.4	49.7	52.7	62.8	1.236	0.0
13H00	28	74.1	56.1	54.4	62.4	64.3	115.5	1.842	0.0
14H00	28.3	59.4	51.6	49.5	56.8	54	75.8	2.710	0.304
15H00	28.5	67.2	53.6	51.5	54.2	59.7	93	3.149	0.0
16H00	27	55.2	44.8	42.6	46.4	50	71.1	3.495	0.0
17H00	25	43.3	36.1	33.7	38.6	40.3	49.3	3.775	0.217
18H00	24.5	57.7	45.6	43.5	47.8	49.9	76.2	3.902	0.0

TABLA C.4.3

$$V_M = 2.289 \text{ M/SEG.}$$

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M _D	L _Q
H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _S	T _{SI}	T _{CF}	LT.	KG.
09H00	26	26.9	28	27.3	26.7	26.5	26.5	0.0	0.662
10H00	26.5	34.4	32.4	32.3	33.2	30.6	33.9	0.0	0.0
11H00	28	34.4	57.7	55	68.2	58.2	91.6	0.282	0.272
12H00	31	80	66.1	62.1	70.4	71.7	116.5	1.492	0.256
13H00	30.5	71.7	59.8	57	63.6	64.5	104.3	2.275	0.0
14H00	30.5	60.8	49.8	47.2	48.9	54.4	79.6	2.937	0.149
15H00	30	56.6	47.6	44.3	48.6	51.3	65.6	3.662	0.0
16H00	29.7	67.6	53.3	51.2	61.3	58.2	88.9	4.12	0.186
17H00	28.5	62.1	49.7	48.1	54.5	63.8	80	4.633	0.0
18H00	27	53.8	41.4	38.9	38.2	48.2	68.4	5.013	0.0

TABLA C.4.4

$$V_M = 2.076 \text{ M/SEG.}$$

TIEMPO	TEMPERATURAS °C							M_D	L_Q
	H O R A	T_A	T_W	T_{GI}	T_G	T_S	T_{SI}		
09H00	23	30.5	30	29.5	29.2	29.3	27.4	0.0	0.0
10H00	25.5	62.2	52.1	48.9	61.4	53	81.8	0.207	0.489
11H00	25	66	53.8	52	46.5	58.1	86.1	0.683	0.08
12H00	25.4	69.5	58.6	56.7	43.4	62.9	92.9	1.238	0.307
13H00	26	58.3	51.3	48.5	44.4	52	72.1	1.633	0.0
14H00	27.5	71.4	62.7	60.2	63.3	64.7	91.3	2.097	0.288
15H00	28	71.5	63.3	60.3	59.5	65.3	91.8	2.763	0.368
16H00	28	59.4	51.2	49.2	50.6	54	70.8	3.027	0.0
17H00	26	67.3	56.8	54.2	56.8	60.6	90	3.569	0.311
18H00	25	54.1	45.7	42.9	45.7	49.8	67.6	3.805	0.0

TABLA C.4.5

$V_M = 1.298 \text{ M/SEG.}$

TIEMPO	TEMPERATURAS °C										M _D	L _Q
	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _S	T _{SI}	T _{CF}	LT.	KG.			
09H00	23.5	32.1	32.1	30.6	27.6	29.5	28.3	0.0	0.0			
10H00	24	54.6	42.6	39.8	69.8	41.6	90.7	0.06	0.561			
11H00	26.5	71.9	57.3	54.9	39.8	63.2	99.6	0.802	0.0			
12H00	28	57.6	52.6	50.4	34.6	54.9	67.8	1.37	0.395			
13H00	30	73.6	63.3	61	56.2	66.7	104.1	2.134	0.0			
14H00	29	62.4	55.1	53.2	39.7	58	74.6	2.577	0.207			
15H00	30.3	71.9	57.5	54.8	62.7	61.7	98.8	3.073	0.502			
16H00	31	77	62.7	60.3	60.5	70.5	121.2	4.093	0.260			
17H00	30	65.4	49.6	47.2	51.4	56.9	98.1	4.943	0.186			
18H00	27.5	68.4	56.2	53.4	53.2	60	106.5	5.616	0.211			

TABLA C.4.6

$$V_M = 1.98 \text{ M/SEG.}$$

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M_D	L_Q	H_C
	H O R A	T_A	T_W	T_{GI}	T_G	T_{EF}			
09H00	24.5	34.7	33.6	31.9	33.8	33.6	0.0	0.443	112.3
10H00	27.5	65.6	59.1	58.	76.4	58.5	0.39	0.101	164.1
11H00	29.6	74.9	67.9	66.8	77.4	69.1	1.040	0.0	252.4
12H00	32	81	72.2	70.9	88.2	75.4	1.858	0.35	315.51
13H00	31.5	59.3	52.2	51	61.7	58.1	2.648	0.0	182.90
14H00	29	68.8	59.2	58.3	81.6	63.7	3.044	0.0	103.48
15H00	29	76.4	65.2	63.9	103	70	3.772	0.272	82.1
16H00	28	69.6	58.2	56.7	88.3	63.4	4.436	0.209	63.1
17H00	27	64.8	52.9	51.6	92.8	56.3	4.876	0.193	31.55
18H00	26.5	45.3	37.8	36.4	54.7	41.6	5.302	0.0	25.24

TABLA C.5.1

$V_M = 1.731$ M/SEG.

ESTADO DEL TIEMPO: Octubre 2, 1984

MAÑANA : parcial cubierto

TARDE : cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M _D	L _Q	H _C
H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _{EF}	T _{SI}	LT.	KG	W/M ²
09H00	23.5	38.2	35	35	36.5	35.1	0.0	0.175	106.7
10H00	28	68	59.2	57.9	103	58.4	0.176	0.236	144.1
11H00	30	82.2	71.7	70.5	98.6	76.1	1.044	0.194	230.35
12H00	32.5	82.3	79.4	72.5	83.5	80.8	1.884	0.0	308.86
13H00	32.5	76.1	65.9	64.8	73	71.5	2.654	0.123	189.72
14H00	33	73.6	66.9	65.7	68.6	71.3	3.386	0.173	183.18
15H00	33	66.3	58.8	57.5	61.1	64.4	4.03	0.170	94.1
16H00	32.5	77.9	68.1	66.4	87.6	73.4	4.932	0.0	73.5
17H00	31.5	67.2	58.2	56.3	83.3	64.5	5.581	0.0	33.92
18H00	28	50.3	42.1	40.8	58.1	48.5	5.97	0.0	21.63

TABLA C.5.2

V_M = 1.89 M/SEG.

ESTADO DEL TIEMPO : Octubre 3, 1984

MAÑANA : despejado

TARDE : parcial cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M _D	L _Q	H _C
HORA	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _{CF}	T _{SI}	LT.	KG.	W/M ²
09H00	22	37.1	34	32	35.6	34.8	0.0	0.298	83.29
10H00	24	61.5	50.4	48.6	101.2	47.9	0.175	0.160	113.58
11H00	25.5	79.3	68.9	67.20	107.5	71.4	0.883	0.0	132.51
12H00	27	65	58.2	57	68.3	59.7	1.479	0.0	170.37
13H00	30	68.1	62.8	61.7	67.5	62.9	1.776	0.0	220.85
14H00	30	67.7	62.4	61.1	65.7	65.5	2.377	0.212	252.4
15H00	30.6	69.3	64.2	63.1	61.2	67.8	3.008	0.226	275.12
16H00	30.4	62.5	58.1	56.8	56.3	62.3	3.438	0.0	195.61
17H00	29	55.5	47.9	46.4	56.8	53.9	3.931	0.0	113.64
18H00	26.5	66.2	55.8	53.9	83.7	59.6	4.245	0.143	24.46

TABLA C.5.3

$$V_M = 1.823$$

ESTADO DEL TIEMPO: Octubre 4, 1984

MAÑANA : cubierto

TARDE : parcial cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M _D	L _Q	H _C
	H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _{CF}			
09H00	25	36.5	40.5	39.2	36	39	0.0	0.0	63.1
10H00	28	72	63.3	61.9	92.6	62.8	0.310	0.208	107.27
11H00	30	83.2	75.2	73.5	87.7	77.3	1.169	0.307	208.23
12H00	33	78.6	70.9	69.6	74.7	73.3	1.957	0.0	302.88
13H00	35	76.6	70.2	68.8	72.3	74.4	3.197	0.190	321.81
14H00	35	77.5	69.6	63.1	79.5	74.2	3.983	0.0	302.88
15H00	34	63.8	59	57.3	63.4	64.1	4.577	0.0	258.71
16H00	31	65.9	56.1	54.3	79.1	61.6	5.391	0.415	189.3
17H00	28	81.3	70.1	67.3	116.6	74.4	6.291	0.562	69.41
18H00	26.5	60	49.8	47.4	77	53.8	6.908	0.0	37.86

TABLA C.5.4

V_M = 1.674 M/SEG.

ESTADO DEL TIEMPO: Octubre 6, 1984

MAÑANA : Despejado

TARDE : Despejado

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M _D	LQ	H _C
	HORA	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _{CF}			
09H00	25	34.3	37.4	35.9	33.9	35.2	0.0	0.0	164.0
10H00	27	51.1	46.3	45	45.1	46.3	0.0	0.32	208.23
11H00	29	80.6	70.1	68.9	87.3	73.8	0.857	0.245	256.18
12H00	31.5	77.6	68.4	67.8	74.1	72.4	1.693	0.0	328.12
13H00	31.5	71.4	61.2	59.5	82.4	66.1	2.644	0.0	296.57
14H00	30	56.2	48.7	46.9	56.2	53.2	3.078	0.0	151.44
15H00	28	51.8	45.7	43.8	52.6	50.7	3.378	0.0	100.96
16H00	27.5	65.6	55.1	53.3	78.3	60.2	4.004	0.306	99.38
17H00	27.5	62.6	52	50.2	79.2	58.2	4.90	0.0	56.79
18H00	27	55.7	45.8	43.3	72.2	51.4	5.622	0.271	12.62

TABLA C.5.5

V_M = 1.929 M/SEG.

ESTADO DEL TIEMPO : OCTUBRE 8, 1984

MAÑANA : DESPEJADO

TARDE : CUBIERTO

TIEMPO	TEMPERATURAS ° C						M _D	L _Q	H _C
HORA	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _{CF}	T _{SI}	LT.	W/M ²	M/SEG ²
09H00	22.5	29.2	32.6	31.1	31.4	33.2	0.0	0.0	107.27
10H00	25	53.6	50.1	48.7	113.8	46.2	0.117	0.322	132.51
11H00	27.5	87.8	79.2	77.9	107.4	82.4	1.138	0.106	189.3
12H00	31	81.7	73.1	71.5	82.2	76.8	1.994	0.204	321.81
13H00	32.6	77.1	71	69.6	71	74.4	2.80	0.0	338.21
14H00	32.5	76.7	70	68.2	75.5	74.9	4.13	0.180	328.12
15H00	31	67.5	60.1	58.9	63.5	67	4.74	0.0	271.33
16H00	30	76.3	63.2	61.8	94.5	70.8	5.568	0.255	189.3
17H00	27.5	64.6	52.2	50.3	81.4	62	6.568	0.118	82.3
18H00	26	56.4	47.1	43.3	69.8	52.9	7.050	0.119	35.34

TABLA C.5.6.

$$V_M = 2.196 \text{ M/SEG}$$

ESTADO DEL TIEMPO, OCTUBRE 10, 1984

MAÑANA : CUBIERTO.

TARDE : DESPEJADO

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M_D	G_Q	H_C
	H O R A	T_A	T_W	T_{GI}	T_G	T_{SI}			
09H00	23	33	29	30	30	28.5	0.0	0.0147	201.8
10H00	24.5	41.4	35.5	30.2	34.5	49	0.022	0.0221	203
11H00	25	53.8	45.9	45	45.5	63.2	0.148	0.0221	315.46
12H00	27	58.5	50.6	49.2	51.1	64	0.310	0.0197	340.69
13H00	27	60.8	51.4	50.5	52.5	67.2	0.582	0.0295	239.75
14H00	28	60.4	53	51.4	53	67.7	0.880	0.0271	264.98
15H00	28.5	57.1	52.6	49.7	50.6	67.2	1.288	0.0271	277.6
16H00	28	61.6	52.2	49.6	55	72.3	1.608	0.0295	239.8
17H00	26.5	60.5	50.7	47.2	52.5	74	1.908	0.0274	151.42
18H00	25.4	59.6	46.2	45.7	51.8	57.2	1.220	0.0320	50.47

TABLA C.6.1

$V_M = 1.53 \text{ M/SEG.}$

ESTADO DEL TIEMPO: Abril 30, 1985

MAÑANA : cubierto

TARDE : cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M _D	G _Q	H _C
	H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _{SI}			
09H00	23	35.8	40.5	34.9	30.5	32.2	0.0	0.0345	201.9
10H00	25	58.3	50.5	45.4	48.6	66.9	0.274	0.0345	328
11H00	25	60.7	52.3	45.7	54.1	67.7	0.574	0.0307	201.6
12H00	26.5	70.5	61.5	56.9	63.4	75.7	0.994	0.0283	353.3
13H00	26.4	66.2	57.8	52.4	59	70.9	1.365	0.0320	252.36
14H00	27	68.3	58.1	55.5	61.3	72.6	1.797	0.0320	239.75
15H00	27.3	68.5	59.7	55.8	61.2	74.7	2.266	0.0303	202
16H00	27.4	70.8	68.8	65.7	66.5	75.3	2.622	0.0246	189.27
17H00	27	70.9	59.2	54.5	63.7	77.1	3.106	0.0296	176.66
18H00	25.8	66.7	54.7	49.8	58.8	72.7	3.562	0.0295	101

TABLA C.6.2

V_M = 1.44 M/SEG.

ESTADO DEL TIEMPO: Mayo 2, 1985

MAÑANA : cubierto

TARDE : parcial cubierto

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						\dot{M}_D	G_Q	H_C
H O R A	T_A	T_W	T_{GI}	T_G	T_{SI}	T_{CF}	LT.	M^3	W/M^2
09H00	21	37.4	41.3	35	33.1	33	0.0	0.0	176.65
10H00	25	46.6	48.3	42.3	39.9	43	0.208	0.0320	214.51
11H00	27.5	63.4	61.5	57.6	58.8	64.1	0.491	0.0296	403.79
12H00	28.6	79.5	71.8	66.8	71	74.7	0.975	0.0296	580.45
13H00	30	81.6	72.6	67.2	74.6	78.8	1.755	0.0283	706.63
14H00	31.5	83.2	70.9	66	74.9	79.6	2.645	0.0296	643.53
15H00	31	77.3	66	61.5	71	75.2	3.472	0.0296	630.92
16H00	30	53	48.2	41.7	46.7	53.7	3.777	0.0	479.49
17H00	27	56.8	45.6	41.3	46.2	56.3	4.072	0.0320	176.65
18H00	25	58.5	45.2	41.8	47	60.4	4.464	0.0	75.71

TABLA C.6.3

$V_M = 1.93 \text{ M/SEG.}$

ESTADO DEL TIEMPO : Mayo 3, 1985

MAÑANA : despejado

TARDE : despejado

TIEMPO	TEMPERATURAS °C						M _D	G _Q	H _C	
	H O R A	T _A	T _W	T _{GI}	T _G	T _{SI}				T _{CF}
09H00										
10H00	27.3	60.5	56.4	50.5	48.5	53.6	0.0	0.0	454.26	
11H00	29.5	67.7	62.3	55.6	55.9	71.6	0.676	0.0296	567.82	
12H00	30.7	79.1	74.1	67.2	70	84.4	1.282	0.0296	630.92	
13H00	32	79.2	73.5	67.4	71.5	81.5	1.912	0.0	656.15	
14H00	33	66.3	60.7	57.5	60	66.4	2.430	0.0296	630.92	
15H00	32.5	67.2	62.6	55.6	59.6	65.5	2.754	0.0	542.59	
16H00	30	66.1	60.5	53	59.1	80	3.093	0.0271	201.89	
17H00	29	56.3	45.7	40	47.2	71.5	3.507	0.0296	246.06	
18H00	27	67.8	52.7	48.4	53.8	87.3	4.002	0.0	88.32	

TABLA C.6.4

V_M = 1.69 M/SEG.

ESTADO DEL TIEMPO : Mayo 4, 1985

MAÑANA : despejado

TARDE : parcial cubierto

TABLA C.7.1

CUADRO DE EFICIENCIAS DE DESTILADOR DE AGUA CON ENERGIA SOLAR

PRUEBA	\dot{m}_D Kg/hr-m ²	H _C w/m ²	h _{fg} KJ/Kg	η_{me} %	η_i %
1	0.3577	4097.93	2367.6354	51.67 2)	62.28 56.67
2	0.4509	5046.06	2357.633.6	52.65 1)	63.47 60.43
3	0.4277	4902.10	2367.1702	51.59 3)	62.2 56.93
4	0.1651	2831.93	2394.3146	34.89	42.07
5	0.1584	2482.11	2395.5939	38.21	46.08
6	0.1408	2274.61	2397.1756	37.09	44.72
7	0.2524	3273.96	2408.2706	46.41 4)	55.95 49.56
8	0.2354	3310.44	2383.6848	43.37 5)	51.08 49.70
9	0.2061	2881.68	2384.6152	42.63 6)	51.40 49.35
10	0.1343	2274.92	2392.0584	35.61	42.94
11	0.1190	2265.50	2402.7580	31.55	38.03
12	0.2262	3252.84	2383.6150	41.44	49.95

PROMEDIO: $\eta_{me} = 42.17\%$

TABLA C.7.2.

CUADRO DE EFICIENCIAS DEL FOGON METALICO

PRUEBA	T _i °C	T _f °C	A _c Kg.	A _e Kg.	C _r Kg.	L _q Kg.	PCU %
1	26.8	56.7	10	5.12	0.011	2.62	29.0
2	45.9	57.8	10	4.53	----	2.41	26.21
3	25.8	58.7	10	4.22	----	1.67	38.46
4	25.9	47.5	10	5.17	0.020	1.59	47.60
5	29.7	55.2	10	4.14	----	1.74	35.25
6	30.2	77.6	10	6.76	0.035	2.30	45.34

PROMEDIO: PCU = 36.97%

TABLA C.7.3

CUADRO DE EFICIENCIAS DEL FOGON (Fig. 5.4.2)

PRUEBA	T _i °C	T _f °C	A _c Kg	A _e Kg	C _r Kg	L _q Kg	PCU %
C.4.1	38.4	56.7	10	5.179	0.015	2.648	27.98
C.4.2	35.2	57.4	10	4.188	0.019	2.429	25.39
C.4.3	24.3	57.7	10	3.902	-----	1.459	41.21
C.4.4	26.9	53.8	10	5.013	0.014	1.685	35.93
C.4.5	30.5	54.1	10	3.805	-----	1.843	30.61
C.4.6	32.1	67.5	10	5.616	0.020	2.322	36.34

PROMEDIO: PCU = 32.91%

TABLA C.7.4

CUADRO DE EFICIENCIAS DEL DESTILADOR DE AGUA CON GAS Y ENERGIA SOLAR

PRUEBA	\dot{m}_p Kg/hr.	H_c KJ	h_{fg} KJ/Kg	η_{me} %
1	0.244	8225.89	2367.583	25.82
2	0.3958	8085.02	2345.30	36.86
3	0.496	14717.98	2343.675	42.29
4	0.4446	14468.15	2334.623	43.68

PROMEDIO: $\eta_{me} = 37.16\%$

TABLA C.7.5

CUADRO DE EFICIENCIAS DEL DESTILADOR DE AGUA CON LEÑA Y ENERGIA SOLAR

PRUEBA	\dot{m}_p Kg/hr	\bar{T}_w °C	Lq Kg	Hc w/m ²	hfg KJ/Kg	η_{me} %
C.5.1	0.589	64.04	1.568	1332.6	2349.54	43.98
C.5.2	0.663	68.21	1.071	1386.06	2338.37	66.30
C.5.3	0.4717	63.22	1.039	1581.83	2351.63	46.91
C.5.4	0.7676	69.54	1.682	1861.45	2335.81	50.53
C.5.5	0.6246	60.69	1.142	1674.29	2357.68	57.24
C.5.6	0.7833	67.1	1.304	1995.49	2341.63	61.72

PROMEDIO $\eta_{me} = 54.45\%$

TABLA C.7.6

RESULTADOS DE MEDICION DE PRODUCCION DE AGUA DURANTE LA NOCHE

PRUEBA	LECTURA ULTIMA (Lt.)	PRODUCCION NOCHE (Lt.)	ULT. LECTURA %	PROMEDIO %
SOLAR				
1	3.219	0.09	2.79	
2	4.050	0.10	2.46	
3	3.849	0.096	2.49	
4	1.406	0.133	9.46	
5	1.426	0.059	4.14	
6	1.268	0.087	6.86	
7	2.272	0.067	2.95	
8	2.119	0.122	9.05	
9	1.855	0.168	9.05	
10	1.209	0.080	6.62	
11	1.071	0.114	10.64	
12	2.036	0.090	4.42	5.63
LEÑA				
13	5.179	0.366	7.06	
14	4.188	0.247	5.89	
15	3.902	0.444	11.38	
16	5.166	0.295	5.71	
17	3.805	0.270	7.09	
18	6.762	0.634	9.37	7.75

PRUEBA	LECTURA ULTIMA (Lt.)	PRODUCCION NOCHE (Lt.)	ULT. LECTURA %	PROM. %
SOLAR/LEÑA				
19	5.302	0.282	5.32	
20	5.97	0.276	4.62	
21	4.245	0.416	9.8	
22	6.908	0.437	6.33	
23	5.622	0.411	7.31	
24	7.05	0.484	6.86	6.71
SOLAR/GAS				
25	2.20	0.294	13.36	
26	3.562	0.316	8.87	
27	4.464	0.258	5.78	
28	4.267	0.268	6.28	8.57

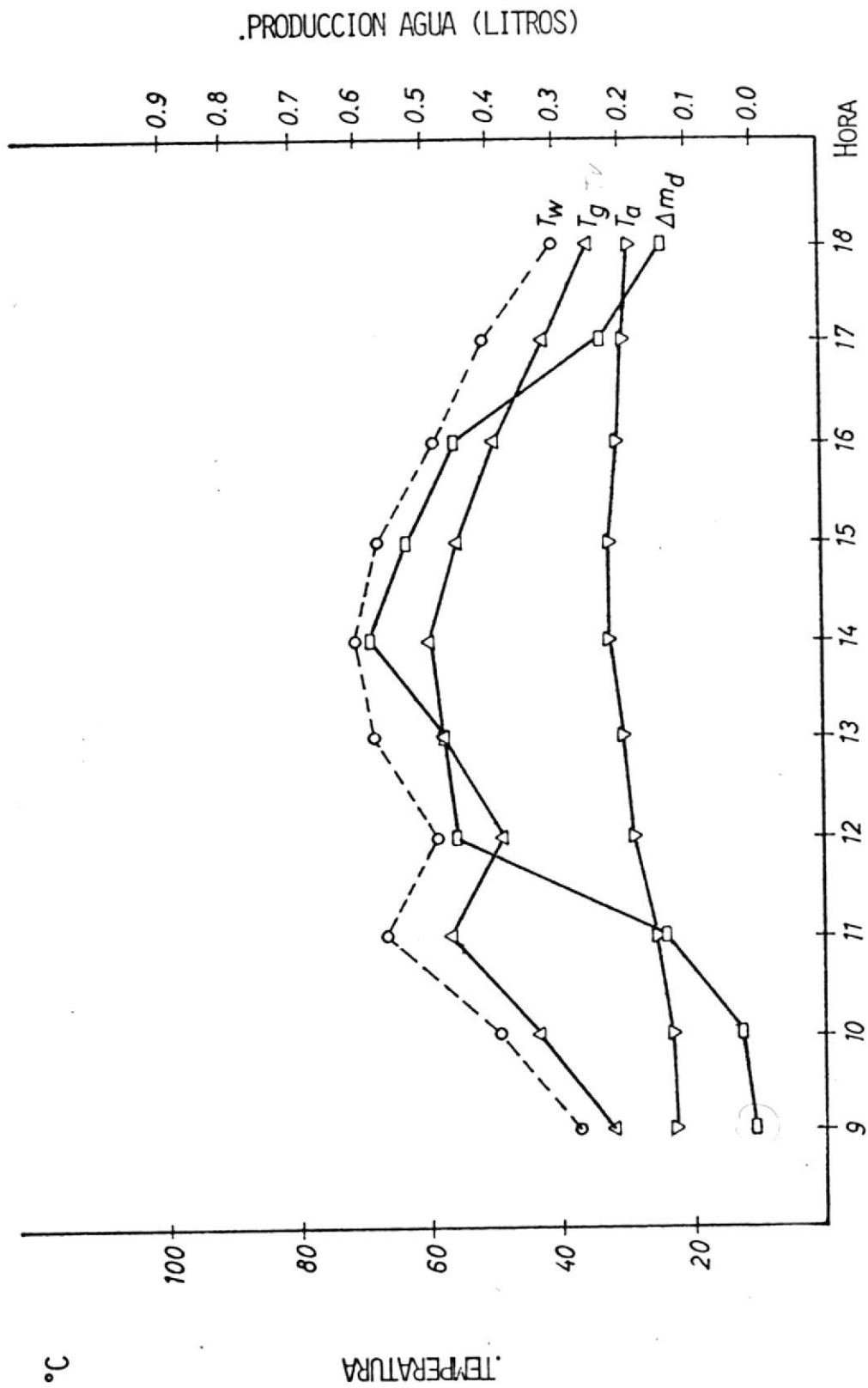


GRAFICO C.3.1.1 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA VS, TIEMPO
(PRUEBAS CON ENERGIA SOLAR)

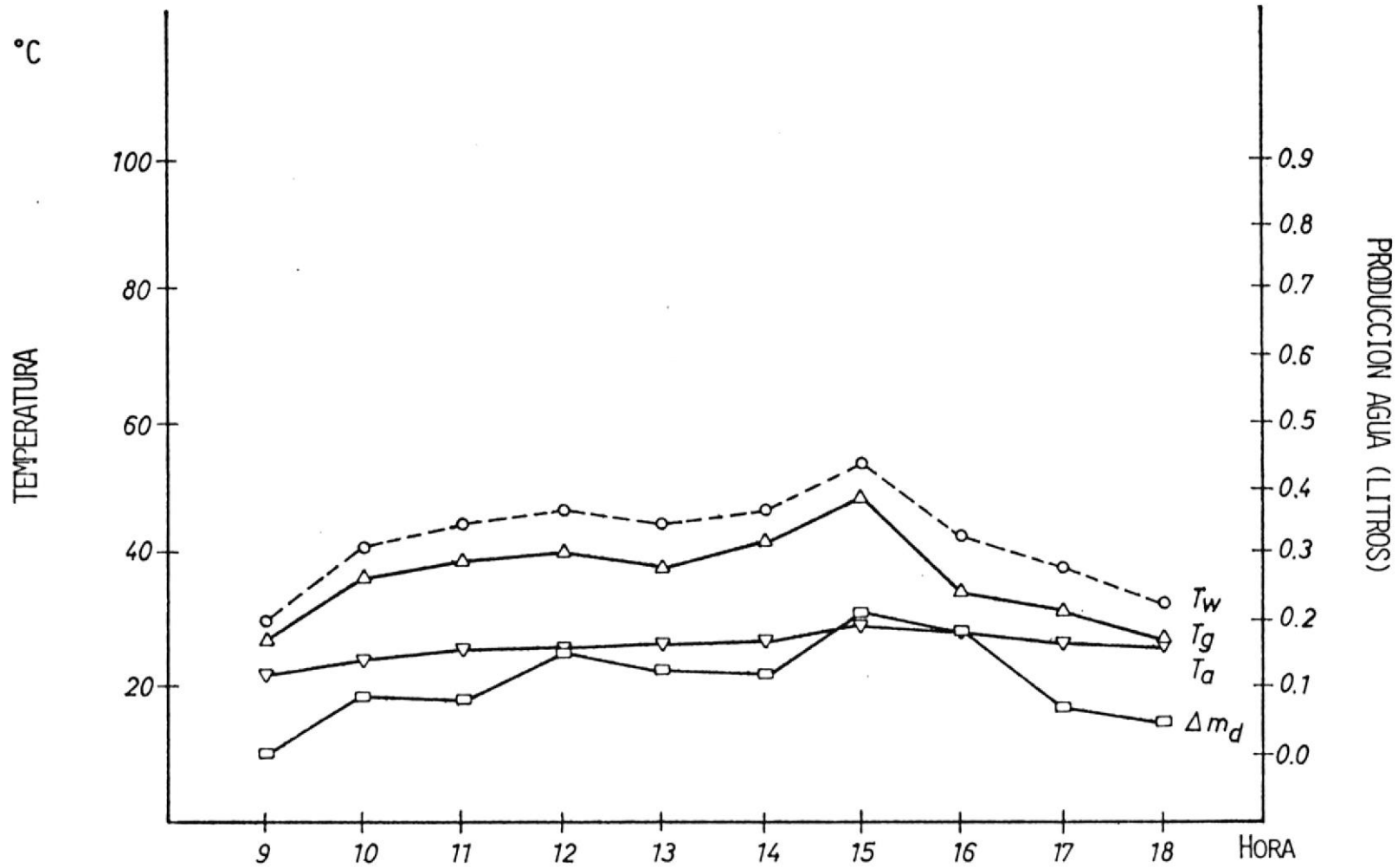


GRAFICO c.3.11 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA Vs. TIEMPO
(PRUEBAS CON ENERGIA SOLAR)

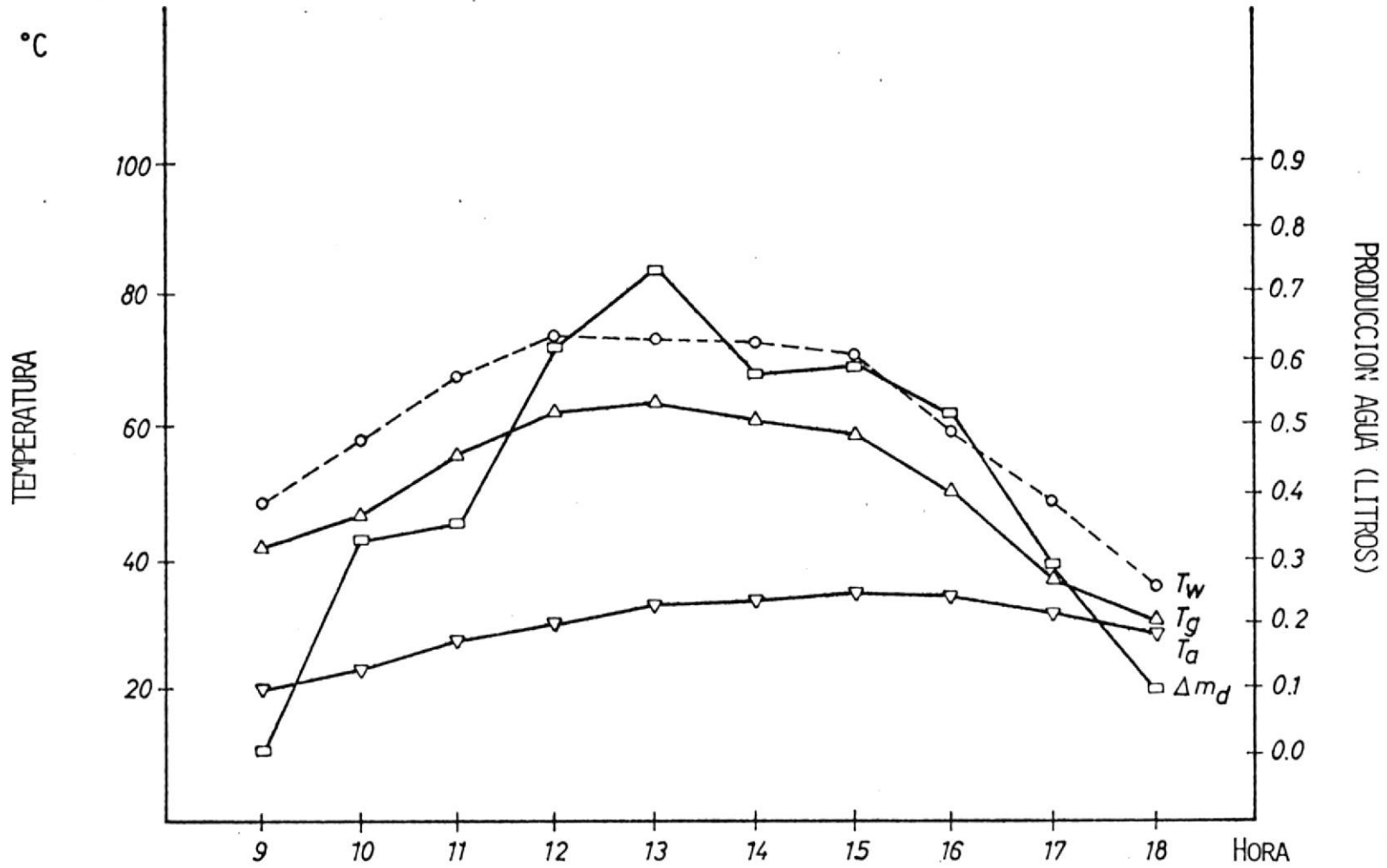


GRAFICO c.3.2 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO
(PRUEBAS CON ENERGIA SOLAR)

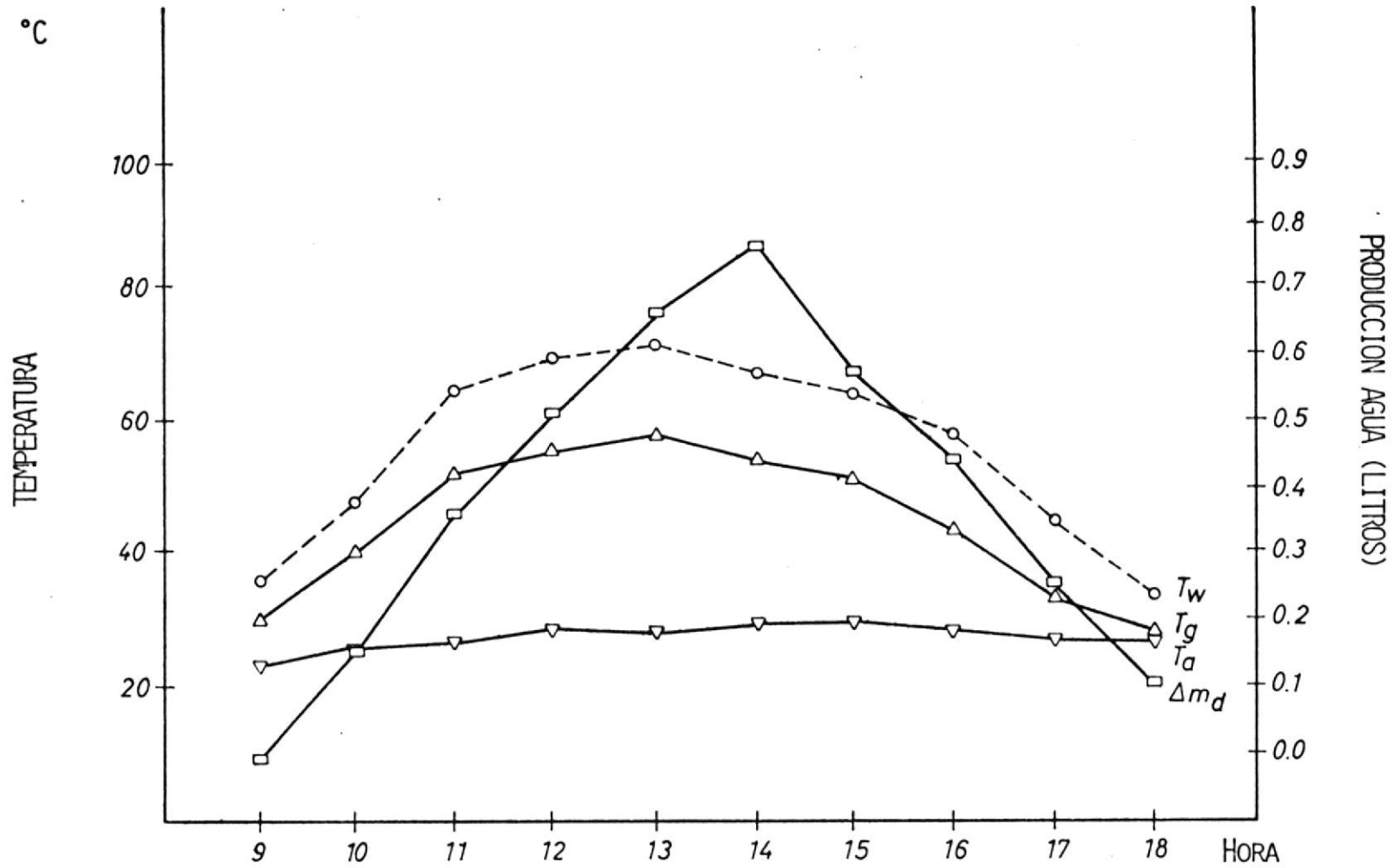


GRAFICO c.3.3 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA VS. TIEMPO
(PRUEBAS CON ENERGIA SOLAR)

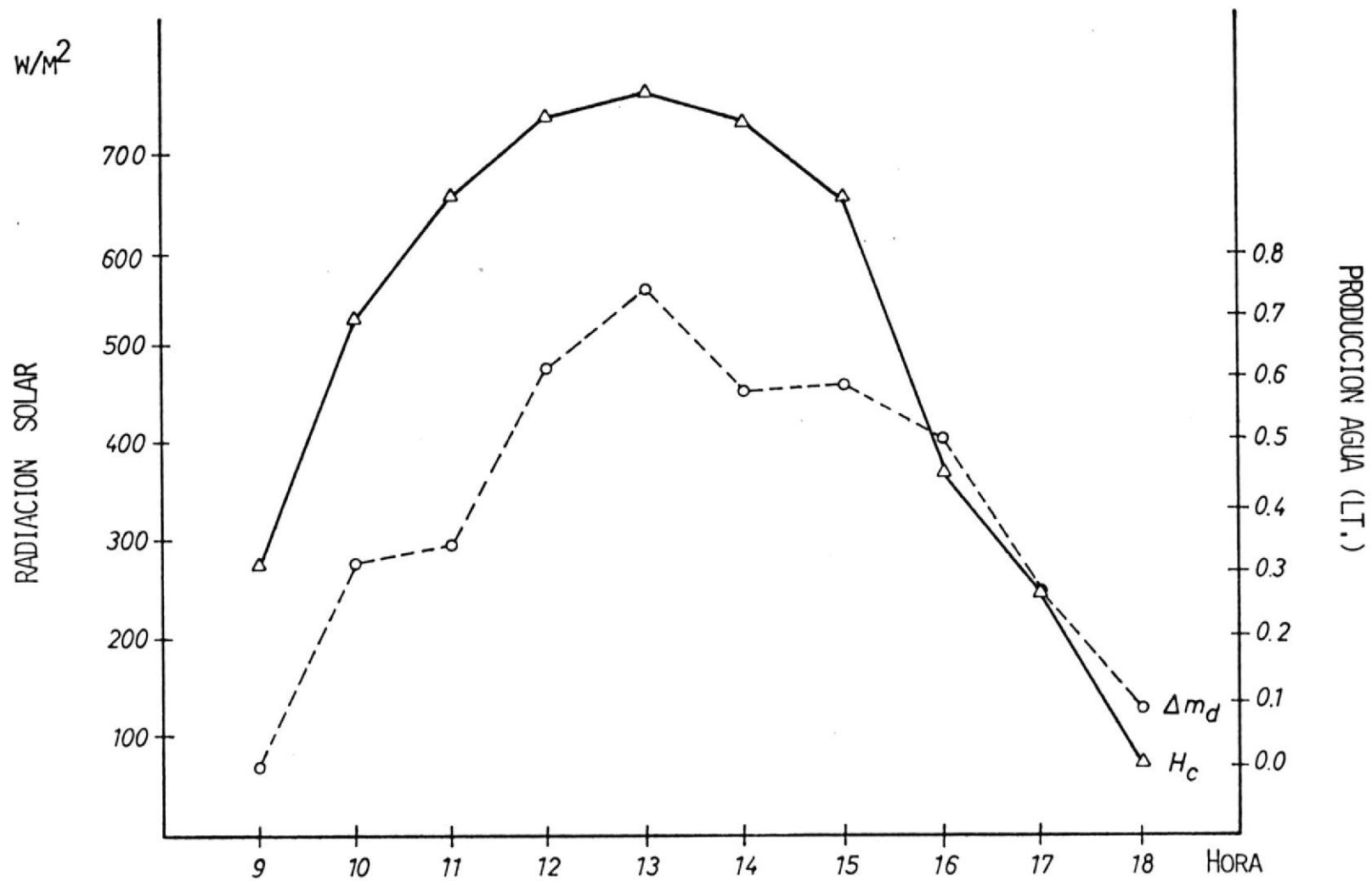


GRAFICO c.3.2.A RADIACION SOLAR Y PRODUCCION DE AGUA Vs. TIEMPO

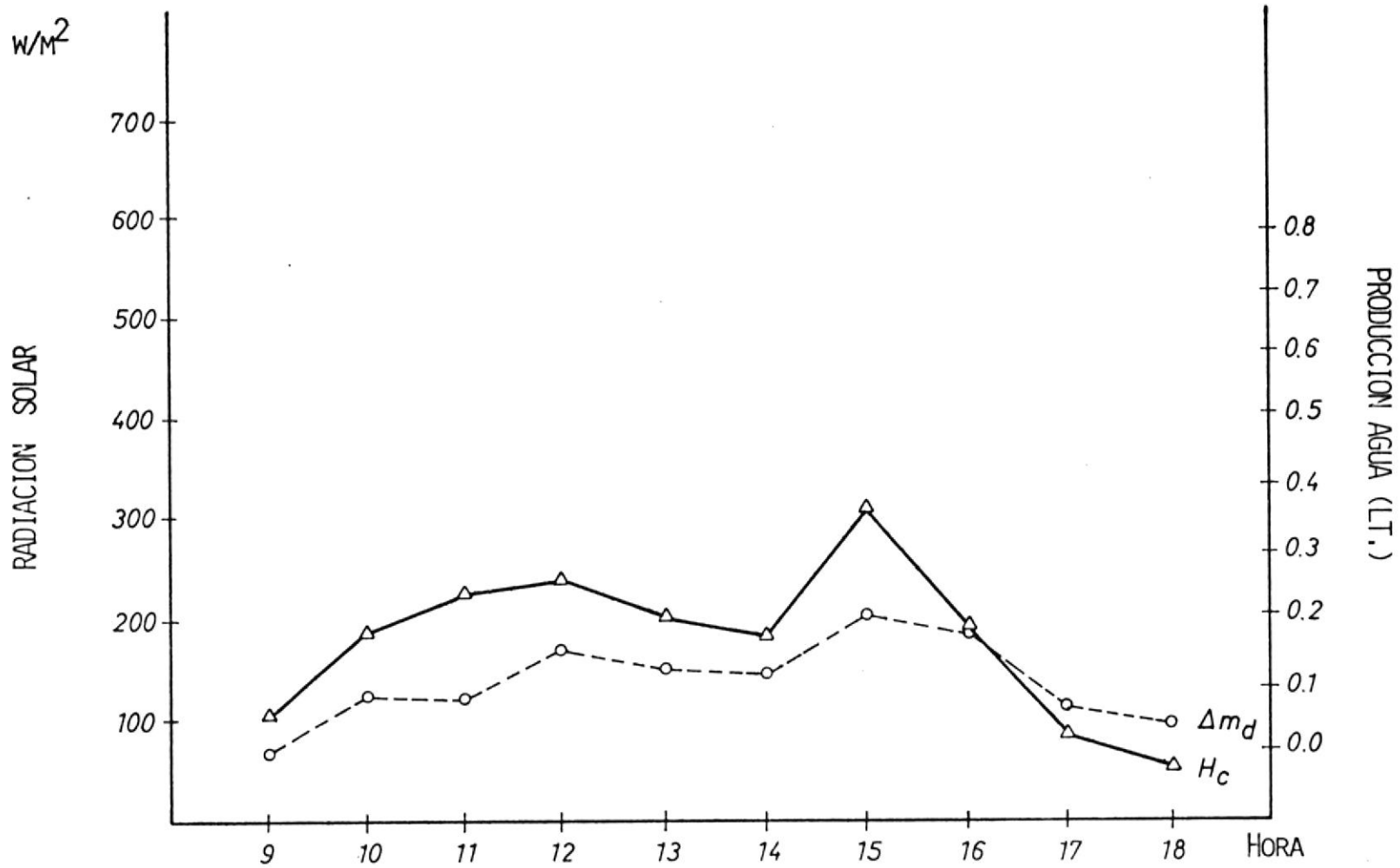


GRAFICO c.3.11.A RADIACION SOLAR Y PRODUCCION DE AGUA Vs. TIEMPO

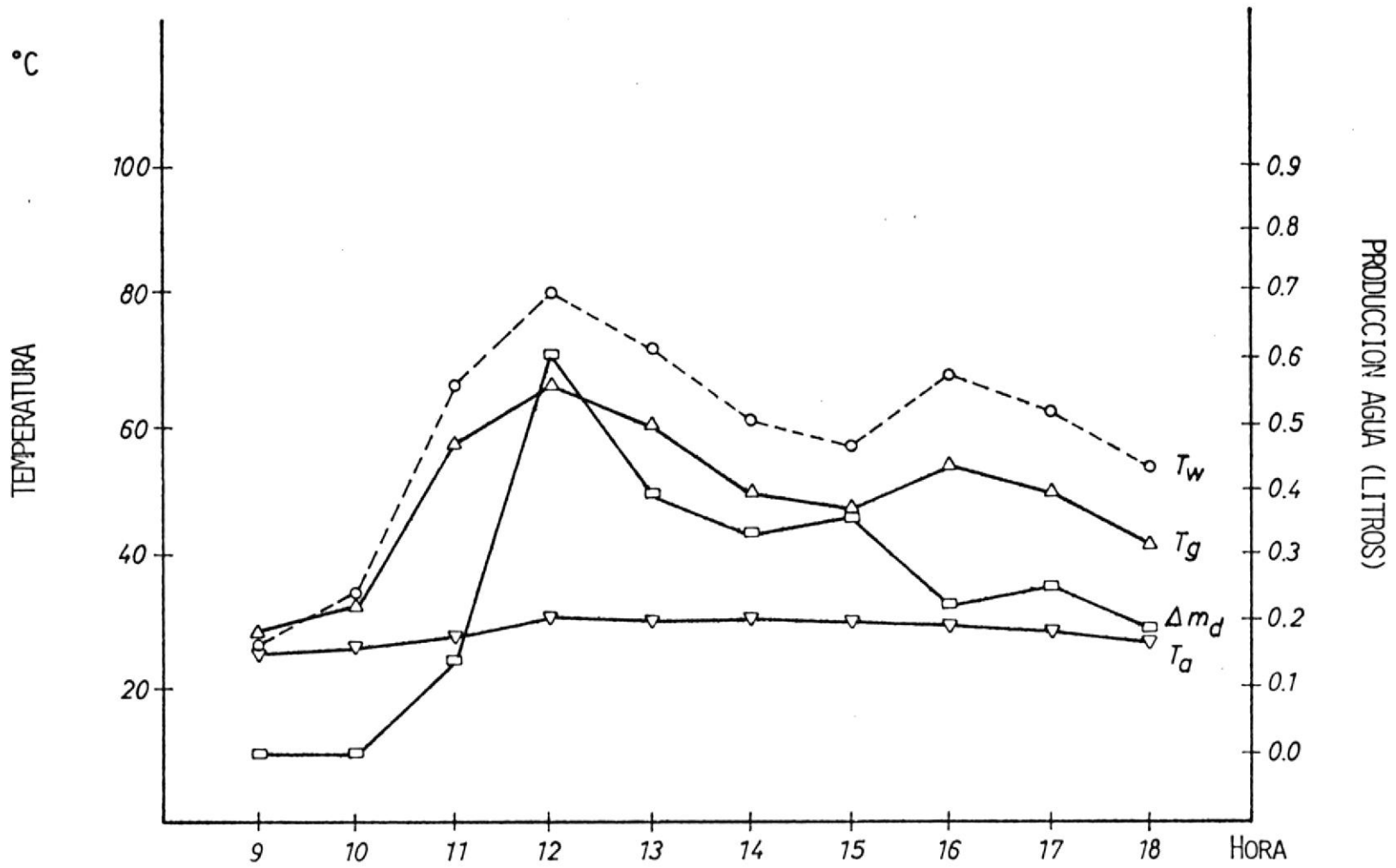


GRAFICO c.4.1 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA Vs. TIEMPO (PRUEBAS CON LEÑA)

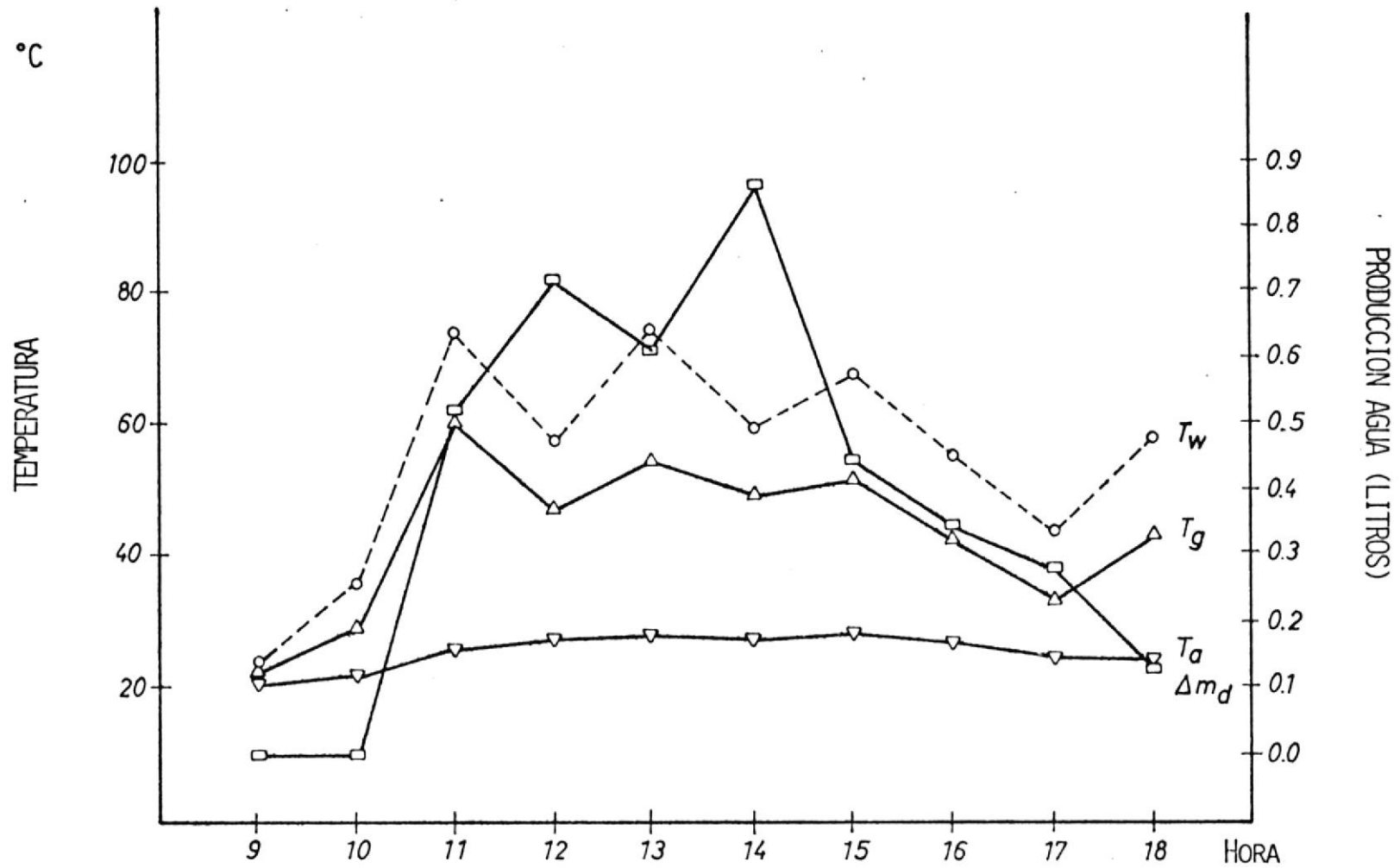


GRAFICO c.4.3 TEMPERATURA AMBIENTE , TEMPERATURA DEL AGUA Vs. TIEMPO
(PRUEBAS CON LEÑA)

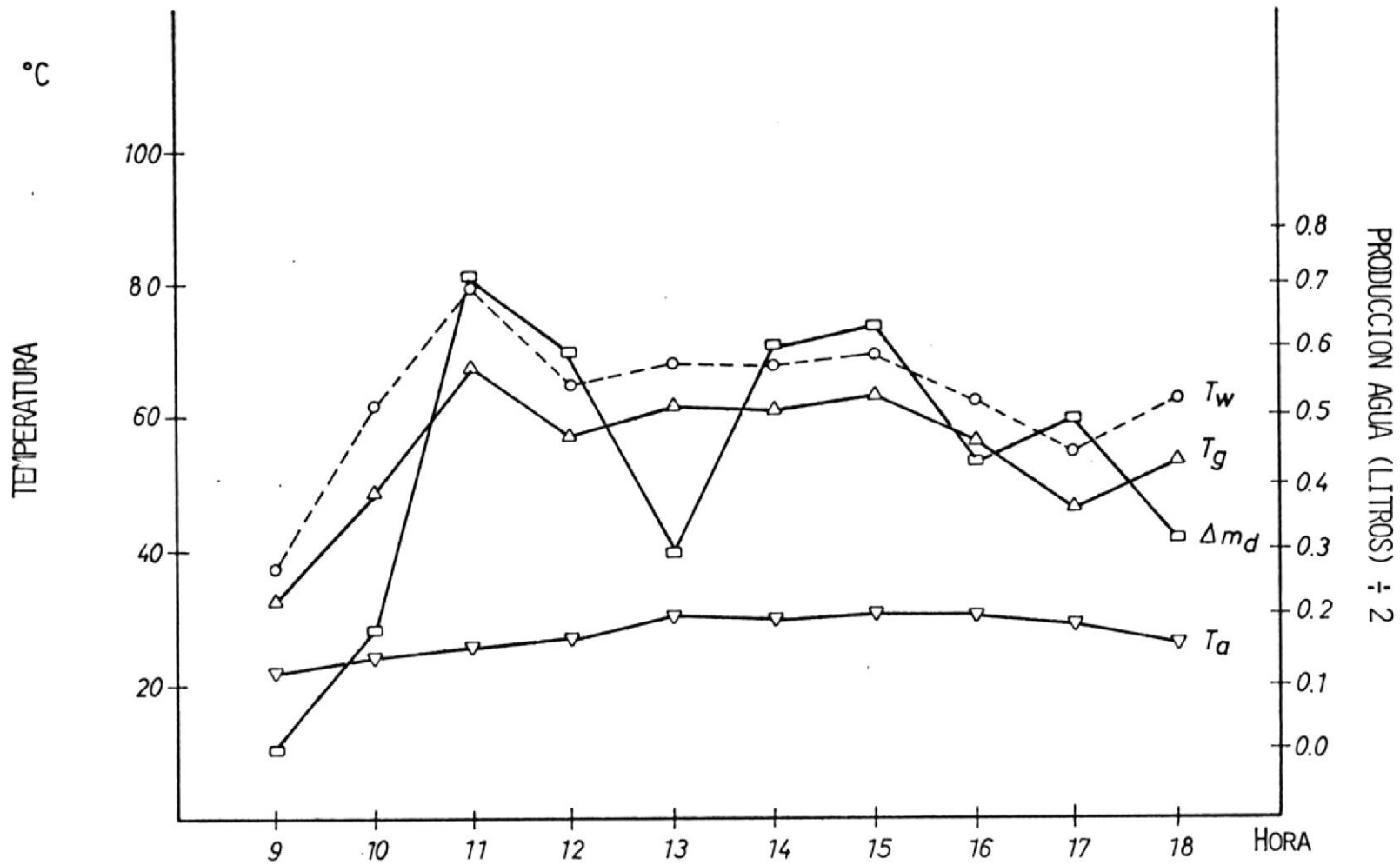


GRAFICO c.5.3 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA Vs. TIEMPO (PRUEBAS SOLAR-LEÑA)

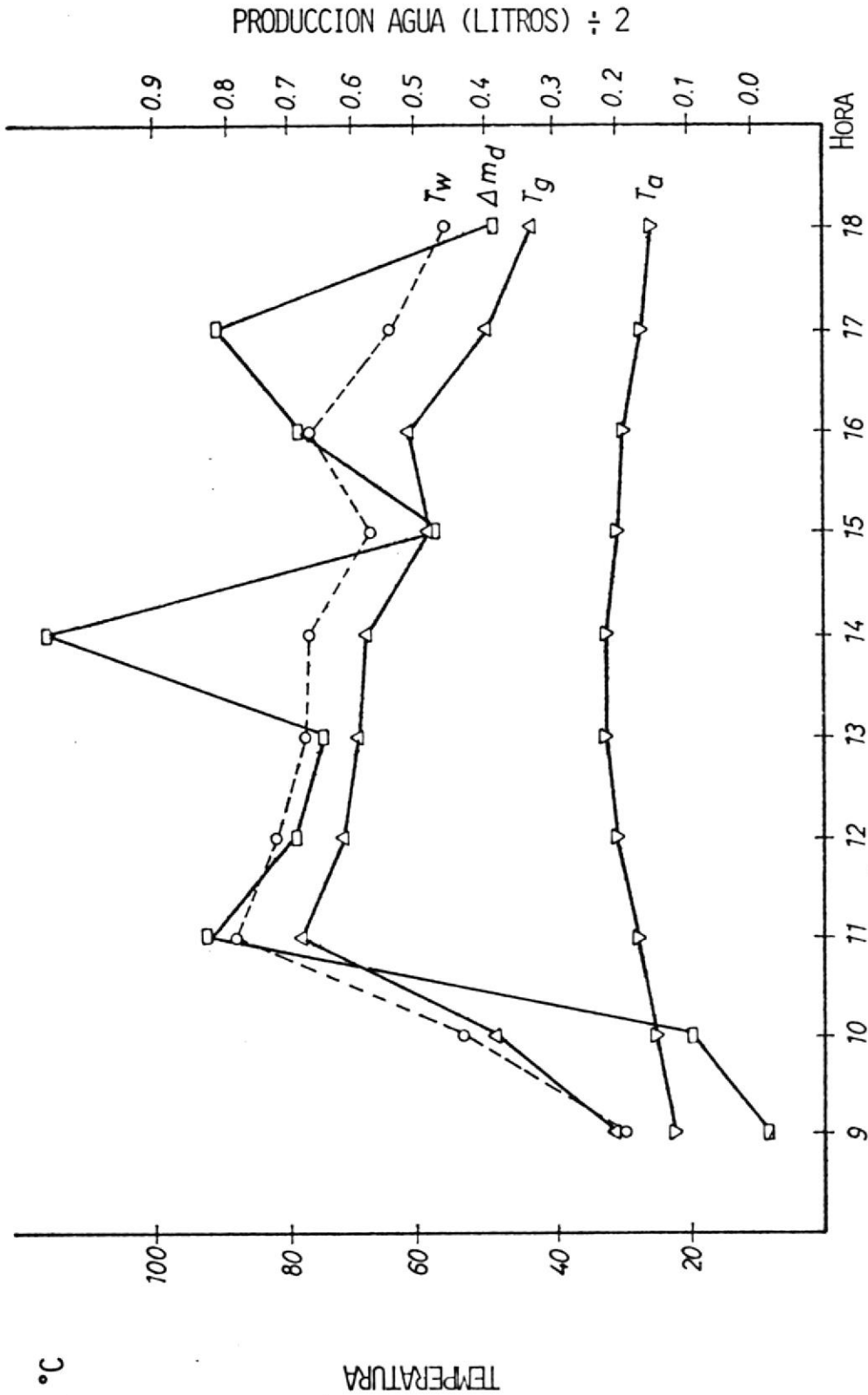


GRAFICO c.5.6 TEMPERATURA AMBIENTE, TEMPERATURA DEL AGUA Vs. TIEMPO
(PRUEBAS SOLAR-LEÑA)

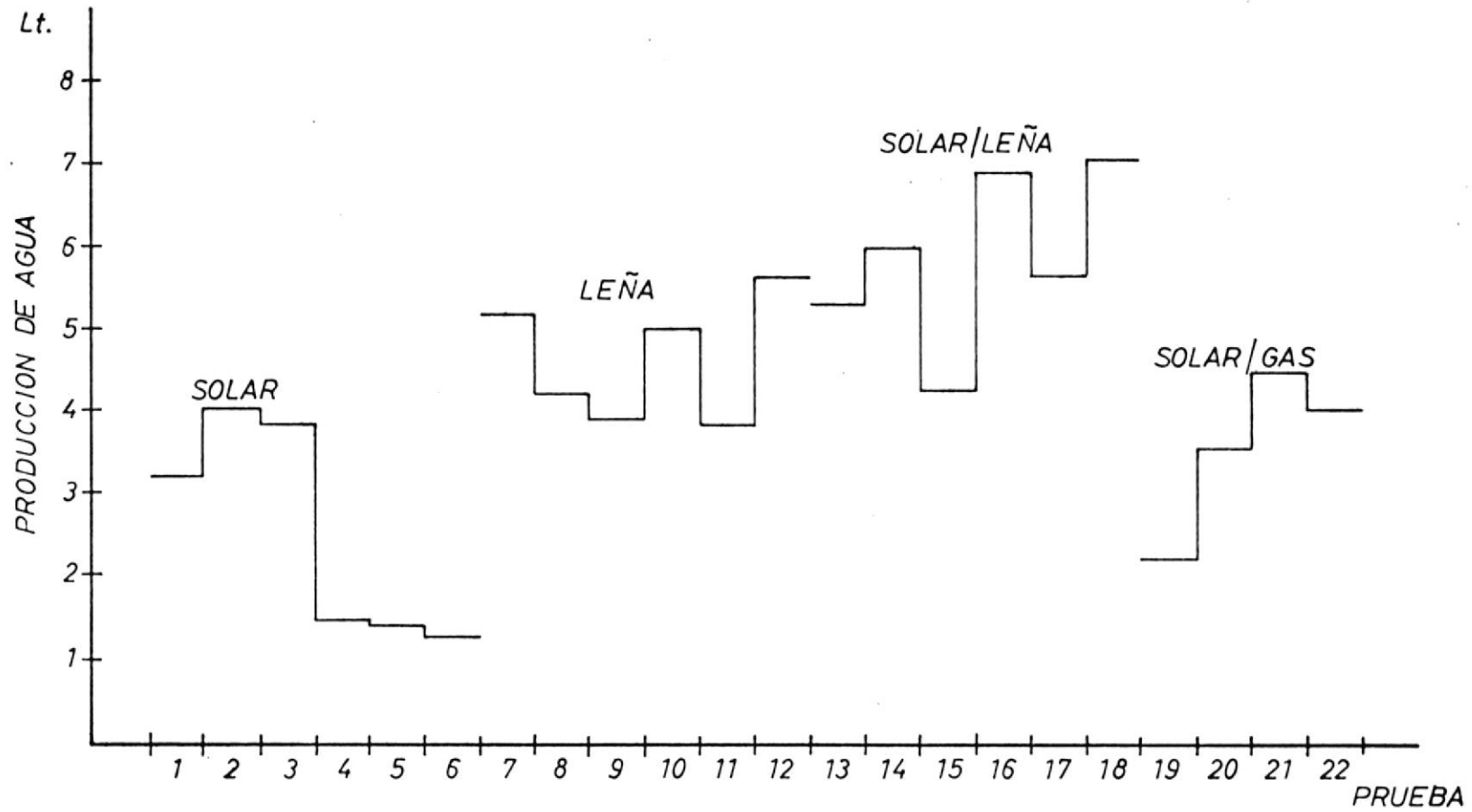


GRAFICO: C.6.1

PRODUCCION DE AGUA VS. TIEMPO

A P E N D I C E D

CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION

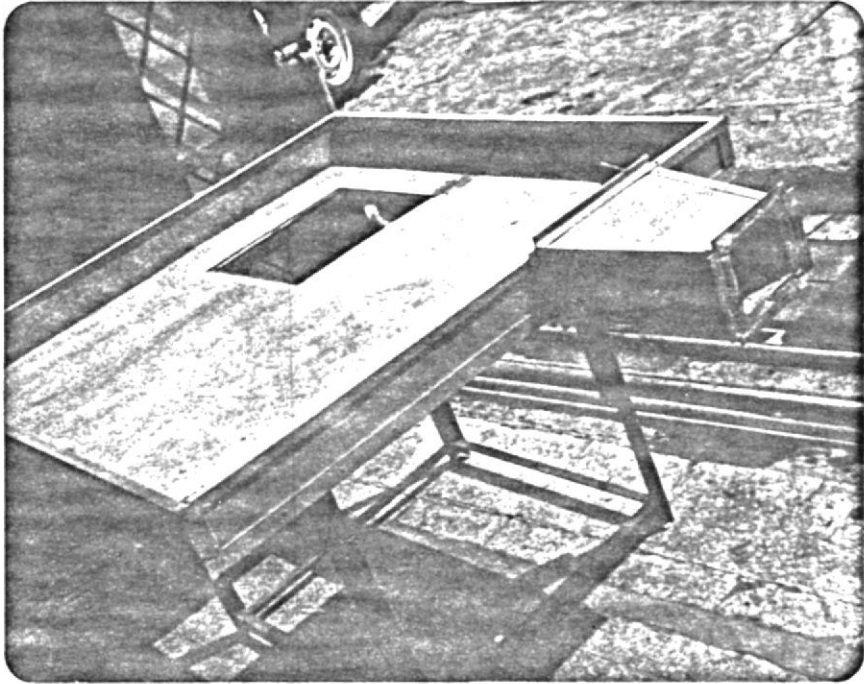


Fig. D-1 CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO
NO AISLADA

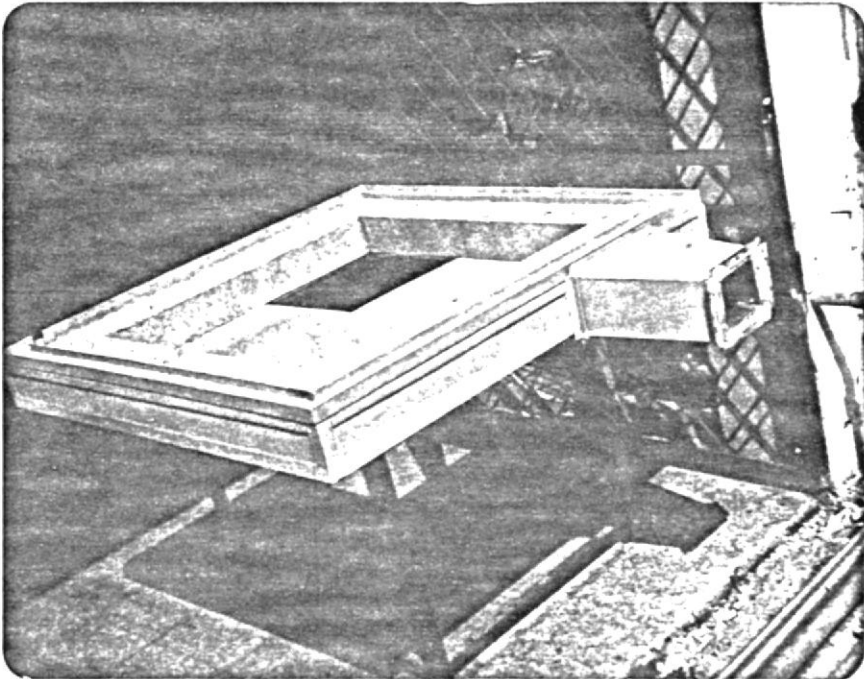
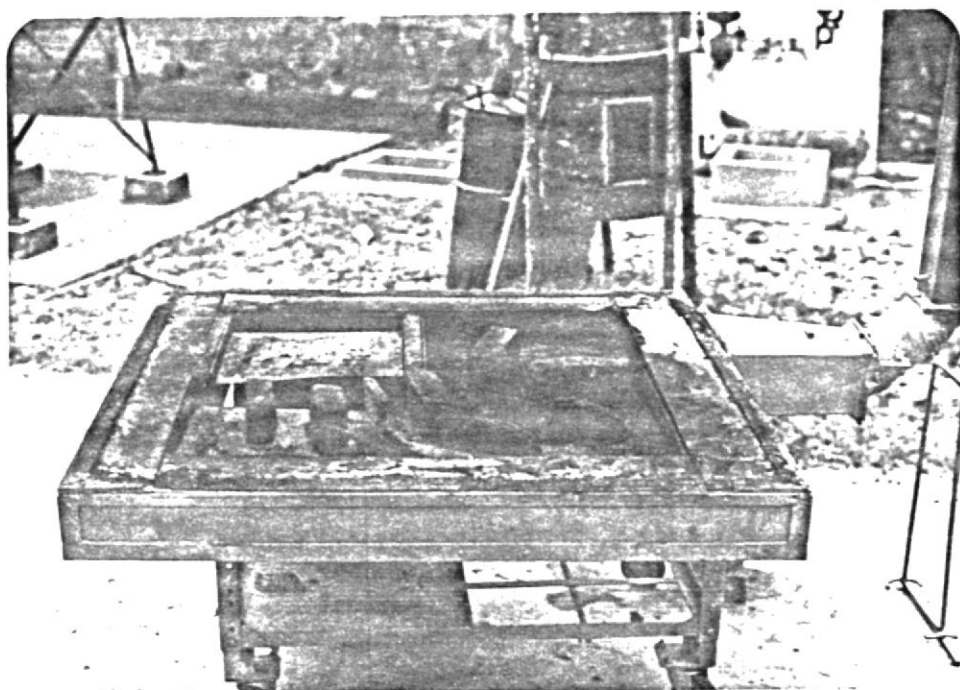


Fig. D-2 CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO
AISLADA



*Fig. D-3 CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO
CON DEFLECTORES*

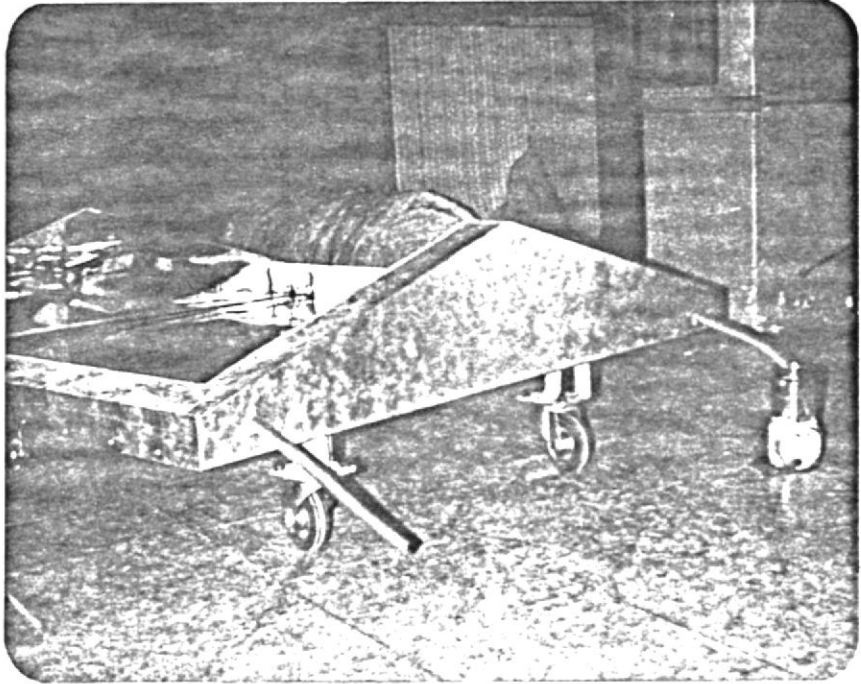


Fig. D-4 ESTRUCTURA DEL DESTILADOR

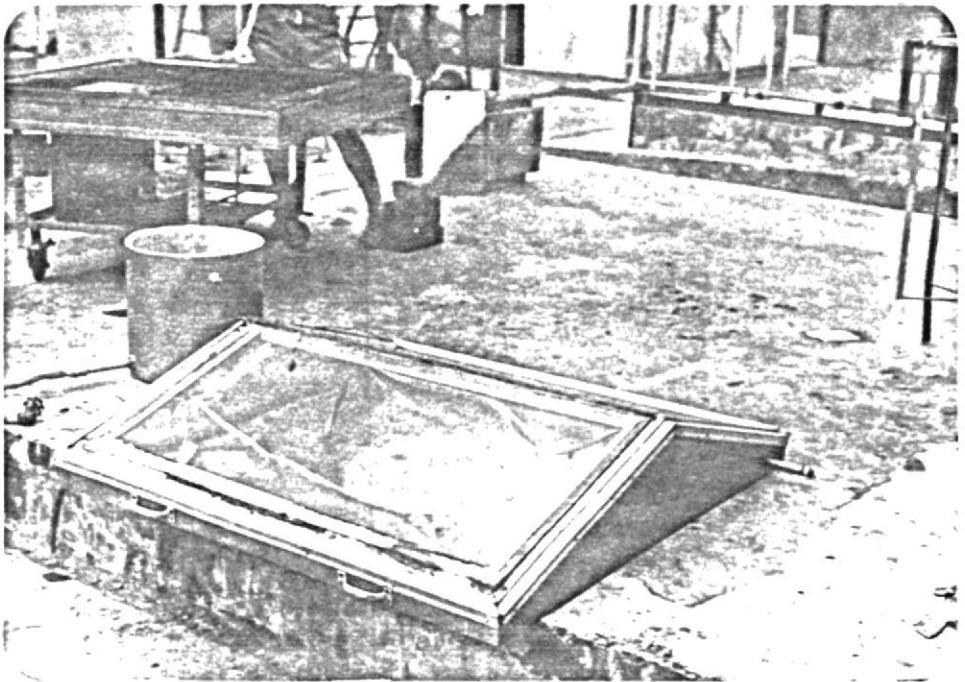


Fig. D-5 VISTA DEL MODELO CON CUBIERTA DE VIDRIO

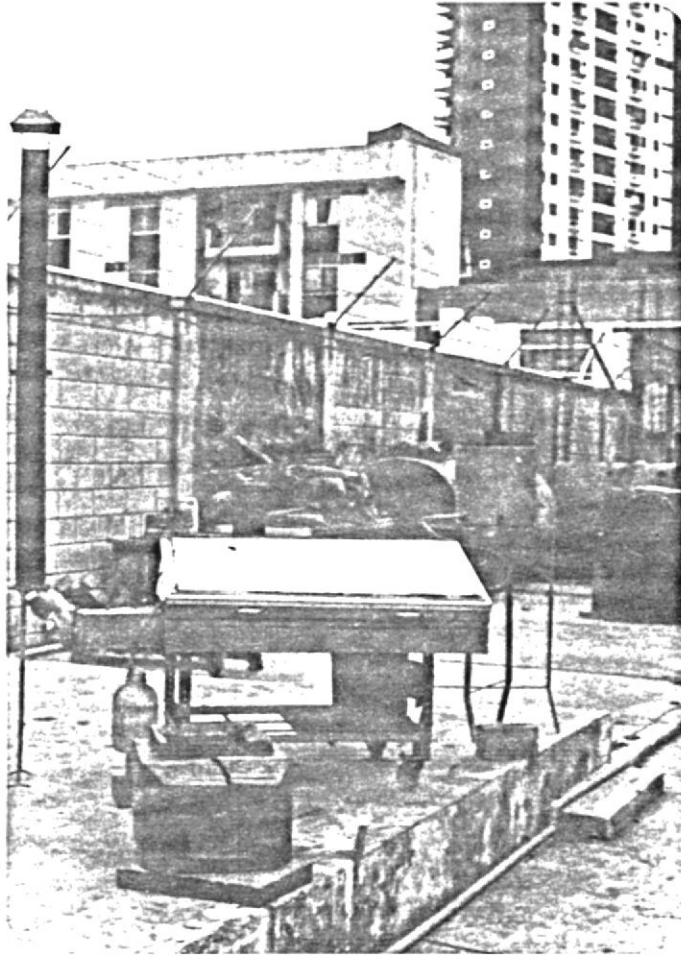


Fig.D-6 VISTA GENERAL DEL MODELO

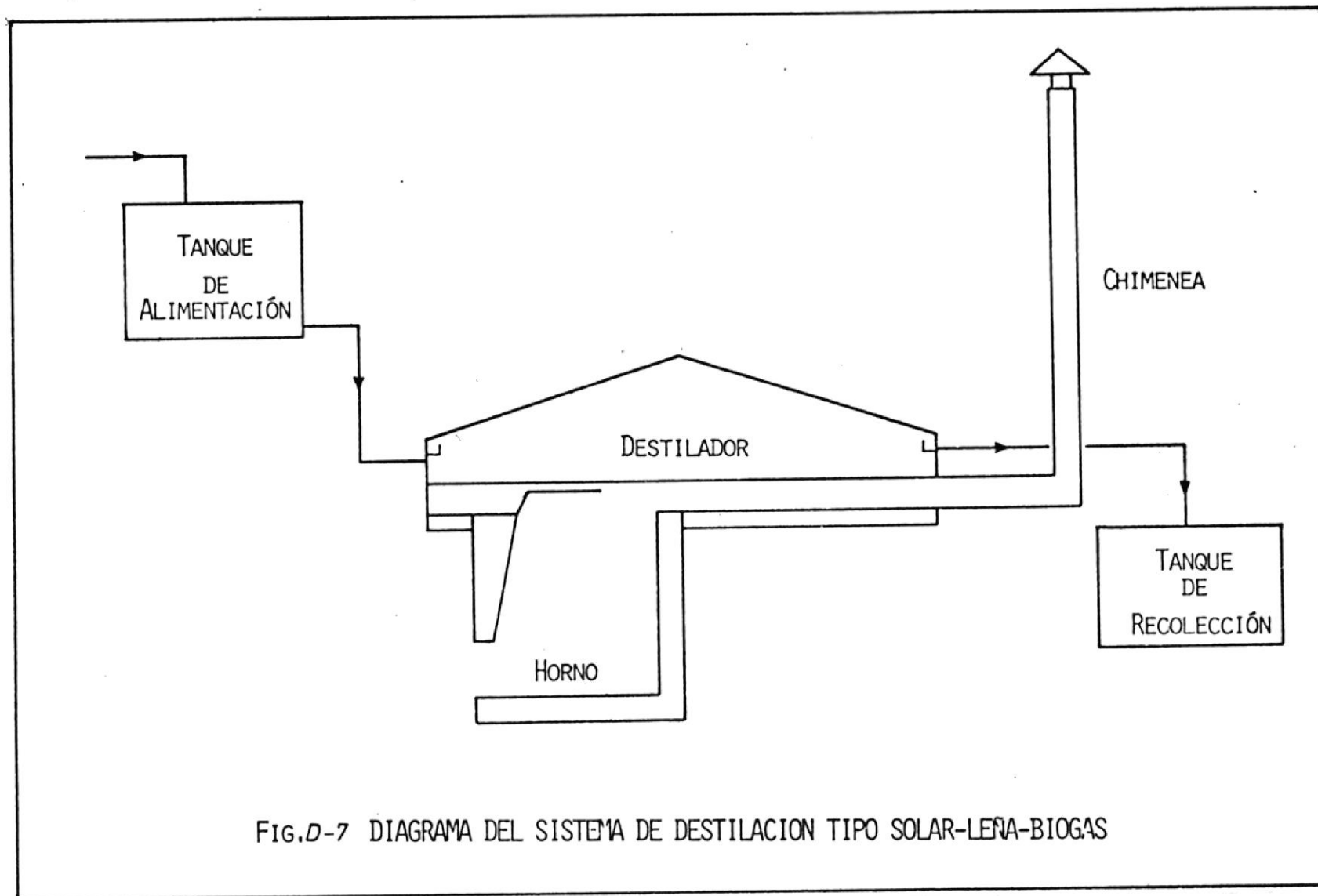


FIG.D-7 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE DESTILACION TIPO SOLAR-LEÑA-BIOGAS

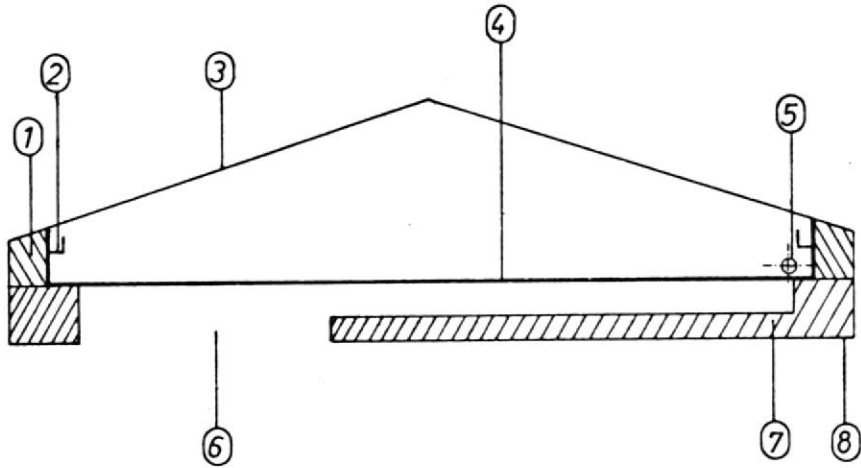
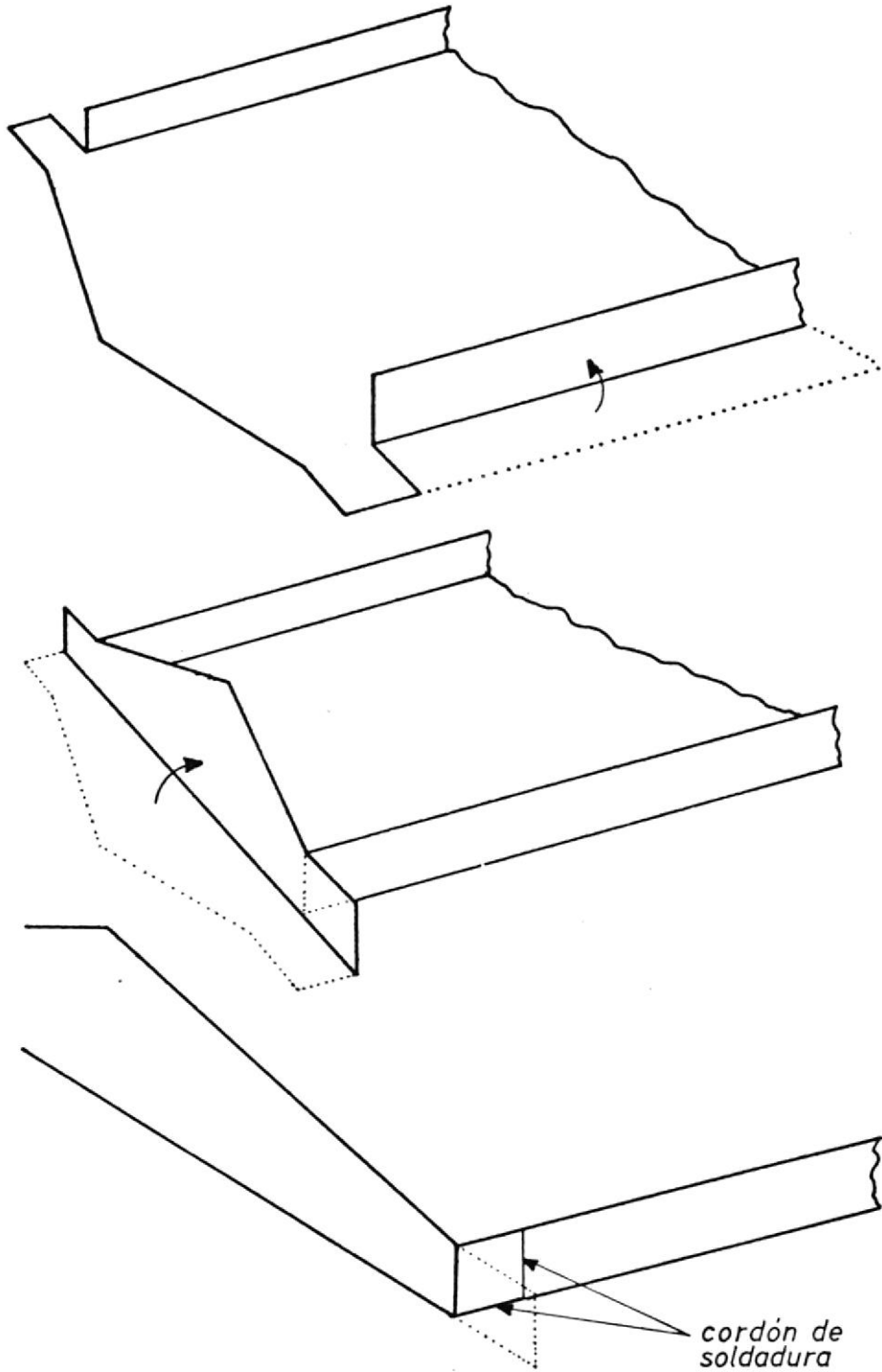


FIG. D-8 VISTA PRINCIPAL DE DESTILADOR SOLAR/LEÑA

- ① AISLANTE
- ② CANAL RECOLECTOR DE CONDENSADO
- ③ CUBIERTA DE VIDRIO
- ④ BANDEJA DE EVAPORACIÓN
- ⑤ TUBERIA DE ALIMENTACIÓN
- ⑥ CAVIDAD PARA EL FOGÓN
- ⑦ AISLAMIENTO DE PIEDRA POMEZ
- ⑧ CAJA DE RECIRCULACIÓN DE HUMO.

FIG. D-9 SECUENCIA APLICADA EN LA CONSTRUCCION DE LA BANDEJA



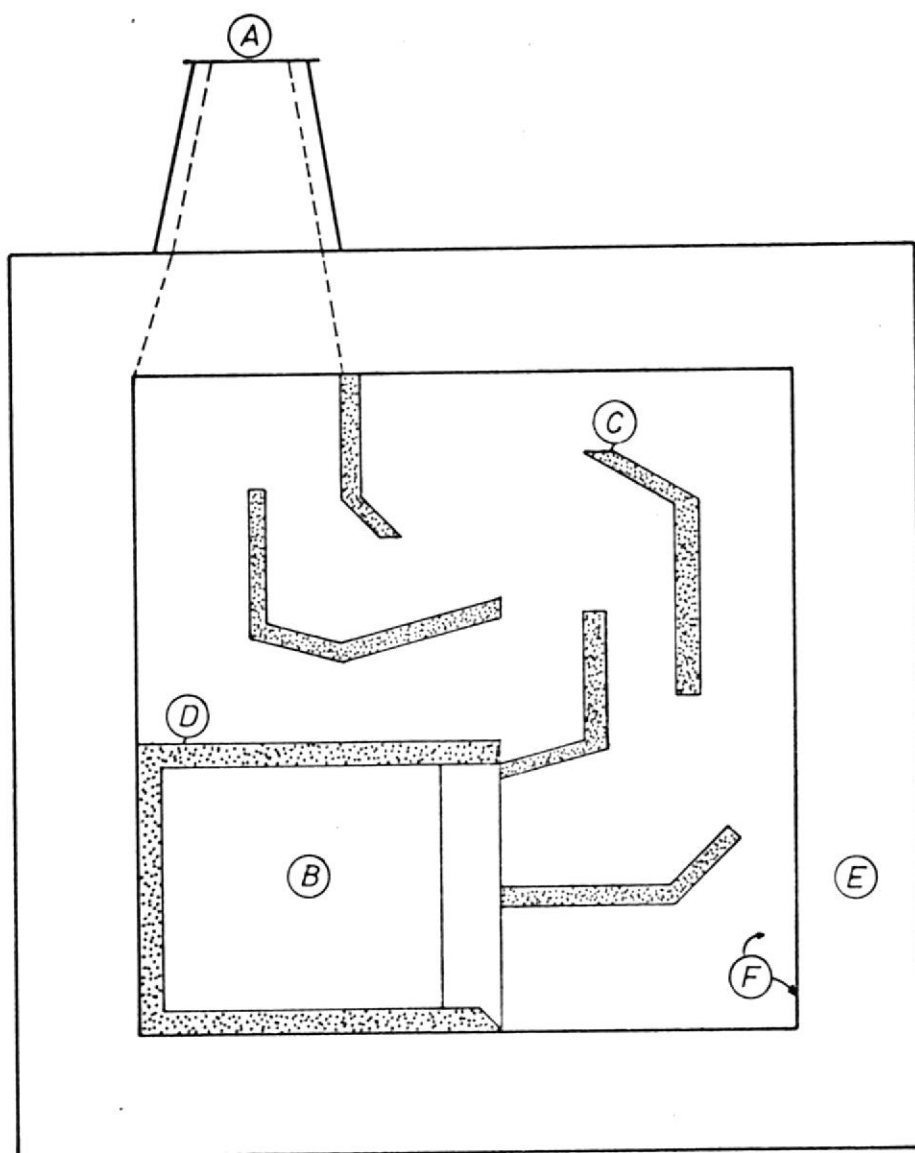


FIG. D-10 VISTA SUPERIOR DE LA CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO.

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| (A) SALIDA DE CHIMENEA | (D) AISLAMIENTO DE ARENA |
| (B) CAVIDAD PARA EL FOGON | (E) AISLAMIENTO DE LANA DE VIDRIO |
| (C) DEFLECTORES DE PIEDRA POMEZ | (F) PLANCHA DE ASBESTO-CEMENTO |

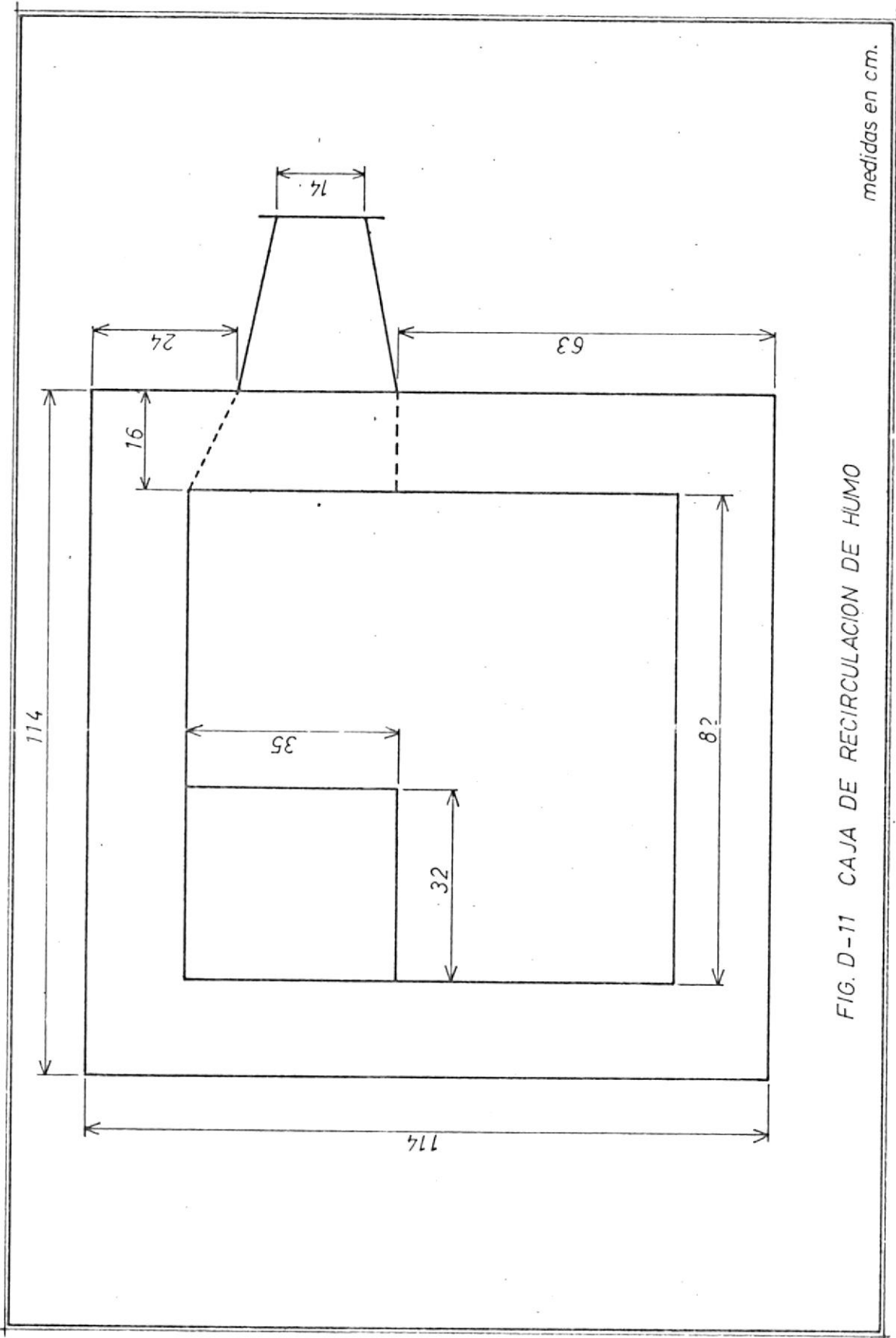


FIG. D-11 CAJA DE RECIRCULACION DE HUMO

medidas en cm.

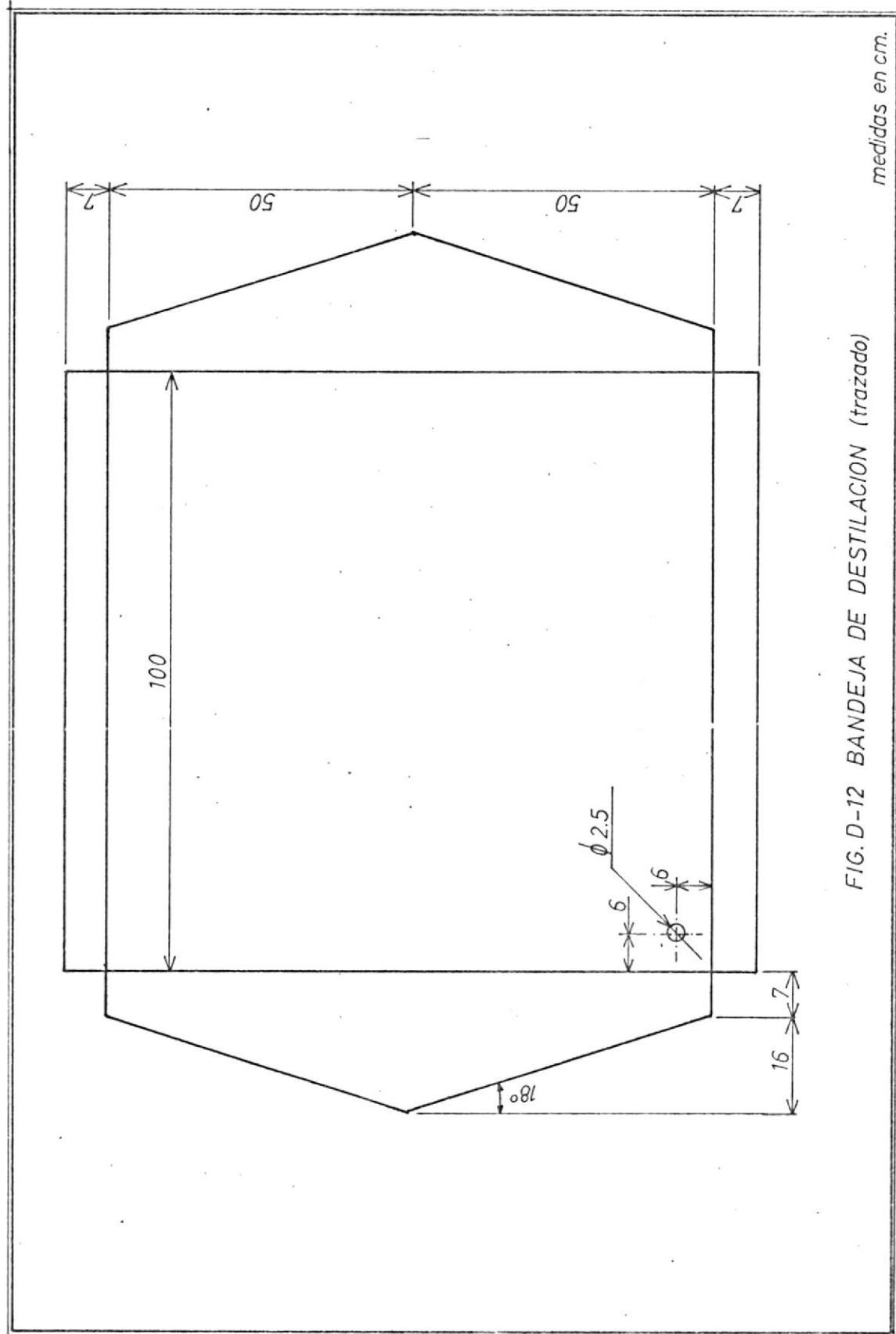


FIG. D-12 BANDEJA DE DESTILACION (trazado)

medidas en cm.

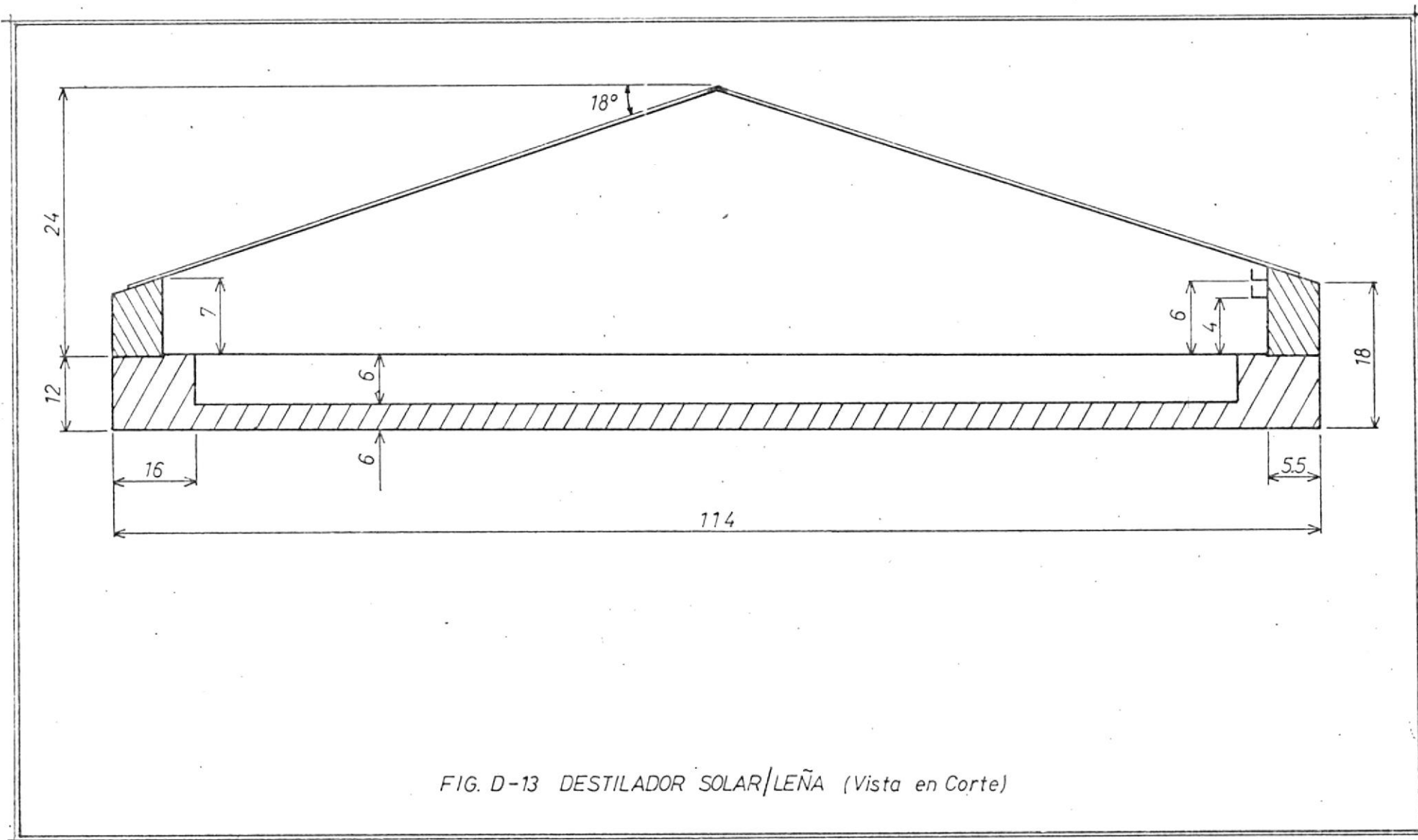


FIG. D-13 DESTILADOR SOLAR/LEÑA (Vista en Corte)

A P E N D I C E EANÁLISIS FÍSICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA DESTILADA



Casilla 3961
GUAYAQUIL - ECUADOR

0:214-85-INHMT

85.06.12

Señores
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Ciudad.-

En contestación a su pedido del 30 de Mayo último, cúmpleme informar a Uds. el resultado del análisis físico-químico y microbiológico efectuado en una muestra de agua destilada (Prueba N°1).

Realizado el análisis solicitado, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

pH a 26°/26°C	5,8
Residuo seco, mg/l	12
Alcalinidad total en CaCO3, mg/l	4,5
Dureza total EDTA, mg/l	6
Calcio (Ca), mg/l	1,6
Magnesio (Mg), mg/l	0,48
Cloruros (Cl), mg/l	3,6
Sulfatos (SO4), mg/l	0
Hierro (Fe), mg/l	0
Manganeso (Mn), mg/l	0
Amoníaco (NH3), mg/l	0
Nitritos (NO2), mg/l	0
Nitratos (NO3), mg/l	0

Lo que comunico a Uds. de acuerdo a lo solicitado.

Atentamente,
DIOS, PATRIA Y LIBERTAD


Dr. Francisco Parra Gil
DIRECTOR

elc.
Adj: A. Microbiológico.-



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA SANITARIA

238

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

MEMORANDUM No. 31382

PROCEDENCIA	Cl. PPM	Cuenta Normal en Placa 35 ± 0.5 C 48 ± 3 hrs. COL/ML	INVESTIGACION DE GERMENES COLIFORMES		
			COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES
			TUBOS MÚLTIPLES: NMP Gérmes Coliformes por 100 ml. de muestra.	FILTRO DE MEMBRANA Colonias Coliformes por 100 ml. de muestra.	NMP por 100 ml. de muestra.
Muestras de agua solicitadas, tomadas y enviadas por la ESPOL. Solicite: Ing. Eduardo Orces					
No. 1		40		0-NEGATIVO	0-NEGATIVO
No. 2		20		0-NEGATIVO	0-NEGATIVO
No. 3		30		0-NEGATIVO	0-NEGATIVO
No. 4		0		0-NEGATIVO	0-NEGATIVO
CONCLUSION: Las muestras analizadas no están contaminadas con gérmenes indicadores de contaminación fecal. No se observó cuenta normal en placa (aerobios) elevada.					
PRUEBAS REALIZADAS SEGUN STANDARD METHODS 15 th Ed. (A.P.H.A.).					

Guayaquil, 10 de Junio de 1.985

Dr. ML/alf.

Dra. Teresa Nuques de Guz
Dra. Teresa Nuques de Guz

Jefe del Laboratorio



Casilla 3961
GUAYAQUIL - ECUADOR
0:245-85-INHMT

85.06.26

Señores
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Ciudad.-

En contestación a su pedido del 21 de Junio en curso, cúpleme informar a Uds. el resultado del análisis físico-químico y microbiológico efectuado en una muestra de agua destilada (Prueba N°2).

Realizado el análisis solicitado, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

pH a 26°/26°C	7,2
Residuo seco, mg/l	15
Alcalinidad total en CaCO3, mg/l	5
Dureza total EDTA, mg/l	8
Calcio (Ca), mg/l	1,6
Magnesio (Mg), mg/l	0,9
Cloruros (Cl), mg/l	3,6
Sulfatos (SO4), mg/l	0
Hierro (Fe), mg/l	0
Manganeso (Mn), mg/l	0
Amoníaco (NH3), mg/l	0,12
Nitritos (NO2), mg/l	0
Nitratos (NO3), mg/l	0,6

Lo que comunico a Ud. de acuerdo a lo solicitado.

Atentamente,
DIOS, PATRIA Y LIBERTAD


Dr. Francisco Parra Gil
DIRECTOR

etc.
Adj: lo indicado.-



DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGIA SANITARIA

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

240

MEMORANDUM No. 31412

PROCEDENCIA	Cl. PPM	Cuenta Normal en Placa 35 ± 0.5 C 48 ± 3 hrs. COL/ML	INVESTIGACION DE GERMENES COLIFORMES		
			COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECAL
			TUBOS MULTIPLES: NMP Gérmes Coliformes por 100 ml. de muestra.	FILTRO DE MEMBRANA Colonias Coliformes por 100 ml. de muestra.	NMP por 100 ml. de muestra.
Muestras de agua solicitadas y enviadas por ESPOL : Ing. Eduardo Orcés					
No. 1		200		O-NEGATIVO	O-NEGATIVO
No. 2		70		O-NEGATIVO	O-NEGATIVO
No. 3		20		O-NEGATIVO	O-NEGATIVO
No. 4		20		O-NEGATIVO	O-NEGATIVO
CONCLUSION : Les muestras analizadas			NO están contaminadas con gérmenes indicadores de contaminación fecal.		
Se observa cuenta normal en placa (aerobios) elevada en la muestra No. 1					
PRUEBAS REALIZADAS SEGUN STANDARD METHODS 15 th Ed.			(A.P.H.A.).		

Gueyaquil, 26 de Junio de 1.985

Dr. ML/alf.

Teresa Nuques de Guzmán
Dra. Teresa Nuques de Guzmán

Jefe del Laboratorio

APENDICE F

NOMENCLATURA

A_c	Agua calentada, kg
A_e	Agua evaporada, kg
A_1	Area proyectada de la cubierta 1, m^2
A_2	Area proyectada de la cubierta 2, m^2
A_w	Area de la superficie del agua, m^2
A_v	Area de la cubierta de vidrio, m^2
C_a	Calor específico del agua, $KJ/kg^\circ C$
C_r	Carbón restante, Kg
F_a	Factor de forma
f_1	Fracción de radiación que pasa a través de la cubierta 1
f_2	Fracción de radiación que pasa a través de la cubierta 2
H_c	Intensidad de radiación solar, W/m^2
H_{s1}	Valor calórico superior de la leña, KJ/Kg
h_{fg}	Calor latente de vaporización del agua, J/Kg
h_{va}	Coefficiente de convección externo, $w/m^2^\circ C$
h'_c	Coefficiente de convección en el agua
L_q	Leña quemada, Kg
m_d	Tasa ideal de transferencia de masa, Kg/m^2 seg.
m_p	Tasa real de producción de condensado, Kg/m^2 seg.
n_a	Indice de refracción del aire
n_g	Indice de refracción del vidrio
n_w	Indice de refracción del agua
q_b	Flujo de calor a través de la base, w/m^2

q_i	Flujo de calor entrando, w/m^2
q_o	Flujo de calor saliendo, w/m^2
$q_{c,w-g}$	Flujo de calor por convección del agua, w/m^2
$q_{c,g-a}$	Flujo de calor por convección de la cubierta, w/m^2
q_e	Flujo de calor por evaporación-condensación, w/m^2
$q_{r,w-g}$	Flujo de calor por radiación del agua, w/m^2
$q_{r,g-a}$	Flujo de calor por radiación de la cubierta, w/m^2
q_k	Flujo de calor por los lados, w/m^2
r_1	Reflectividad de la interfase aire-vidrio
r_2	Reflectividad de la interfase vidrio-agua
r_3	Reflectividad de la interfase agua-aire
T_i	Temperatura inicial del agua, °C
T_f	Temperatura final del agua, °C
T_a	Temperatura del aire ambiente, °C
T_b	Temperatura en la base exterior, °C
T_g	Temperatura exterior del vidrio, °C
T_{gi}	Temperatura interior del vidrio, °C
T_s	Temperatura pared lateral exterior, °C
T_{si}	Temperatura pared lateral interior, °C
T_w	Temperatura promedio del agua, °C
T_{cf}	Temperatura en la caja de fuego, °C
U_G	Coefficiente global de transferencia de calor
V	Velocidad de aire exterior, m/seg
V_m	Velocidad media del aire exterior, m/seg.
α	Absortividad para vidrio común de ventana
ψ	Angulo de inclinación de la cubierta, Grados

θ_{ic}	Angulo de incidencia del SOL sobre la cubierta. Grados
θ_{is}	Angulo de incidencia del SOL sobre el suelo. Grados
γ	Angulo de altitud del SOL. Grados
α_w	Absortividad del agua
α_{nw}	Absortividad neta del agua
α_v	Absortividad del vidrio
η_i	Eficiencia interna del sistema
η_{me}	Eficiencia de mediciones experimentales
ϵ_g	Emisividad del vidrio
ϵ_w	Emisividad del agua
θ_{a-g}	Angulo de refracción de la interfase aire-vidrio. Grados
θ_{g-w}	Angulo de refracción de la interfase vidrio-agua. Grados
θ_{w-a}	Angulo de refracción de la interfase agua-aire. Grados
e	Reflectividad
e_p	Reflectividad de la película colectora
e_g	Reflectividad del vidrio
e_w	Reflectividad del agua
τ	Transmisividad
τ_1	Transmisividad de la cubierta 1
τ_2	Transmisividad de la cubierta 2
τ_m	Transmisividad media de la cubierta
τ_v	Transmisividad del vidrio
τ_w	Transmisividad del agua

BIBLIOGRAFIA

1. ANDRADE , J. Estudio sobre consumo energético de la leña en el área rural del Ecuador, INE, Quito, 1981.
2. BIOGAS, Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos: Manual para el promotor de la tecnología.
3. COOPER, P. I. The absorption of radiation in solar stills. Solar Energy, Vol. 12, Pergamon Press, New York, 1969.
4. DUFFIE, J., BECKMAN, W. Solar Engineering of thermal processes and sons, Inc. 1980.
5. DUNKLE, R. V. Solar water distillation: The roof type still and a multiple effect diffusion still, New York, 1961.
6. GONZALES, W. Utilización de residuos agrícolas como materia prima en la generación de biogas, ESPOL , Guayaquil, 1982.
7. ICAITI. Guía para la construcción, uso y mantenimiento de estufas domésticas de leña, Guatemala, 1981.
8. INTA. Biogas, obtención de energía con residuos agropecuarios, Departamento de Ingeniería Rural - Castelar.

9. KEENAN, J. H. y KEYES, F.G. Propiedades termodinámicas del vapor, Wiley, New York, 1936,
10. KERN, D. Procesos de transferencia de calor, CECSA, Mexico D.F. 1984.
11. KREITH, F. Principios de transferencia de calor, México, 1970.
12. LUNDE, P. Solar thermal engineering, John Wiley, 1980.
13. MANDIL, M. A. Proceedings solar desalination workshop, Denver, Colorado, 1981.
14. MEYNELL, J. Methane, planning a digester, Schocken Books, Great Britain, 1978.
15. MUSTACCHI y CENA. Técnicas solares de destilación de agua, Roma, 1976.
16. OLADE. Manual de Biogas: Primer curso latinoamericano, Guatemala, 1981.
17. PAZ, R. Diseño y construcción de un destilador solar, ESPOL, Guayaquil, 1978.
18. PAZ, R. Apuntes sobre: Introducción a la Energía Solar, ESPOL,

Guayaquil, 1983.

19. PAZMIÑO, M. Desalinizador solar experimental, ESPOL, Guayaquil 1979.
20. PAZMIÑO, M. Energía Solar: Teoría y experimentos, ESPOL, Guayaquil, 1982.
21. TILLMAN, D. Wood as energy resource. Academy Press Inc., 1976.
22. PROCTOR, D. The use of waste heat in solar still. Solar Energy. Vol. 14, Pergamon Press, New York, 1973.
23. VITA. Ensayos de estufas de leña para cocinar, Virginia, 1982.
24. VITA/ITDG. Hornills conservadoras de leña - Guía para su diseño, Virginia, 1982.