



D-4836

T
621.47
V712

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

"UTILIZACIÓN DE ENERGIA SOLAR, PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCCION DE BIOGAS, EN UN DIGESTOR ANAEROBICO PARA ZONAS - FRIAS".

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR:

OSCAR VILLACRES LUNA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1982

A G R A D E C I M I E N T O

Al ING. MARCO PAZMIÑO B, Director de Tesis, por su ayuda y colaboración para la realización de éste trabajo.

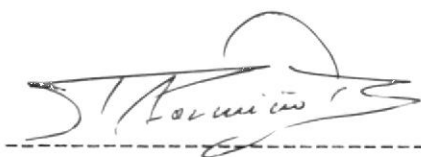
Al PhD. ALFREDO BARRIGA R., por su valiosa colaboración.

D E D I C A T O R I A

A M I S P A D R E S

A M I S H E R M A N O S

....

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marco Pazmiño Barreno', is positioned above a horizontal dashed line.

ING. MARCO PAZMIÑO BARRENO
DIRECTOR DE TESIS

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 EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA
ESPOL).

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Oscar Villacres Luna', is written over a horizontal dashed line.

OSCAR VILLACRES LUNA

RESUMEN

El trabajo consiste, en la aplicación de energía solar en un digestor anaeróbico productor de Biogas, construido y en funcionamiento, en una zona fría de los Andes ecuatorianos.

El estudio se inició, estabilizando la producción de Biogas, con una carga constante de 70 Kg de estiércol , se obtuvo un valor de 21 litros de Biogas/Kg de estiércol.

Se diseña y se construye un calentador solar de tipo tanda, el cual logró una eficiencia del 33%, y en el que se lograron temperaturas de hasta 48°C, para 70 litros de agua, con 1.3m² de área de recepción.

Usando el calentador solar, se incrementó en 3°C la temperatura del digestor, ésto aumentó la producción de Biogas en un 40%, para la carga constante de 140 litros de mezcla; y para una operación correcta se incrementaría un 10% adicional.

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE CURVAS O GRAFICOS.	X
INDICE DE TABLAS.	XI
SIMBOLOGIA.	XII
ABREVIATURAS	XIII
INTRODUCCION	17
I PARAMETROS DE PRODUCCION DE BIOGAS.	19
1.1 La Temperatura como parámetro fundamental de la producción de Biogas.	19
1.2 Efecto estimado de la producción de Biogas de- bido al aumento de temperatura.	21
1.3 Descripción de la planta de Biogas.	24
1.4 Principios de operación y carga.	25
1.5 Mediciones de consumo y producción de Biogas.	30
II CALENTAMIENTO DE DIGESTORES.	32
2.1 Fuentes de calentamiento.	32
2.2 Métodos de calentamiento.	38

III	ANALISIS METEOROLOGICO DE LA ZONA.	46
	3.1 Generalidades.	46
	3.2 Temperatura y humedad ambiental.	47
	3.3 Temperatura del suelo y sub-suelo.	48
	3.4 Velocidad del viento.	49
	3.5 Precipitación.	50
IV	ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO. . .	53
	4.1 Análisis térmico del digestor.	53
	4.1.1 Aproximación de la Conductividad K del suelo	53
	4.1.2 Pérdidas térmicas de digestor con el medio	57
	4.2 Diseño del sistema de calentamiento.	63
	4.2.1 Aproximación de la radiación incidente promedio.	63
	4.2.2 Carga térmica necesaria y área receptora de radiación	63
	4.2.3 Pérdidas térmicas del colector	67
V	MATERIALES, CONSTRUCCION Y COSTOS.	75
	5.1 Selección de materiales.	75
	5.2 Construcción.	76
	5.3 Costos.	77
VI	EXPERIMENTACION Y ANALISIS	83
	6.1 Eficiencia del sistema de energía solar.	83

6.2 Cálculo de radiación aproximada de la zona. .	84
6.3 Variación de la producción de Biogas en función de la temperatura y de la radiación solar.	88
6.4 Análisis económico.	89
6.5 Resultados y Análisis.	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
APENDICES.	99
A. CURVAS O GRAFICOS	100
B. TABLAS.	134
BIBLIOGRAFIA	156

INDICE DE CURVAS O GRAFICOS

	<u>Pág.</u>
A.1 Carga diaria de Estiércol.	100
A.2 Consumo de Biogas.	102
A.3 Temperatura ambiental horaria	107
A.4 % de Humedad Relativa, promedio diario	111
A.5 % de Humedad Relativa, horaria	115
A.6 Temperatura del suelo, promedio diaria.	118
A.7 Eficiencia del calentador solar.	122
A.8 Producción de Biogas, radiación solar y temperatura del digestor.	127
A.9 Producción de Biogas y temperatura del digestor. .	132
A.10 Producción Biogas vs Temperatura del Digestor. . .	133



INDICE DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
B.1 Producción de Biogas.	134
B.2 Temperatura ambiente.	136
B.3 Temperatura del subsuelo.	137
B.4 Temperatura del digestor y subsuelo	138
B.5 Temperaturas para conductividad del suelo	140
B.6 Pérdidas de calor del digestor.	141
B.7 Carga de agua caliente al digestor.	142
B.8 Temperatura de entrada de la mezcla	143
B.9 Calores de entrada, salida, ganado y perdido; procesos 1, 2, 3	144
B.10 Tempertura de la superficie del tanque y tempera- tura del agua.	147
B.11 Temperatura del tanque, agua y cubierta	148
B.12 Pérdidas del calentador solar.	149
B.13 Temperaturas inicial, final y calor ganado para el agua del calentador.	150
B.14 Cálculo de $(t^{\alpha})_e$	152
B.15 Ganancia y radiación solar.	153
B.16 Eficiencia del calentador usando la radiación solar calculada.	155

S I M B O L O G I A

α	Absortibilidad
θ_h	Angulo de incidencia placa horizontal
θ_t	Angulo de incidencia placa inclinada
ϕ	Angulo de latitud
ρ	Densidad del aire
ρ_b	Densidad del Biogas
ρ_{CH_4}	Densidad del CH_4
ρ_{CO_2}	Densidad del CO_2
δ	Declinación solar
η	Eficiencia del quemador
ϵ_t	Emisividad del tanque
ϵ_v	Emisividad del vidrio
γ	Factor de imperfección de construcción
ρ_a	Reflectividad para papel aluminio
ρ_d	Reflectividad para radiación difusa

ABREVIATURAS

A	Area
As	Area superior
At	Area del tanque
B	Coeficiente de expansión térmica
C	Calor específico
Cb	Costo de Biogas
Cl	Costo de LPG
D	Diámetro
d	Factor de suciedad
E	Eficiencia del Calentador Solar
GR	Número de Grashof
g	gravedad
Hb	Coeficiente convectivo para el ambiente
Hg	Coeficiente convectivo para el Biogas
Hi	Coeficiente convectivo interior
Hr	Coeficiente de radiación
Hrb	Coeficiente de radiación para el ambiente
HR	% de humedad relativa
HRT	Tiempo de retención hidráulico
Hv	Coeficiente convectivo
I	Radiación solar global

K	Coeficiente de conducción
k	Coeficiente de extinción
L	Longitud
Ma	Masa de Agua
Mj	Masa de majada
Mm	Masa de la mezcla
n	Índice de refracción
Nu	Número de Nusselt
P	Producción de Biogas
PCb	Poder calorífico del Biogas
PCl	Poder calorífico de LPG
Pr	Número de Prandtl
Qb	Calor al medio ambiente
Qd	Calor disponible
Qe	Calor de entrada
Qea	Calor de entrada del agua
Qg	Calor ganado
Qk	Calor de conducción
Qn	Calor necesario
Qp	Calor perdido
Qs	Calor de salida
Qsa	Calor de salida del agua
Qt	Calor total
Qv	Calor de convección
r	Radio

Rb	Resistencia del viento
Rg	Resistencia del Biogas
Ri	Resistencia interior
Rk	Resistencia de aislamiento
Rl	Resistencia de ladrillos
Rsb	Resistencia del subsuelo
Rt	Resistencia de las tapas y el tanque
s	Factor de sombra
S1	f. forma para un cilindro vertical
S2	f. forma para disco horizontal
SR	Suma de resistencias
t	Transmitancia
(t α)e	Producto transmitancia absorción efectivo
t α	Transmitancia por absorción
Ta	Temperatura del agua
Tai	Temperatura inicial del agua
Taf	Temperatura final del agua
Tb	Temperatura ambiente
Tc	Temperatura cubierta
Td	Temperatura digestor
Te	Temperatura entrada
Tg	Temperatura de Biogas
tr	Transmitancia por reflexión
Ts	Temperatura de la superficie
Tsb	Temperatura del subsuelo

T^{∞}	Temperatura infinito
u	Viscosidad dinámica
v	Velocidad del viento
V_i	Volumen inicial
V_f	Volumen final
w	Angulo horario

I N T R O D U C C I O N

En vista de la necesidad de introducir en el Ecuador, las Fuentes Renovables de Energía, la ESPOL ha tenido el buen criterio de construir una Planta Piloto de Biogas, en el caserío La Moya, parroquia Guasuntos, cantón Alausí, Provincia del Chimborazo. >

La Moya se encuentra a una longitud de $78^{\circ} 48'$ oeste, latitud de $2^{\circ} 14'$ S y una altitud de 2550 m. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 11 a 15°C .

En el rango de temperatura anterior, las bacterias tienen mucha dificultad en reproducirse, por lo que la producción de Biogas disminuye considerablemente, así afecta directamente en la rentabilidad de una inversión, haciendo más difícil la implementación de Plantas de Biogas en las áreas rurales.

Por tal motivo, el objetivo principal de este trabajo consiste en lograr un aumento sustancial en la producción de Biogas, de un digestor anaeróbico, haciéndolo trabajar en rangos térmicos óptimos para la reproducción bacteriana,

usando una fuente de calentamiento, también renovable.

El trabajo es teórico-experimental y se desarrolla en una área rural, en donde la energía es muy difícil obtenerla; por lo que se ha escogido a la energía solar, como la fuente de calentamiento. Por lo que, el nivel térmico se logra usando energía solar transformada en energía térmica.

Entre los resultados obtenidos tenemos; los datos meteorológicos de la zona, valor promedio aproximado de la radiación solar; cálculo de la conductividad K del suelo y un valor real de la producción de Biogas, en función de la temperatura del digestor.

C A P I T U L O I

PARAMETROS DE PRODUCCION DE BIOGAS

1.1 LA TEMPERATURA COMO PARAMETRO FUNDAMENTAL DE LA PRODUCCION DE BIOGAS

Siendo la fermentación anaeróbica un fenómeno biológico, ésta será decididamente influenciada por la Temperatura. En la acción Metanógena se caracterizan tres zonas de actividad:

Psicrofílico (medio frío), Mesofílico (medio tibio) y Termofílico (medio caliente).

PSICROFILICO.- La bacteria sobrevive en el rango de 0 a 5°C, pero la producción de biogas es insignificante, por esta razón el digestor puede calentarse y mejorar su producción.

MESOFILICO.- La digestión Mesofílica es la mejor alternativa, su temperatura está entre 21 y 40°C; es bastante baja para ser mantenida fácilmente y la bacteria no

es sensible a cambios de temperatura. Su temperatura óptima está entre 30 y 35°C. La producción es muy lenta bajo los 15°C.

TERMOFILICO.- Este rango no es recomendado para un digestor que use una tecnología simple. Su temperatura está entre 40 y 60°C, su óptima entre 50 y 55°C. Se requiere mantener más energía en el digestor. Además esta bacteria es más sensitiva a los cambios bruscos de temperatura ya que cualquier calentamiento que se haga debe ser capaz de mantener un cambio de temperatura no mayor de 2 a 3°C. Otra desventaja de la digestión Termofílica es que, el Efluente no tiene un gran poder de fertilización como el digerido Mesofílicamente. A altas temperaturas, más H_2S es producido por la mezcla; ésto puede ser un inconveniente si el gas se usa para ciertos propósitos. El Efluente tiene mayor hediondez.

La ventaja de la generación Termofílica es que, el gas cuyo potencial están en el substrato se genera más rápidamente; sin embargo, no se incrementa la producción total del gas, es decir la misma cantidad de gas se producirá a 21 o 60°C.

El ahorro de tiempo llega a ser el ahorro de espacio, ya que a altas temperaturas más gas se produce por día por cada unidad de volumen del digestor. En otras palabras, un digestor de volumen pequeño maneja la misma cantidad de substrato a altas temperaturas, que un digestor de mayor volumen a bajas temperaturas.

Para gran escala la digestión Termofílica no es rentable, ya que el costo de calentamiento igualará o excederá a la energía ganada en biogas; a menos que los requerimientos de calentamiento debido al clima y aislamiento sean bajos; por esta razón la digestión Termofílica no es rentable para digestores Batch.

La figura 1.1 adaptada por Fair y Moore (1934) da una idea general del tiempo de digestión en días respecto a la temperatura de digestión.

1.2 EFFECTO ESTIMADO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS DEBIDO AL AUMENTO DE TEMPERATURA.

La figura 1.2 presenta claramente la variación de la producción de biogas en función de la temperatura del digestor.

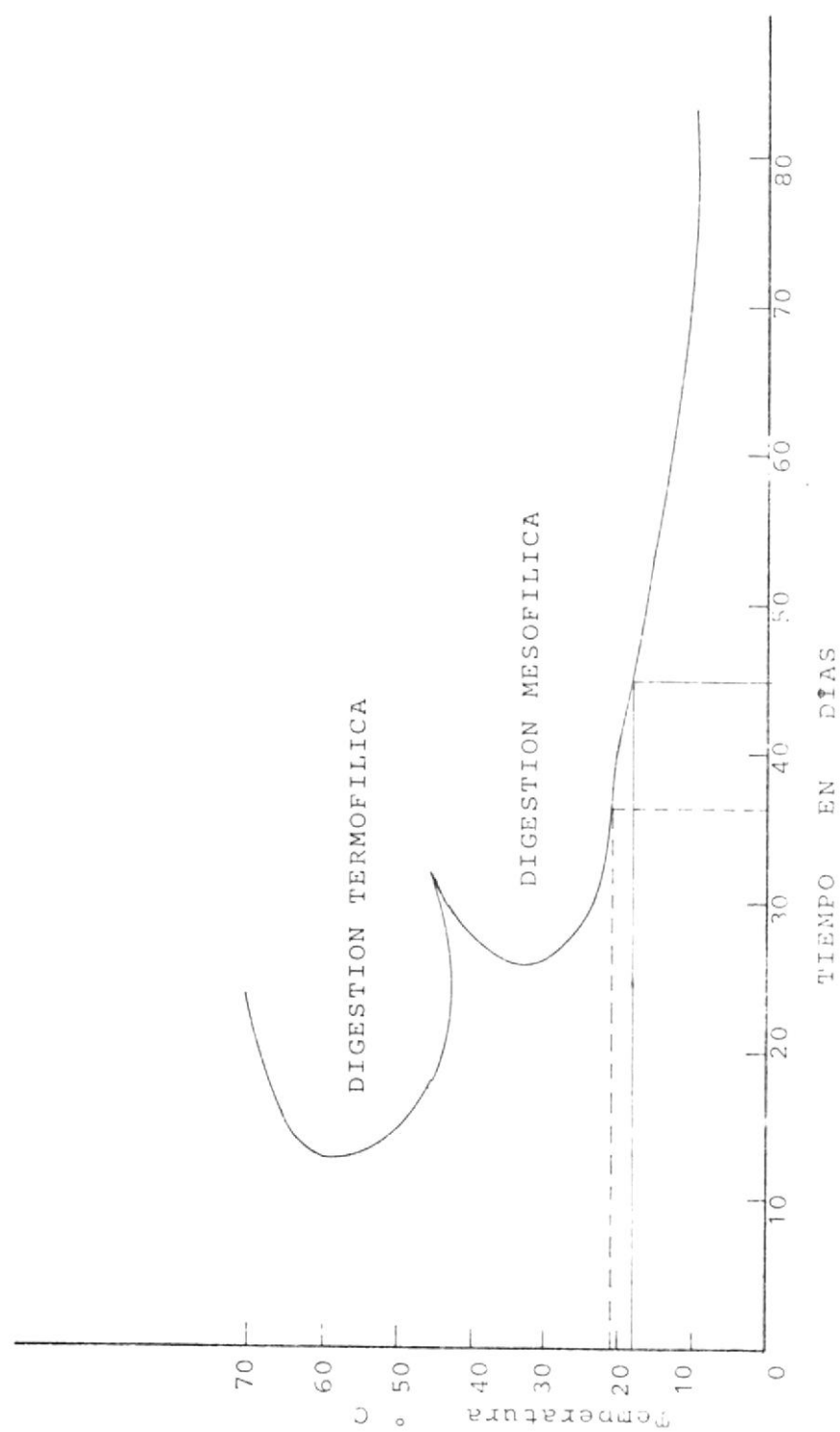


FIG. 1.1. TEMPERATURA VS. HRT (13)

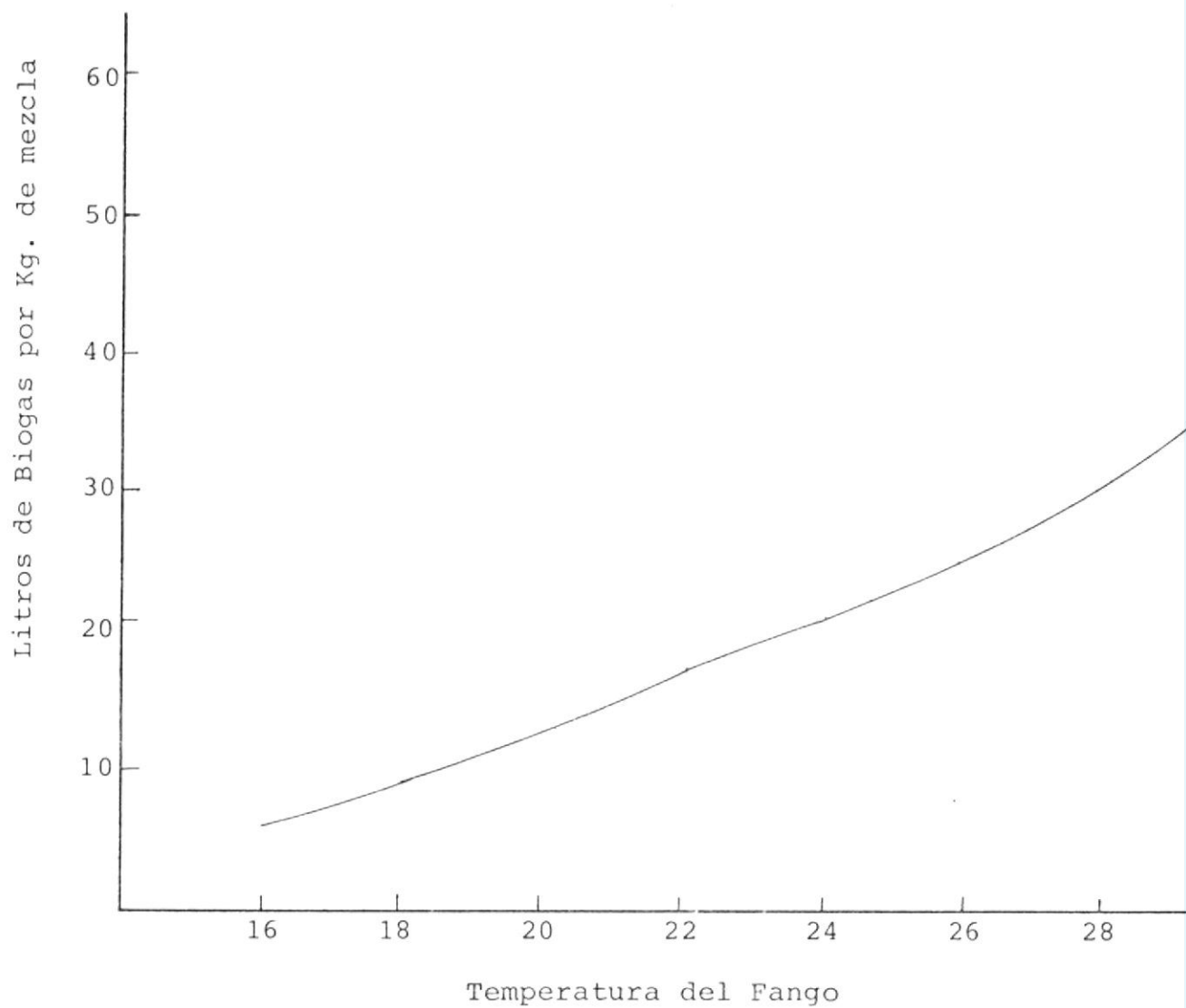


FIG. N° 1.2.- Producción de Biogas vs Temperatura, L. Fry

La curva determina el incremento pronunciado de la producción de biogas cerca del rango óptimo para la digestión Mesofílica.

Esta curva está definida aproximadamente para un tiempo de retención de 30 días.

1.3 DESCRIPCION DE LA PLANTA DE BIOGAS

La planta de biogas de La Moya está formada por un Digestor y un Gasómetro independientes.

El digestor es un híbrido del Hindú y el Chino. El Hindú tiene una desventaja en climas fríos, el Gasómetro enfría la mezcla durante las noches frías, lo que resulta una producción menor de biogas. El Chino no tiene este problema, pero es difícil evitar fugas de gas por el domo y además el gas no va a la cocina con una presión constante.

El diseño del Digestor de La Moya trata de aprovechar las ventajas de ambos tipos de digestores. En primer lugar, no hay contacto entre el metal y la mezcla; el biogas entre la mezcla y las tapas metálicas es un buen aislante térmico. No hay peligros de escapes de

gas como en el Chino, porque las tapas metálicas y el sello de agua (canales de agua) bloquean perfectamente el paso del gas.

También el Gasómetro separado sirve como depósito de biogas y además mantiene el gas a una presión constante.

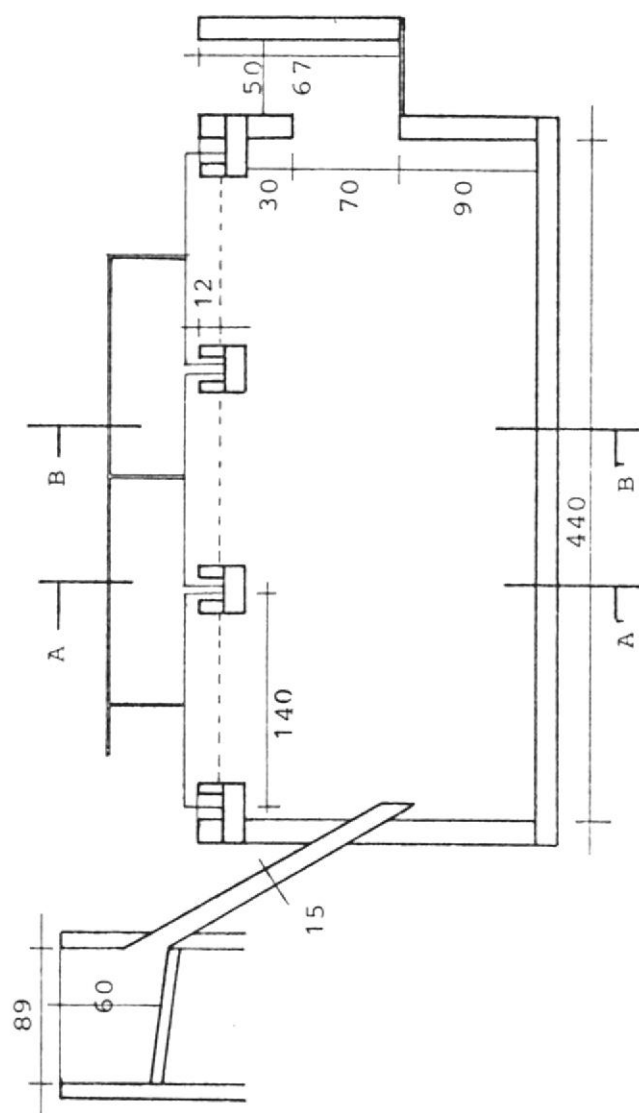
La cámara de digestión es larga para que la materia nueva que entra no salga de una vez sin digerirse, sino que se desplace lentamente dentro del digestor y salga así completamente digerida.

Los planos C1 representan al Digestor y al Gasómetro.

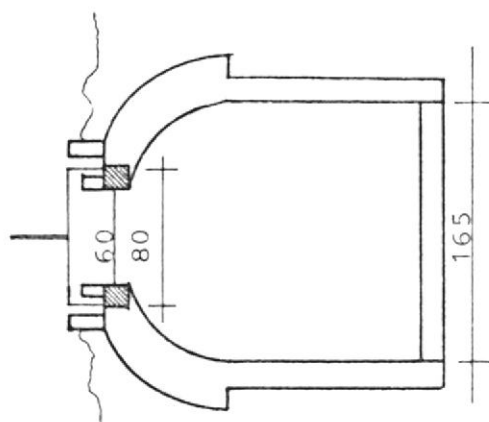
1.4 PRINCIPIOS DE OPERACION Y CARGA

Se trata de cargar con un promedio de 70 Kg de estiércol por día. La cantidad total promedio diaria de mezcla será de aproximadamente 140 litros. La frecuencia y cantidad de cargas deben ser constantes para obtener mejores resultados en la producción de biogas.

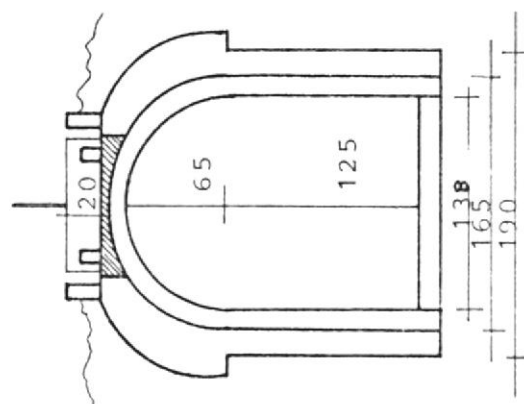
El estiércol que se usa debe ser limpio; sin piedra, arena, paja, basura, etc. El agua tiene que ser también



PLANO C₁: DIGESTOR , 14 m³

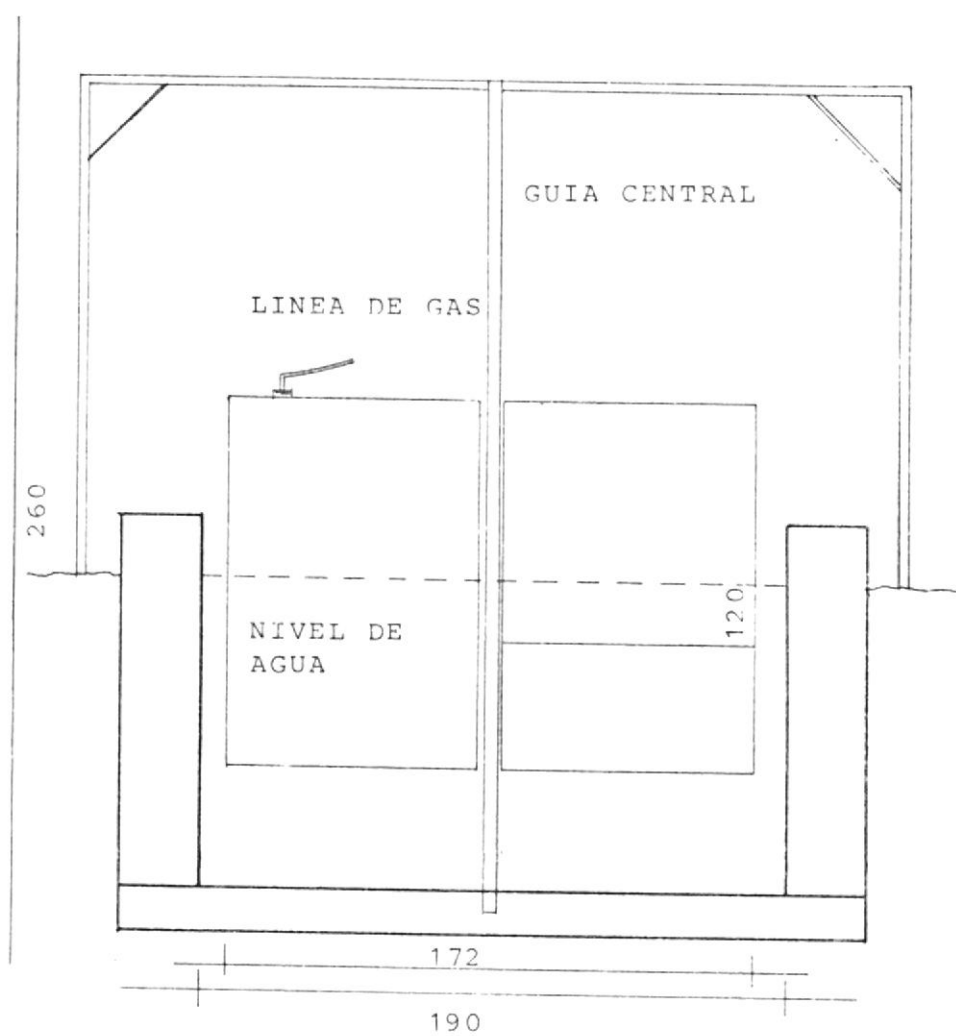


SECCION B-B'



SECCION A-A'

PLANO C₁ : DIGESTOR



PLANO C₁: GASOMETRO

limpia, sin jabón u otras contaminaciones.

Se debe chequear que los canales de agua (sellos de agua), y el pozo para el Gasómetro estén siempre llenos de agua. Además las trampas de agua deben estar siempre llenas de agua, si no es así, el gas se escapará. El Bio-Abono debe salir libremente del Digestor, una vez afuera se puede usar como fertilizante en los campos. No se debe sacar el Bio-Abono manualmente del digestor.

Materia liviana que entra en las cargas, sube y forma una nata (costra) encima de la mezcla. De vez en cuando es necesario sacar esta materia flotante. La frecuencia de limpieza dependerá del tipo de carga que se use.

En los Gráficos A1 representamos la cantidad de estiércol que se alimentó al Digestor, en los días de prueba.

La planta de Biogas opera en forma normal, a una presión manométrica de 13 cm de agua, igual a .184 Psi.

El PH del fango, se mantuvo aproximadamente neutro.

1.5 MEDICIONES DE CONSUMO Y PRODUCCION DE BIOGAS

Las mediciones de producción de biogas se hacen cada 24 horas desde las 8:00 hasta las 8:00 del día siguiente. Estas mediciones de consumo y producción de Biogas se determinan por la altura de la campana (Gasómetro).

Para las mediciones de consumo de Biogas puede existir un error en la lectura, debido a la dilatación del gas al estar la campana expuesta al sol. Para las mediciones de producción se obvia este problema, ya que estas lecturas se toman cuando el Gasómetro está aproximadamente a la temperatura ambiente.

En la figura 1.3 representamos la variación de temperatura del gasómetro durante las horas del día .

La producción de Biogas se encuentra en la Tabla B.1.

El consumo de Biogas se encuentra en los Gráficos A.2.

Todas las pruebas se tomaron en el año 1982.



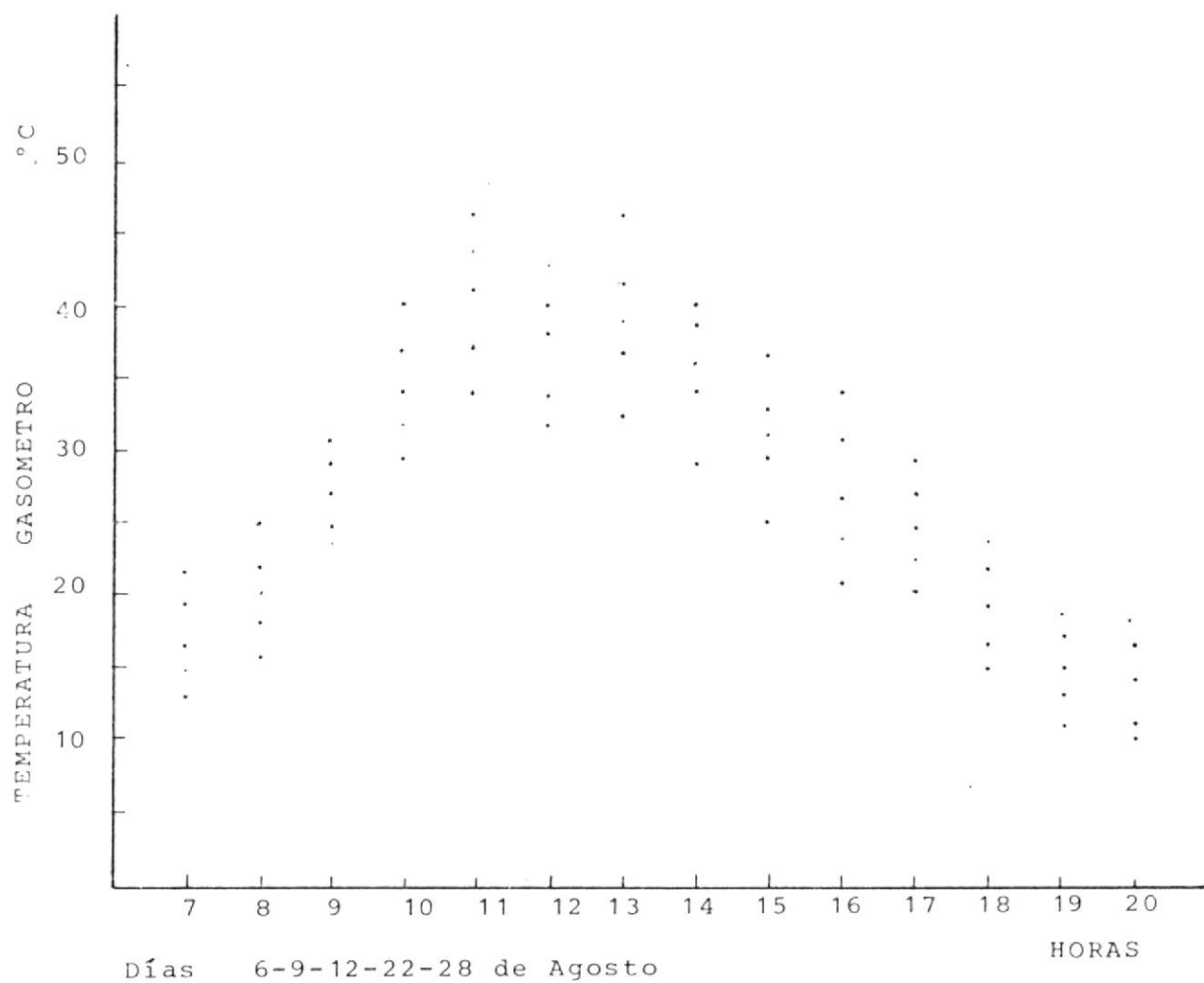


FIG. 1.3: TEMPERATURA GASOMETRO DURANTE EL DIA

C A P I T U L O I I

CALENTAMIENTO DE DIGESTORES

2.1 FUENTES DE CALENTAMIENTO

Puede ser factible combinar dos o más fuentes de calentamiento. Las fuentes son: Ambiente, la Tierra, Desechos de Calor de Motores, Electricidad, Solar, Gas, Madera.

AMBIENTE.- La fuente de calentamiento es ninguna. La temperatura del Digestor se adapta por sí solo a la temperatura del medio ambiente. En los trópicos esto es muy factible y práctico; pero en la mayoría de los climas la producción de Biogas sufre bastante por las bajas temperaturas. El trato está entre el volumen del Digestor y la razón de producción de Biogas.

CALOR DE LA TIERRA.- Aún en áreas frías la tierra sirve como un reservorio de calor. La temperatura de la tierra a una profundidad de 1 m, rara vez está abajo de los 5°C (45°F); a menudo está arriba de los 12°C

(54°F). Un conocimiento de la temperatura de la tierra ayudará a determinar si es necesario un calentamiento y así escoger la fuente y el método de calentamiento.

Si la temperatura del ambiente es baja, enterrando el Digestor y los tubos de materia ayudará a mantener un buen nivel térmico. Un suelo seco es además un buen aislante.

DESECHOS DE CALOR.- Los desechos de calor pueden ser perfectamente usados, especialmente desechos debido a diseños prácticos pobres.

La mayor parte de calor desechado se debe al agua y aire calientes; y también al vapor. El agua de un grifo o ducha caliente, chimenea, pueden ser una fuente de calentamiento del Digestor.

MOTORES.- Un motor de combustión interna desecha cierta cantidad de calor que puede utilizarse. El calor puede extraerse del agua que enfría los cilindros, calor adicional se puede obtener del múltiple del escape.

Los gases de escape salen del motor aproximadamente de 425°C a 600°C. Por esta razón se puede adaptar un in-

tercambiador de calor al múltiple de escape. Puede usarse un intercambiador de Contra Corriente, el fluido caliente en contacto con el frío cederá el calor más eficientemente que en un intercambiador de flujo paralelo. En el de Contra Corriente el fluido que entra frío saldrá a una temperatura mayor que la temperatura de salida del fluido que entró caliente. Si ellos fluyen en la misma dirección (Flujo Paralelo), lo mejor que puede suceder es que ellos salgan cercanamente a la misma temperatura.

Se puede esperar que del 60 al 80% del calor disponible en el Biogas como combustible del motor puede ser extraído. Un motor operando a pobres eficiencias (menor que 20%) la mayor parte del valor del combustible estará disponible como desecho de calor. El radiador está diseñado para que motor pueda desechar el calor más eficientemente.

ELECTRICIDAD.- La electricidad es cara para uso de calentamiento, a no ser que se tenga un generador eléctrico de viento. Un análisis efectivo de costos puede ayudar a escoger entre la electricidad y la producción de biogas.

El calentamiento y las labores de cocina se hacen me -

jor con biogas; la iluminación mucho mejor con electricidad.

El motivo básico para calentar con electricidad es:

a) para arrancar un generador, que luego será calentado por alguna otra fuente; b) para propósitos de experimentación.

SOLAR.- El Biogas que esperamos generar es Energía Solar colectada biológicamente. El calor Solar puede ser recogido directamente por el Generador, naturalmente el Generador debe estar expuesto al Sol. Una manera más eficiente de usar el calor del Sol es poner vidrio, fibra de vidrio alrededor del generador; ésto detiene la reflexión inmediata de una buena parte de energía colectada y disminuye las pérdidas de calor debido al viento.

Veamos que ocurre dentro de un carro expuesto al Sol: Radiación de alta frecuencia entra por las ventanas, es absorbida por su interior (asientos, alfombras) y luego re-radiado a baja frecuencia. Esta energía a baja frecuencia no pasa fácilmente a través de la ventana de vidrio, así la salida es bloqueada. El resultado neto es que la energía interior del carro se incrementa.

El mismo principio se usa en un invernadero, una manera elegante de calentar un generador de biogas es ponerlo en un invernadero. El invernadero actúa como un colector solar, la masa del generador puede almacenar el calor del invernadero, y el Biogas quemado puede suministrar el CO_2 para las plantas.

Lo único que se necesita es el aislamiento.

El calentamiento solar es realizado usando colectores de placa plana, o colectores concentradores. El calor se toma del Sol por medio del colector haciendo circular aire o agua por éste. En los Concentradores los rayos del sol son concentrados en una pequeña área de absorción, llamado foco; para luego ser transferida esta energía a la sustancia de trabajo.

Una vez el aire y el agua caliente, pueden ser usados para calentar el generador. La medida de su colector y su aislamiento depende del clima, latitud y generador.

GAS.- Es una buena opción calentar el generador con su propio gas. Dependiendo del método de calentamiento, su eficiencia, el clima, la calidad y cantidad de aislamiento del generador, también como la temperatura de

diseño, hasta el 15 por ciento del gas producido puede ser usado para calentamiento.

MADERA.- En casi todas las estufas de madera, una gran cantidad de energía es desperdiciada por el cañón de la chimenea, solamente una parte es utilizada para calentar el aire. Una manera muy simple de aprovechar el calor desechado es instalar un intercambiador de calor.

Tendremos problemas si mucho calor sacamos del flujo de gases. Los gases calientes no solamente contienen CO_2 y agua, sino también brea vaporizada, resinas de la madera y pequeñas partículas de ceniza (hollín). Cuando el calor es sacado de esta mezcla, la brea y la resina se condensa en el tubo de la estufa o en la superficie del intercambiador, el hollín se adhiere inmediatamente. Como el proceso continúa poco a poco el cañón de la chimenea se bloquea por depósitos, naturalmente la superficie del intercambiador se aísla y el peligro de incendio se incrementa.

Los gases que salen de la estufa son primero forzados para ir a través del fuego, además de sacar calor, las resinas y brea residuales son quemadas; naturalmente

debe quemarse en el escape de la estufa.

Puede también circular el agua alrededor de la estufa, y usar esta agua caliente para calentar el generador.

2.2 METODOS DE CALENTAMIENTO

CALENTAMIENTO DE LA MATERIA ENTRANTE:

Este método es aplicable para generadores de alimentación continua y que tienen un buen aislamiento. ✓

Este método simplifica el diseño del generador (bajando los costos de construcción) y puede resultar un sistema fácil de reparación y mantenimiento (bajando así los costos de operación).

La desventaja es que se necesita calcular cada vez que la materia es añadida al generador, para asegurar que la temperatura del generador permanece constante, puede hacerse más difícil regular las temperaturas si uno está limitado a añadir calor solamente cuando se añade materia. Este método no es adecuado para los Digestores por hornada, excepto en circunstancias en las que no es importante la regulación de temperatura.

Para materias bien mezcladas, se asume que el calor en la materia entrante y el calor requerido por el generador está relacionado directamente con las temperaturas:

$$\Delta T_m V_m = \Delta T_g V_g$$

Donde:

ΔT_m = Diferencia de Temperatura entre la Temperatura deseada del generador y la temperatura de la materia entrante.

V_m = Volumen de la Materia entrante.

ΔT_g = Diferencia de Temperatura entre la Temperatura deseada del generador y la temperatura actual del generador.

V_g = Volumen de la materia en el generador, o el volumen de materia vieja (fría) en el generador, la cual aún estará allí después que la materia entrante desplace su propio volumen.

Como una cuestión práctica si la materia es bombeada a pequeñas velocidades (menores a 0.6 m/seg.) la materia no puede estar en contacto con una superficie a más de 60°C puesto que comenzará a incrustarse en el tubo. A velocidades superiores, puede ser posible alcanzar los 70°C sin mucha incrustación. Pero depósitos, costras finas, bajarán la transferencia de calor tremen -

damente; y por lo tanto se requiere más superficie para transferir una similar cantidad de calor.

Al principio, la idea de calentamiento de la materia entrante no es mala, ya que el mayor requerimiento de calor para un generador de alimentación continua bien aislado, es para llevar la materia entrante bien arriba de la temperatura de diseño.

CIRCULACION DE LA MATERIA:

Con la adición de un tubo y una bomba. La materia puede ser recirculada, y puede ser realizada efectivamente con un costo poco elevado de equipos. Este método es usado en digestores de aguas residuales Municipales. En estas instalaciones grandes, la materia es bombeada a través de un intercambiador de calor.

ADICION DE AGUA CALIENTE:

En medio de otros factores los cuales afectan la eficiencia, con lo cual el espacio en un generador, es el porcentaje de sólidos. Obviamente, añadir agua caliente reducirá el porcentaje de sólidos, por lo tanto reduce la cantidad de biogas disponible por cada unidad de volumen del generador. Sin embargo, el sistema de añadir agua caliente tiene sus ventajas. Este es sim-

ple y barato, el agua caliente no incrustará sobre una superficie calentada arriba de 60°C . Ya que estamos interesados en añadir calor al generador, y no simplemente agua, ésta debe añadirse lo más caliente posible. Un litro de agua a 100°C puede calentar 10 litros de materia de 23 a 30°C (asumir el calor específico de la materia = 1). Si el porcentaje original de sólidos era el 12%, añadiendo agua bajará a 9.2%, el cual es el 23% menor por unidad de volumen en sólidos; esta disminución puede ser compensada por un posible incremento del 44% en la razón de producción del gas. El efecto total es un incremento de un 44% en la razón de producción del gas, porque aunque el volumen del generador no está eficientemente usado, todo de los sólidos volátiles V.S. los cuales estaban antes en el generador están aún allí. Si un volumen igual de materia ha sido desplazada para alojar el agua caliente, allí habrá un incremento del 40% en la razón de producción del gas del volumen original de materia a 23°C comparado para las nuevas condiciones; pero puede haber una posible disminución en la producción total del gas dependiendo del cambio en el tiempo de retención de V.S.

CALOR DE VAPOR:

El calentamiento con vapor es similar al calentamiento

por adición de agua caliente, excepto que la cantidad de calor dada es mucho más grande comparada con el volumen de agua añadida; resultando así una dilución menor para la misma cantidad de calor. El vapor no necesita ser bombeado para poner en el generador.

El calor de vapor no viene solamente del hecho que la temperatura es mayor que del agua caliente, sino también del calor de vaporización. Con la siguiente relación podemos calcular la cantidad de calor puesta en el generador.

$$Q_t = \Delta T W + L W$$

Q_t = calor total disponible

ΔT = Diferencia entre la temperatura del generador y el punto de ebullición del agua

W = El peso de agua convertido a vapor

L = Calor Latente de Vaporización del Agua (539 Cal/Kg)

Por ejemplo, suponemos que inyectamos en el generador 3.5 Kg de agua en forma de vapor, si el generador estaba a 20°C, luego el calor disponible será:

$$Q_t = 3.5(100-20) + 539 \times 3.5 = 2167 \text{ Cal.}$$

El calor no es cedido una vez que el vapor entra al generador, de este modo la inyección directa de vapor puede ser una forma muy eficiente de calentamiento.

CALENTAMIENTO SUPERFICIAL:

Para generadores pequeños, algunas veces es más fácil calentar directamente la superficie exterior del generador con la llama de biogas. Si ésto se hace, una capa de arena, de 5 cm puede colocarse en el fondo del foso para expandir el calor de la llama y prevenir incrustaciones de la materia.

Puesto que la materia conduce el calor lentamente, si el generador tiene mucho volumen, necesitará agitación para distribuir el calor.

CIRCULACION DE AIRE CALIENTE:

El aire caliente puede ser circulado a través del generador por medio de tubos o también alrededor de la superficie exterior del generador; puede servir donde tenemos disponible energía solar, o energía de los gases de escape de los productos de combustión de biogas.

La principal desventaja es que el volumen necesario de aire es mucho mayor que el volumen de agua necesario para una misma cantidad de transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor por aire debe hacerse por medio de una superficie, la temperatura del aire, no debe exceder de 60°C.

CIRCULACION DE AGUA CALIENTE:

Para calcular el calor introducido al generador por circulación de agua caliente a través de tubos, necesitamos conocer la superficie de los tubos, la temperatura de entrada, temperatura de salida, en otra forma:

$$Q_d = V_a \Delta t$$

$$Q_d = \text{Calor disponible}$$

$$V_a = \text{Volumen de agua}$$

$$\Delta T = \text{Diferencia de temperatura entre la temperatura de entrada y salida.}$$

El Volumen también puede expresarse en:

$$V_a = A_t F t$$

$$A_t = \text{Area de la sección transversal del tubo, } \pi D^2/4$$

$$F = \text{Velocidad del Agua}$$

$$t = \text{tiempo transcurrido}$$

Cuando conocemos la medida de los tubos el cálculo del calor disponible es muy sencillo; se vuelve más complejo cuando necesitamos estas dimensiones para un diseño particular del generador. Fry y Merrill (1973) reportan que tres metros² de superficie de tubo por 100 m³ de generador es adecuado.

COMBUSTION SUMERGIDA:

Es una manera muy conveniente para usar el biogas; sin

embargo es imposible quemar el gas sin suministro de aire, este suministro de aire contamina el generador. Para usar combustión sumergida, el aire y el gas deben estar comprimidos.

C A P I T U L O I I I

ANALISIS METEOROLOGICO DE LA ZONA

3.1 GENERALIDADES

El lugar donde se encuentra la Planta de Biogas y en donde se realizaron las experimentaciones está en la siguiente posición: Longitud $78^{\circ} 48'$ Oeste, $2^{\circ} 14'$ latitud Sur, altitud 2550 m.

Existen dos estaciones más o menos bien marcadas, el Invierno o estación lluviosa, que comprende los seis primeros meses del año; es decir, de enero a junio. A partir de julio hasta diciembre tenemos el Verano o estación seca; ésta es muy característica por el incremento de los vientos.

Las temperaturas medias anuales oscilan entre 11 y 15°C , con una precipitación menor de 600 mm.

La forestación no es exhuberante, puede considerarse entre el Bosque Andino Submesotérmico (Higrofitia Sub-

Andina y los páramos y pajonales.

La producción agrícola y pecuaria depende únicamente de la estación Lluviosa.

En la estación Lluviosa, las mañanas son soleadas y las tardes nubladas. En la estación Seca, los días son más despejados que en la estación Lluviosa.

El tipo de suelo es de las Rocas Volcánicas del Pliocuaternario; Volcánico reciente Andesita.

El clima puede considerarse como Templado Periódica - mente Seco.

La Presión Atmosférica a 2550 m. es de 0.73242 Atm. equivalente a 10.763 Psi.

La temperatura de ebullición del agua, es aproximadamente de 91°C.

3.2 TEMPERATURA Y HUMEDAD AMBIENTAL

En la Tabla B.2 tenemos la temperatura ambiental pro-

medio T_b , y en los gráficos A.3 la temperatura ambiental horaria para algunos días.

Los gráficos A.4 representan los % de humedad relativa promedio y los A.5 % humedad relativa horaria.

3.3 TEMPERATURA DEL SUELO Y SUBSUELO

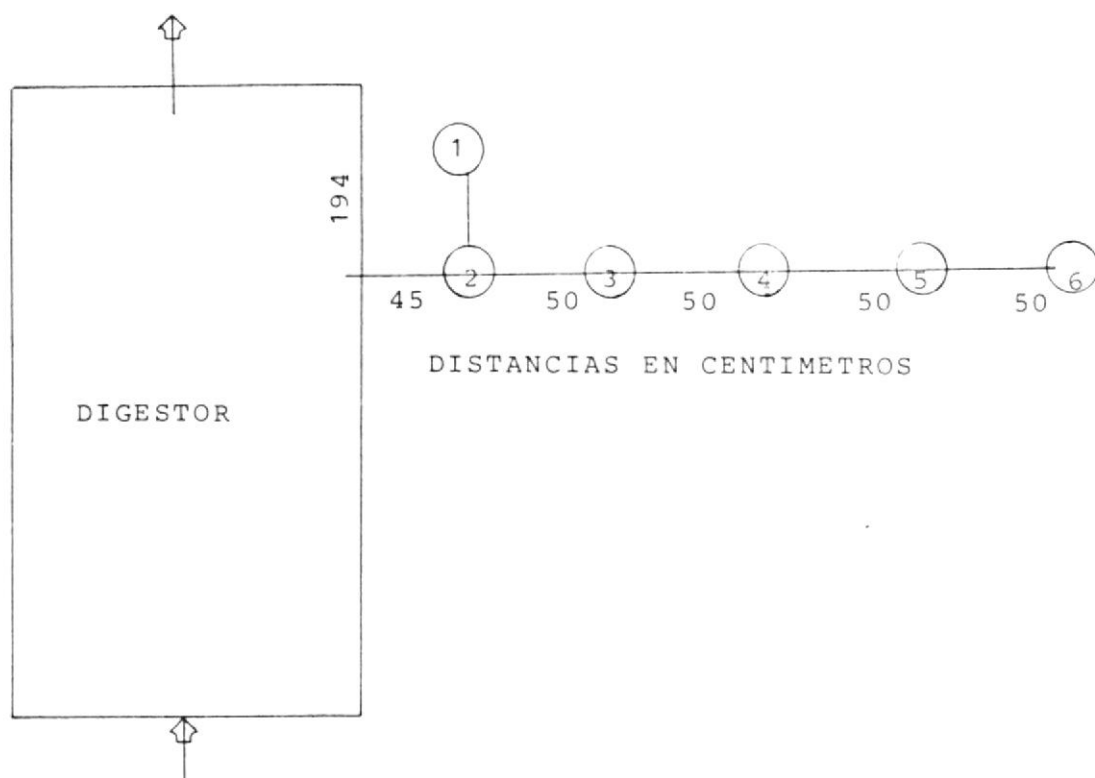
La temperatura del suelo es tomada desde las 8:00 horas hasta las 20:00 horas, cada hora.

En los gráficos A.6 tenemos la temperatura del Suelo promedio para algunos días.

Las temperaturas del Subsuelo fueron tomadas antes del calentamiento, según el siguiente diagrama; junto al Digestor:

Número	Profundidad (Cm)
1	20
2	50
3	15
4	30
5	50
6	15

Las distancias entre ellos están indicadas en la figura.



En la Tabla B.3 tenemos temperaturas del subsuelo, para algunas horas del día.

En la Tabla B.4 tenemos la temperatura del subsuelo T_{sb} para algunos días durante el calentamiento.

3.4 VELOCIDAD DEL VIENTO

Los datos son interpolados de los de Guamote y Chunchi:

Guamote 3020 m altitud

Chunchi 2254 m altitud

La figura 3.1 representa los datos promedio de los años: 1976, 1977, 1978, 1979 para todos los meses del año.

Como resultado tenemos un promedio anual de 4 m/s.

3.5 PRECIPITACION

Los datos son el total mensual de lluvia, interpolado entre Guamote y Chunchi.

La figura 3.2 representa el promedio de los años desde 1976 a 1980. Obteniéndose un total anual promedio de 511.6 mm.

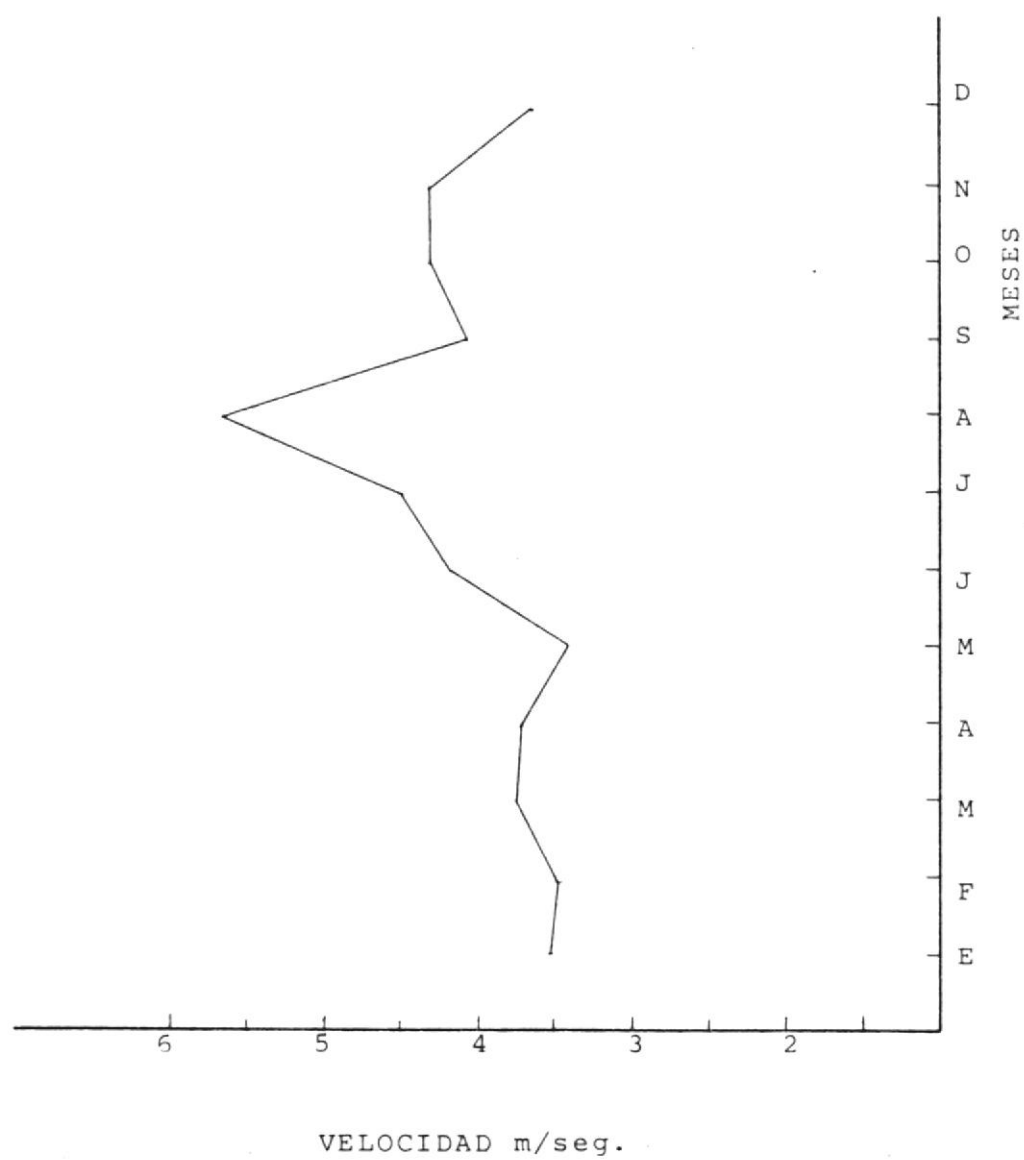


FIG. 3.1. VELOCIDAD VIENTO PROMEDIO (5)

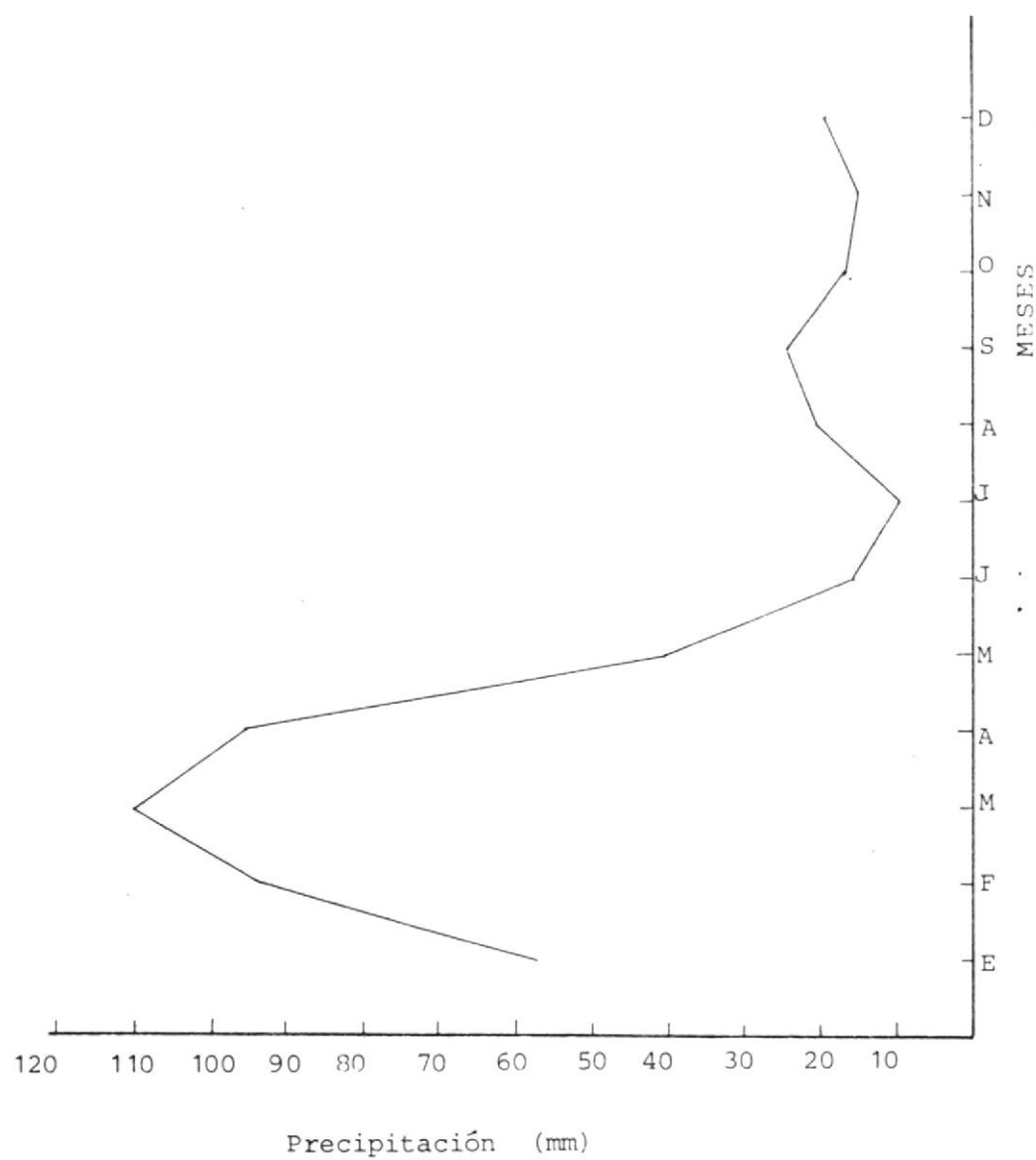


FIG. 3.2. PRECIPITACION PROMEDIO (5)

C A P I T U L O I V

ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

4.1 ANALISIS TERMICO DEL DIGESTOR

4.1.1 Aproximación de la Conductividad K del Suelo

Para hacer esta prueba se introdujo un tanque metálico cilíndrico en el suelo, las dimensiones del tanque y la localización de las termocuplas, se representan en la Fig. 4.1

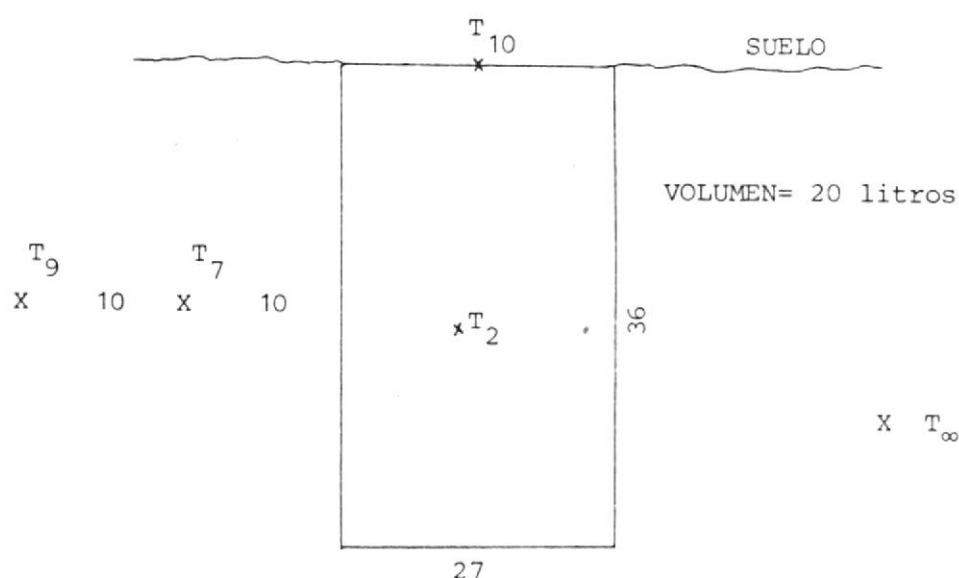


FIG. 4-1. LOCALIZACION TERMOCUPLAS

En la tabla B.5, tenemos las temperaturas para 23 horas.

El calor total perdido por el agua será:

$$Q_t = M_a C (T_{ai} - T_{af})$$

$$M_a = 20 \text{ kg}$$

$$C = 1 \text{ k Cal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{ai} = 74.2^\circ\text{C}$$

$$T_{af} = 35.8^\circ\text{C, reemplazando}$$

$$Q_t = 20 \text{ Kg (1k Cal/Kg}^\circ\text{C) (74.2-35.8) }^\circ\text{C} = 768 \text{ K Cal}$$

$$Q_t = 768 \times 10^3 \text{ Cal (BTU/252 Cal)} = 3047.6 \text{ BTU/23 Hr}$$

$$= 132.5 \text{ BTU/Hr.}$$

Esta es la energía perdida por el agua por la parte superior, y hacia el suelo que está alrededor del tanque.

$$Q_t = Q_v + Q_k$$

$$Q_v = A(T_2 - T_b) / R$$

$$R = 1/H_v + (1/K)\text{aire} + (1/K)\text{suelo}$$

$$H_v = 5.7 + 3.8 v = 5.7 + 3.8 \times 2 = 13.3 \text{ (W/m}^2\text{ }^\circ\text{C)}. 1761$$

$$H_v = 2.34 \text{ BTU/Hr } ^\circ\text{F}$$

$$l \text{ aire} = 0.02 \text{ m} \times 3.281 = .06562 \text{ p}$$

$$K \text{ aire} = .015 \text{ BTU/Hr } ^\circ\text{F}$$

$$R = 1/2.34 + .06562/.015 + (1/K) \text{ suelo}$$

$$R = (4.8 K + 1) / K$$

$$Q_v = AK(T_2 - T_b)/(4.8K + 1)$$

$$A = .6163 p^2$$

$$T_2 - T_b = 118.8 - 61 = 57.8^\circ F$$

$$Q_v = .6163 \times 57.8 K / (4.8 K + 1) = 35.6 K / (4.8 K + 1)$$

$$Q_k = pKS (T_2 - T_b)$$

$$\text{perímetro } p = 2.78 p$$

$$S = 1.75 \quad \text{figura 4.1.1.}$$

$$Q_k = 2.78 \times 1.75 \times 57.8 K = 281.2 K$$

$$Q_t = 35.6 K / (4.8 K + 1) + 281.2 K = 132.5 \text{ BTU/Hr}$$

De la relación anterior tenemos la siguiente ecuación de segundo grado, para 1 suelo = .06562 p

$$1349.8 K^2 - 581.9 K - 8.7 \cong 0$$

De donde

$$K = (581.9 \pm 620.9) / 2(1349.8)$$

$$K = .445 \text{ BTU/Hr } p \text{ } ^\circ F$$

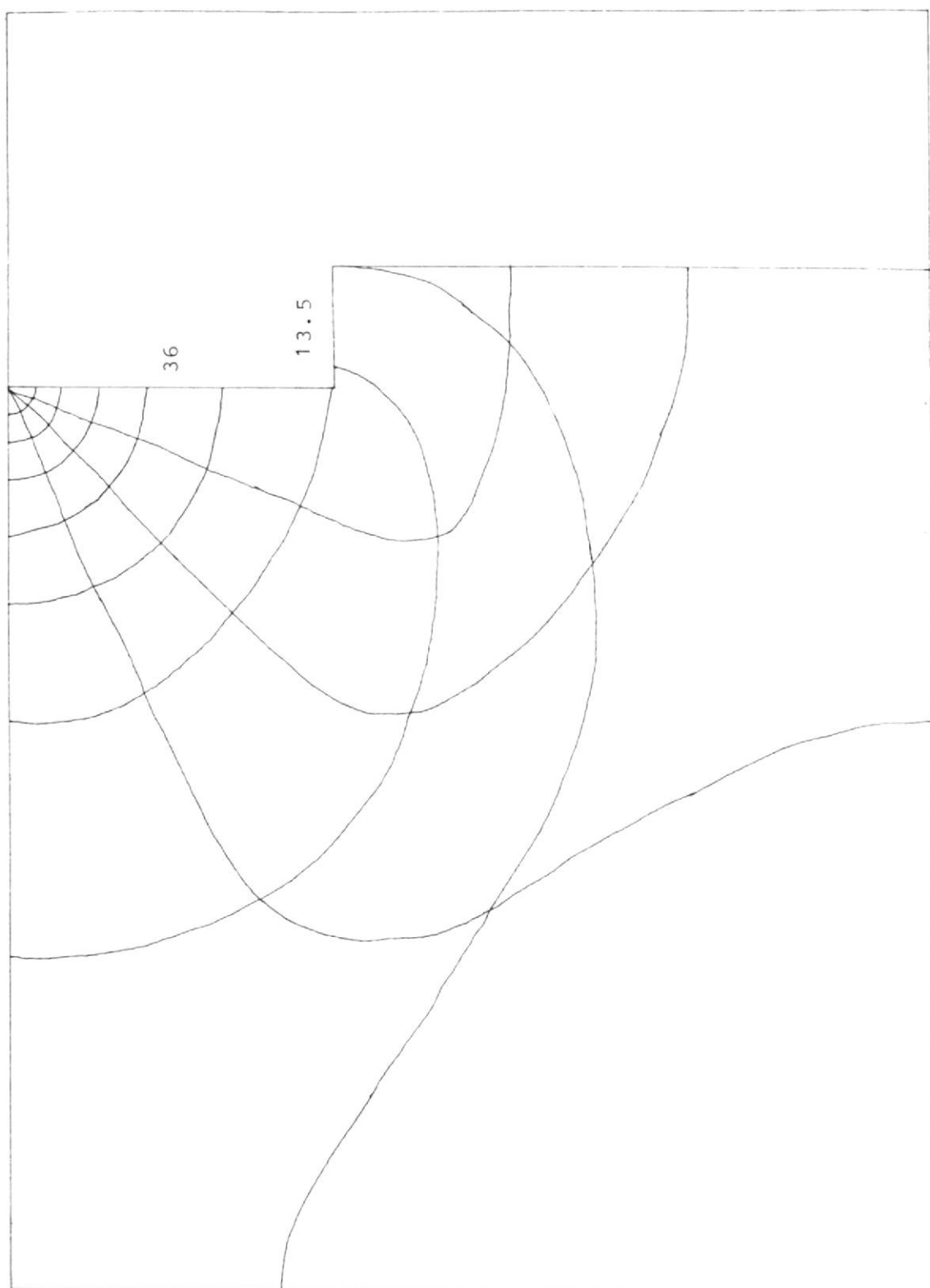


FIGURA 4.1.1. FACTOR FORMA DE TANQUE

4.1.2. Pérdidas térmicas del Digestor con el medio

El calor perdido por Conducción hacía el subsuelo está definido por:

$$Q_k = LSK (T_d - T_b)$$

El factor de forma S es calculada en la figura 4.1.2.

$$LS = (3.8/4)16.87 + (4.2/4)15.22 = 32 \times 2 = 64 \text{ P} / 3.218 = 19.5 \text{ m}$$

$$K = .445 \text{ BTU/HrP}^\circ\text{F} \times 1.73 = .76985 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$Q_k = 19.5 \times .76985 (T_d - T_b) = 15. (T_d - T_b) \text{ W/}^\circ\text{C}$$

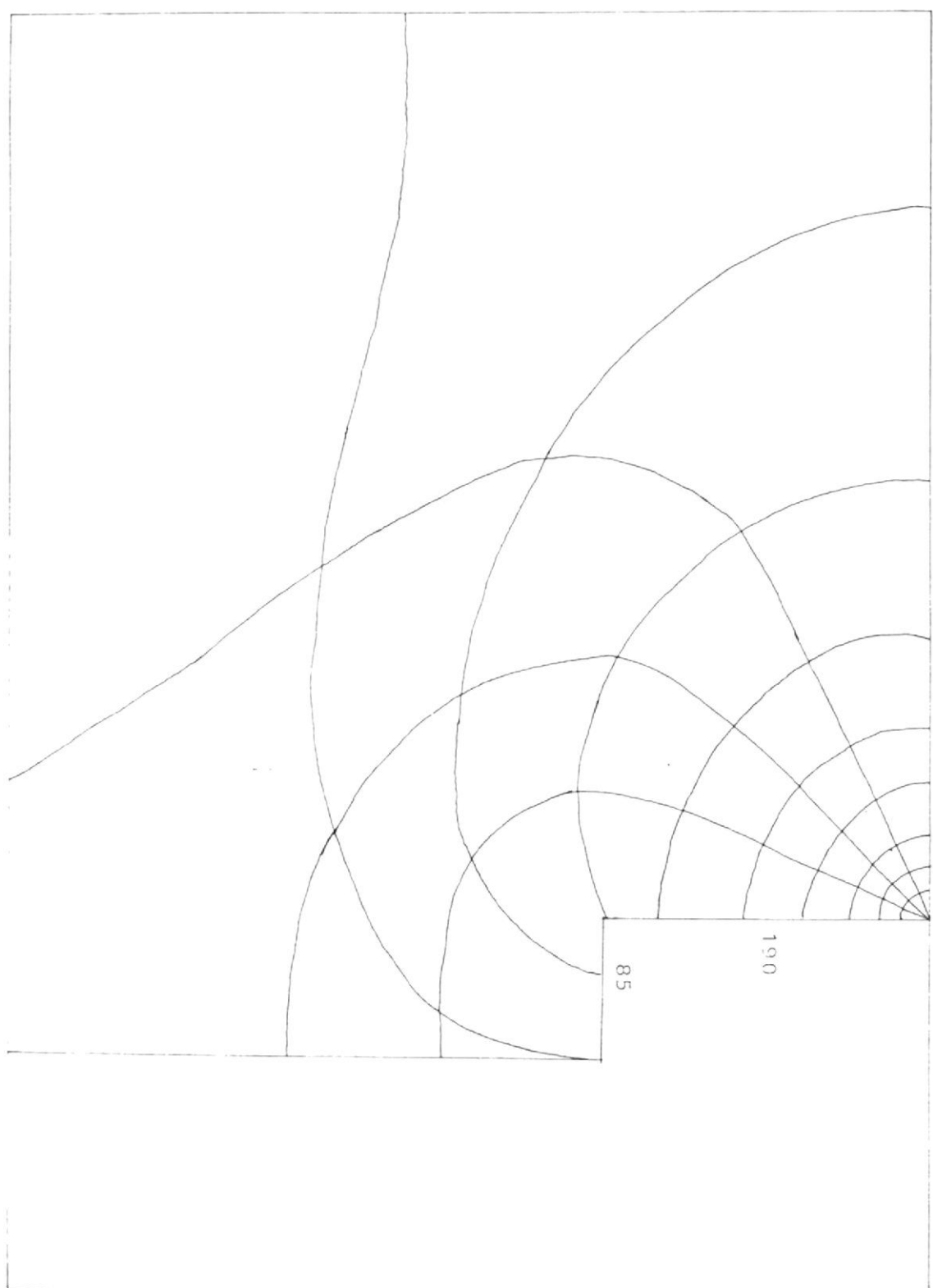
En la tabla B.4, tenemos las temperaturas del digestor T_d y el calor de conducción en la tabla B.6.

El calor total desde el 11 de septiembre al 19 de octubre por conducción $Q_k = 3204 \text{ W}$

$$\text{Para un } K = 0.56 \frac{\text{BTU}}{\text{HrP}^\circ\text{F}} \times 1.73 = 0.9688 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

el cual es calculado por el factor de forma para el digestor. La suma de calor de conducción para el mismo periodo anterior

$$Q_k = \frac{0.9688 (3204)}{0.76985} = 4032 \text{ W}$$



Pérdidas del Digestor por la parte superior

Resistencia del Biogas

$$R_g = 1/K = .2m / (.01756 \times 1.73 \text{ W/m}^\circ\text{C}) = 6.58 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Resistencia de conducción por las tapas

$$R_t = 1/K$$

$$1 = 1.5875 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$K = 25 (\text{BTU/Hr } ^\circ\text{F}) \quad 1.73 = 43.25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$R_t = 1.5875 \times 10^{-3} / 43.25 = 3.67 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Resistencia de convección por el viento

$$H_v = 5.7 + 3.8 v$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$H_v = 5.7 + 3.8 \times 4 = 20.9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_b = 1/H_v = 20.9 = .0478468 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Suma de resistencias

$$R = 6.58 + 3.67 \times 10^{-3} + .0478468 = 6.64 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

El calor perdido por la parte superior será:

$$Q_b = A_s (T_d - T_b)/R$$

$$A = 5.5 \text{ m}^2$$

$$Q_b = 5.5 (T_d - T_b)/6.64 = .83(T_d - T_b) \text{ W/}^\circ\text{C}$$

En la tabla B.6, tenemos el calor Q_b y el calor perdido total Q_p .

Proceso de calentamiento

1. Del 21 de agosto al 2 de septiembre, se cargaba al di
gestor, usando solamente el agua caliente del calentaa
dor solar.
2. Del 3 de septiembre al 25 del mismo mes, además de
cargar normalmente se añadió agua caliente, tal como
tenemos en la tabla B.7.

3.- Del 26 de septiembre al 19 de octubre, se cargó como está indicado en 1., puesto que tratamos de regresar a las condiciones iniciales de operación de la planta; y de esta manera determinar la variación de producción de Biogas, solamente por el efecto de temperatura.

El calor de entrada será

$$Q_e = 140 \times 4.186 \times 1000 T_e / 86400 = 6.78287 T_e \text{ W/}^\circ\text{C}$$

La temperatura de entrada T_e , la tenemos en la Tabla B.8.

El calor de salida será:

$$Q_s = 6.78287 T_d \text{ W/}^\circ\text{C}$$

El calor ganado será:

$$Q_g = 14000 \times 4.186 \times 1000 (T_n - T_{n-1}) / 86400 = 678.287 (T_n - T_{n-1}) \text{ W/}^\circ\text{C}$$

donde T_n es la temperatura del Digestor de cualquier día y T_{n-1} la temperatura del Digestor de un día anterior.

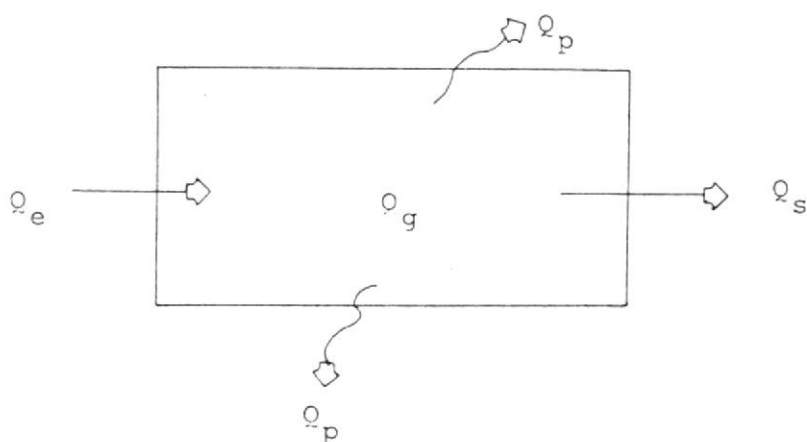
Para el segundo proceso, tenemos que incluir el calor adicional del agua, por lo que:

$$Q_{ea} = .048449 \text{ (Litros) } T_e \text{ W/Kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_{sa} = .048449 \text{ (Litros) } T_d \text{ W/Kg}^\circ\text{C}$$

El calor de entrada, de salida, el ganado y el calor perdido, se encuentran en la Tabla B.9.

$$Q_p = Q_e - Q_s - Q_g \text{ (W)}$$



Los totales de los Calores quedaron:

Dias	Q_e	Q_s	Q_g	Q_p	
60	17509	10420	2181	4908	(W)

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

4.2.1 Aproximación de la Radiación Incidente Promedio

En la Fig. 4.2 tenemos la radiación global para Izobamba, su promedio para los 15 años indicados es $I = 376.5 \text{ cal/cm}^2\text{día}$.

Este valor puede considerarse bastante real y aproximado, debido, a que el ciclo solar está determinado para 12 años aproximadamente.

Suponemos que en La Moya, es el 15% menos que este valor.

$$I = 376.5 \times .85 = 320 \text{ cal/cm}^2\text{día}$$

$$I = 320 \times 4.18/24 \times 3600 = 155. \text{W/m}^2$$

4.2.2 Carga Térmica necesaria y área receptora de Radiación

Para calcular la temperatura de la Mezcla, es -
tiércol más agua, tenemos:

$$M_j T_j + M_a T_a = M_m T_m$$

$$M_j = 70 \text{ Kg}$$

$$T_j = 18^\circ\text{C}$$



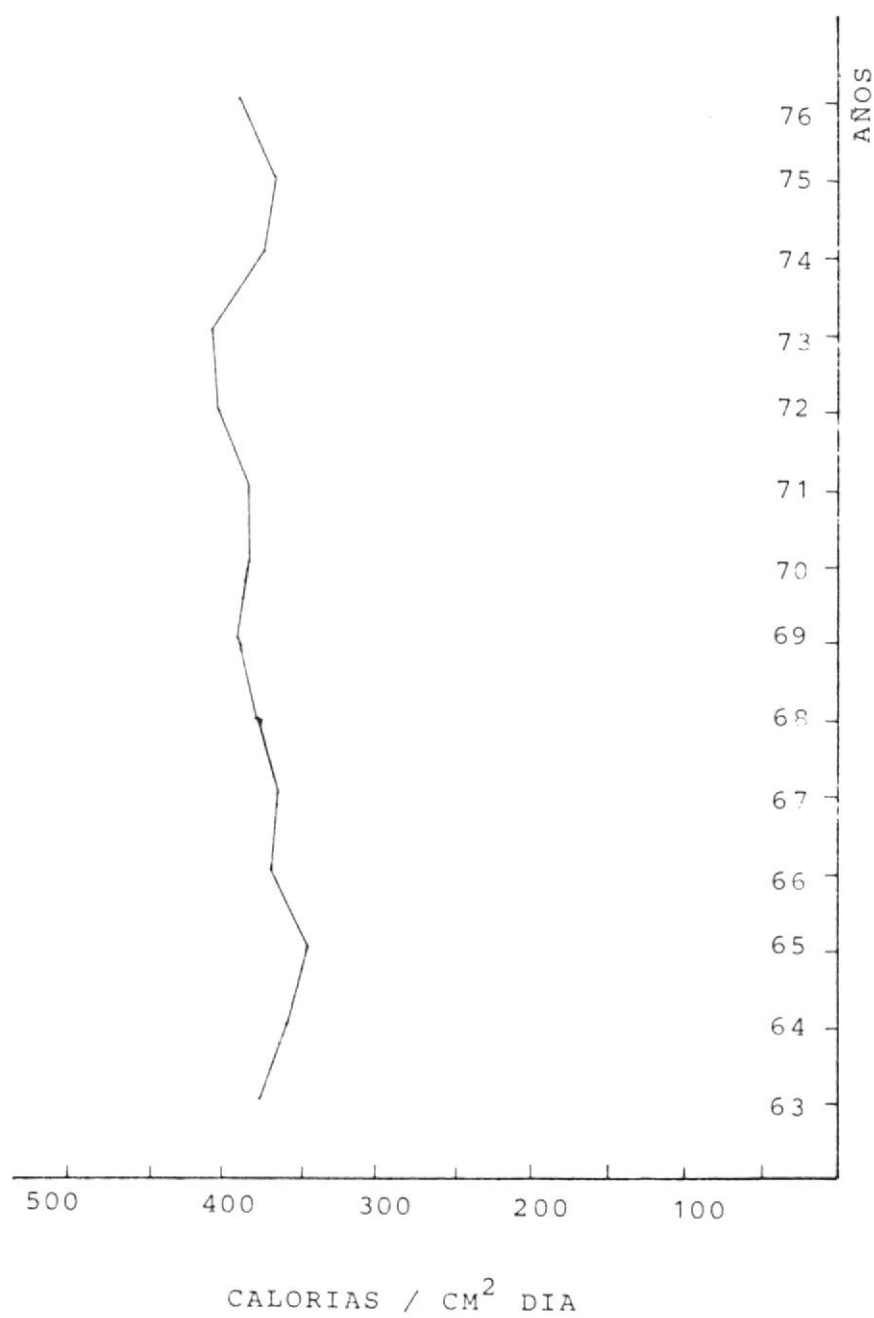


FIG. 4.2. RADIACION SOLAR GLOBAL, PROMEDIO

$$M_a = 70 \text{ Kg}$$

$T_a = 45^\circ\text{C}$. Suponemos que a ésta temperatura sa
le agua del calentador solar.

$$M_m = 140 \text{ Kg.}$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior
tenemos:

$$70 \times 18 + 70 \times 45 = 140 T_m; \text{ de donde}$$

$$T_m = 31.5^\circ\text{C.}$$

El calor necesario para suministrar diariamente
al Digestor será:

$$Q_n = M_m C. T_m = 140 \text{ Kg } (1 \text{ K cal./Kg.}^\circ\text{C}) 31.5^\circ\text{C}$$

$$Q_n = 4410 \text{ K Cal.} = 5.13 \text{ Kw} - \text{Hr.}$$

El calor disponible que se obtendrá del calentado

dor Solar será:

$$Q_d = MaC. (Taf - Tai)$$

$$Ma = 70 \text{ Kg}$$

Taf = 45°C que es la temperatura que necesitamos.

Tai = 15°C. temperatura inicial del agua.

$$Q_d = 70 \text{ Kg. } (1 \text{ Kcal./Kg.}^\circ\text{C}). (45 - 15)^\circ\text{C} = 2100 \text{ K Cal.}$$

Como éste calor se tomará de la Radiación Solar tenemos:

$$Q_d = EAI; \text{ de donde:}$$

$$A = Q_d/EI = 2100 \times 10^3 \text{ cal./}(.5 \times 320 \text{ cal/cm}^2)$$

Siendo:

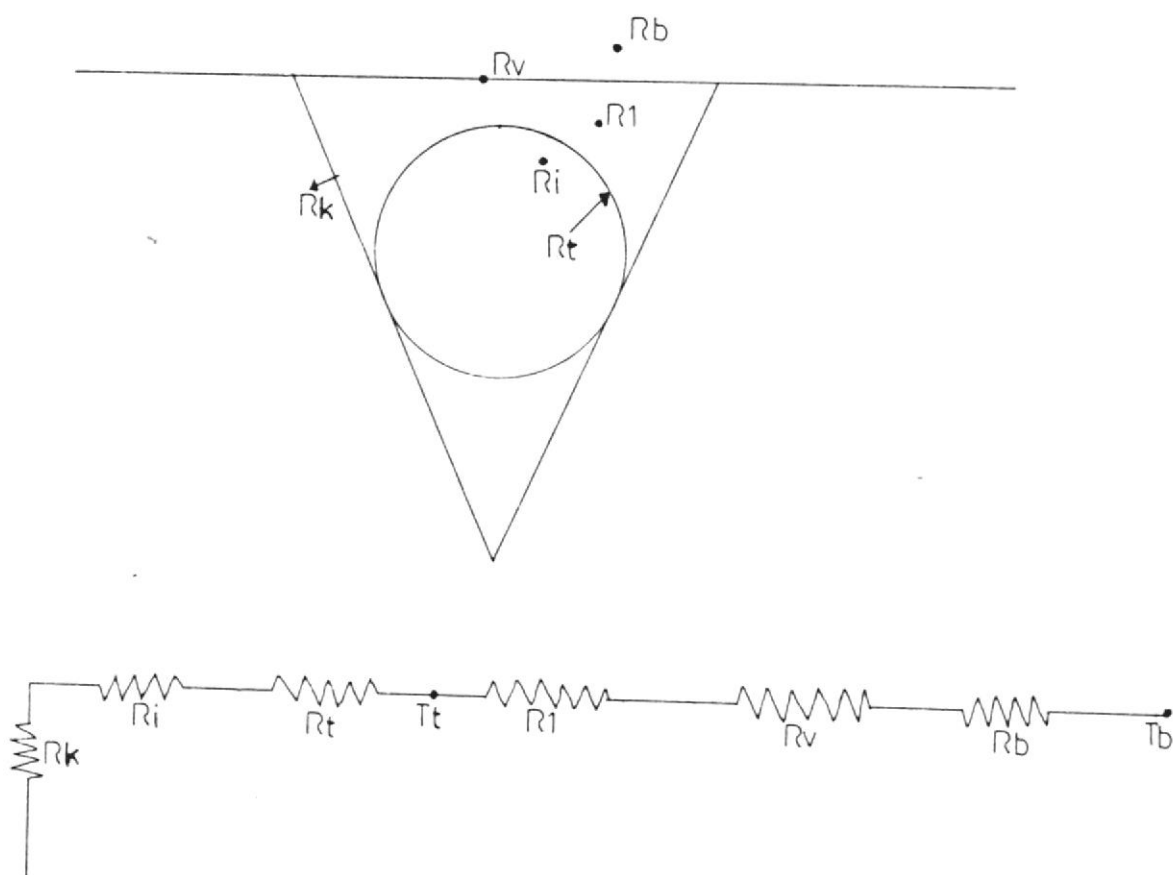
$$E = 50 \%$$

$I = 320 \text{ cal/cm}^2$ así tenemos que el área receptora será:

$$A = 1.3 \text{ m}^2$$

4.2.3. Perdidas Térmicas del Colector

El diagrama representa las diferentes resistencias del sistema.



Ya que las resistencias están en serie, tenemos

$$SR = R_k + R_i + R_t + R_1 + R_v + R_b$$

Resistencia del aislamiento

$$R_k = L/K$$

$$L = .07 \text{ m}$$

$$K = .034 \text{ BTU/HrP}^2\text{°F P}$$

$$A = 3.08 \text{ m}^2 = 33.15 \text{ p}^2$$

$$K = .034 \times 33.15 = 1.127 (\text{BTU/Hr P}^2\text{°F}) \times 1.73 = \\ 1.95 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Rk = .07/1.95 = .03591 \text{ m}^2\text{°C/(W x 3.08m}^2)$$

$$Rk = .011656\text{°C/W}$$

Resistencia interior del agua del tanque Ri

$$Tt = 50.3\text{°C} = 122.5\text{°F}$$

$$Ta = 29.7\text{°C} = 85.5\text{°F}$$

Las anteriores temperaturas son los promedios de 76 días.

Tabla B10 y B11

$$Ts = (122.5 + 85.5) / 2 = 104\text{°F}$$

Propiedades para el agua

$$gB\rho^2/u^2 = 118 \times 10^6 (1/\text{°F P}^3)$$

$$Pr = 4.52$$

$$K = .364 \text{ (BTU/HrP}^\circ\text{F)} \times 1.73 = .62972 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$r = .4429P$$

$$Gr = \rho^2 gB (T_t - T_a) r^3 / u^2$$

$$Gr = 118 \times 10^6 (122.5 - 85.5) (.4429)^3$$

$$Gr = 3.7935 \times 10^8$$

$$Nu = .42 (rGrPr/L)^{1/4} \text{ FIG. 7-11(7)}$$

$$Nu = .42 (13.5 (3.7935 \times 10^8) 4.52 / 140)^{1/4} = 47.6$$

$$Hi = K Nu / r = .62972 \times 47.6 / .135 = 222 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$At = 1.187522 \text{ m}^2$$

$$Hi = 222 \times 1.187522 = 263. \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Ri = Do / Hi Di = 27.15875 / (263. \times 27) = 3.816 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/W.}$$

Resistencia de conducción del Tanque R_t

$$R_t = D_o \ln (D_o/D_i) / 2K \quad (10)$$

$$K = 25 (\text{BTU}/\text{Hr } ^\circ\text{F}) \times 1.73 = 43.25 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$$

$$R_t = .2715875 \ln (.2715875/.27) / (2 \times 43.25) =$$

$$1.83 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_t = 1.83 \times 10^{-5} / 1.1875 = 1.541 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$$

Resistencia del aire interior del Calentador

$$R_1$$

$$R_1 = 1 / (h_{v1} + h_{r1})$$

$$h_{r1} = 4\sigma \epsilon_t T_t^3 \quad (10)$$

$$\epsilon_t = .91$$

$$T_t = 50.3^\circ\text{C} + 273 = 323.3 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{K}^4$$

$$Hr1 = 4 \times 5.67 \times 10^{-8} \times .91 (323.3)^3 = 6.97 (W/m^2 \cdot ^\circ C) \times 1.1875 m^2$$

$$Hr1 = 8.28 W/^\circ C$$

Coeficiente Convectivo $Hv1$

$$Gr = \rho^2 g_B (T_t - T_\infty) D^3 / \mu^2$$

$$T_t = 122.5^\circ F$$

$$T_\infty = (T_t + T_c) / 2$$

$$T_c = 33.5^\circ C = 92.3^\circ F$$

La temperatura de la cubierta T_c , es el promedio de 18 días . Tabla B11.

$$T_\infty = (122.5 + 92.3) / 2 = 107.4^\circ F$$

Propiedades para el aire

$$g_B \rho^2 / \mu^2 = 1.76 \times 10^6 (1/^\circ F)^3$$

$$Pr = .72$$

$$K = .0154 \text{ (BTU/HrP}^\circ\text{F)}$$

$$\begin{aligned} Gr &= 1.76 \times 10^6 (122.5 - 107.4) (27/30.48)^3 = \\ &18.47 \times 10^6 \\ Ec &= 7 - 28 (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu &= .53 (GrPr)^{1/4} = .53 (18.473 \times 10^6 \times .72)^{1/4} \\ &= 32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Hv1 &= KNu/D = .0154 \times 32 / (27/30.48) = .556316 \\ &\text{BTU/Hr P}^2\text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$Hv1 = .556316 \times 5.68 \times 1.187522 = 3.75 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$R1 = 1/(8.28 + 3.75) = .0831255 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Resistencia del vidrio

$$Rv = L/Kv$$

$$Kv = .45 \text{ BTU/Hr P}^2\text{ (}^\circ\text{FP)} \times 13.99 \text{ P}^2 \times 1.73 =$$

$$10.89 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

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

$$R_v = 3 \times 10^{-3} \text{ m} / 10.89 \text{ W/m}^\circ\text{C} = .2755 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_v = .2755 \times 10^{-3} / 1.3 = 2.12 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Perdidas al medio ambiente

$$R_b = 1 / (H_{vb} + H_{rb})$$

$$H_{vb} = 5.7 + 3.8 v = 5.7 + 3.8 \times 4 = 20.9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\times 1.3 \text{ m}^2$$

$$H_{vb} = 27.17 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$H_{rb} = \epsilon_v \sigma (T_c + T_b) (T_c^2 + T_b^2) \quad (10)$$

$$\epsilon_v = .94 \text{ TABLA A-23 (8)}$$

$$T_c = 33.5 + 273 = 306.5^\circ\text{K}$$

$$T_b = 16.3 + 273 = 289.3^\circ\text{K}$$

La temperatura del ambiente T_b , es el promedio de 76 días.

0.0032'

$$H_{rb} = .94 \times 5.67 \times 10^{-8} (306.5 + 289.3)$$

$$(306.5^2 + 289.3^2)$$

$$H_{rb} = 7.33 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$R_b = 1/(27.17 + 7.33) = .0289855 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

La suma de resistencias será:

$$SR = .011656 + 3.816 \times 10^{-3} + 1.54 \times 10^{-5} +$$

$$.083125 + .028085 + 2.12 \times 10^{-4}$$

$$SR = .1277 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

El calor perdido se definirá:

$$Q_p = (T_a - T_b) / SR = (T_a - T_b) / .1277 \text{ W}$$

En la tabla B12, tenemos las pérdidas de calor del calentador solar.

C A P I T U L O V

MATERIALES, CONSTRUCCION Y COSTOS

5.1 SELECCION DE MATERIALES

Los materiales que se usaron para la construcción del calentador solar fueron seleccionados de acuerdo a la disponibilidad y costo de ellos.

Así por ejemplo, se usó un tanque de una chimenea vieja, como depósito de agua para el calentador. También como material de aislamiento usamos el aserrín, disponible de la misma preparación de la madera, usada para construir el armazón del calentador.

Los materiales que se usaron en la construcción del calentador solar, se detallan a continuación:

Madera, Plywood, hojalata, clavos, neplos, tees, llaves, brochas, blanca cola, pintura, aluminium foil, vidrio, pernos, embudo y masilla.

5.2 CONSTRUCCION

Preparación de la madera, de acuerdo a las dimensiones adecuadas. Construcción del armazón en forma de "V", las partes laterales se sujetan con pernos, que son las principales, los elementos interiores con clavos.

Una vez terminado el armazón, cubrir su parte exterior con hojalata, fijándolo a la madera con clavos pequeños. Cubrir su parte interior con plywood, por todos sus lados. De esta manera quedan 4 compartimentos huecos; dentro de los cuales entrará el aserrín como aislamiento. Se procede a cerrar su parte superior. Así queda ya construida la caja que servirá de soporte para el tanque de agua.

Para la construcción del tanque, al tubo usado se sueldan sus dos tapas laterales, con sus respectivos neoplos de salida y entrada de agua, luego un poco de lija, y para terminar, pintar el tanque con negro mate y si es posible, a soplete.

Antes de entrar el tanque a la caja, pegamos a ésta en su parte interior; es decir al plywood, el papel reflector (aluminium foil). Entramos el tanque, a la

salida colocamos la llave y a la entrada el embudo.

Solamente falta colocar la cubierta. Para tomar las pruebas en Guayaquil usamos teflón. Pero luego usamos vidrio y para cerrar herméticamente sus lados usamos masilla. Para terminar se pinta exteriormente el Calentador Solar.

Los planos C.2 representan el Calentador Solar construido.

5.3 COSTOS

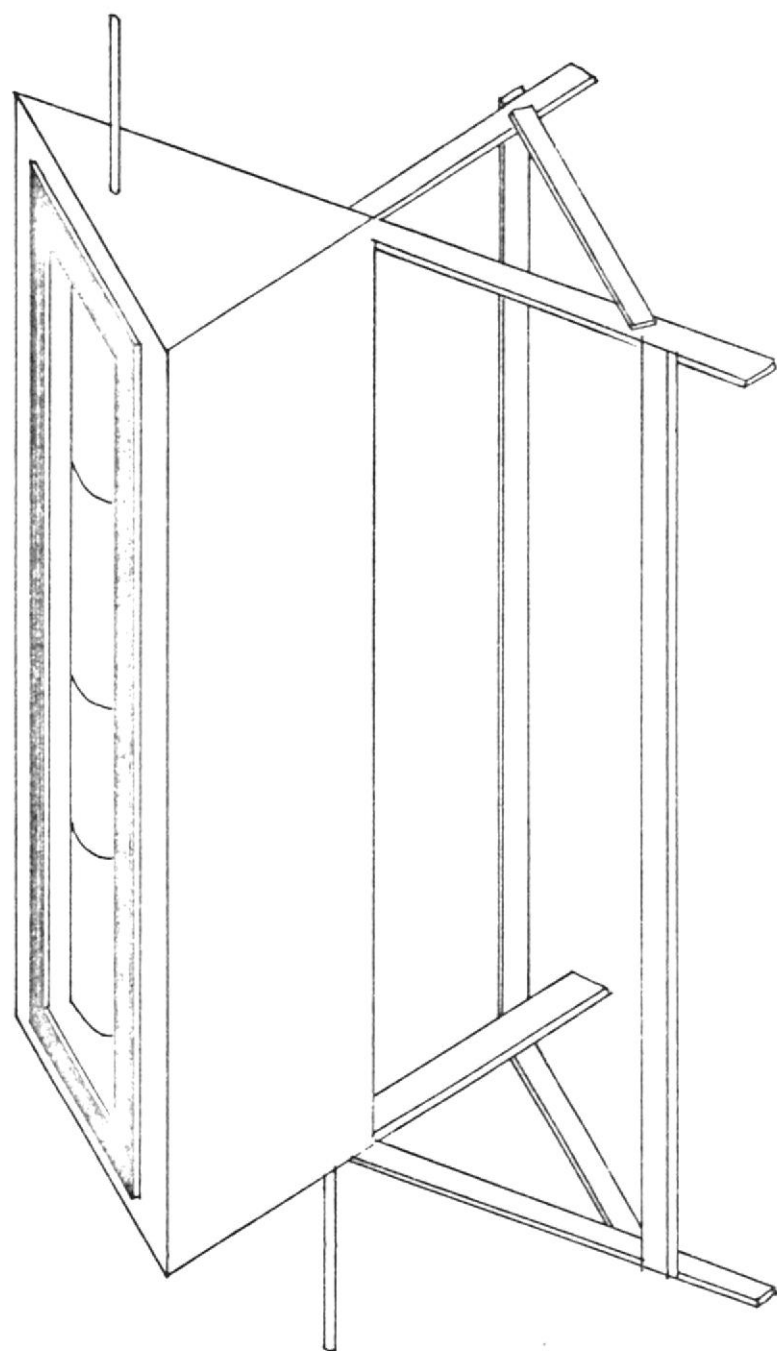
A continuación detallamos los materiales y costos para la construcción del Calentador Solar.

MATERIAL	CANTIDAD	(P/U) SUCRES	P, T SUCRES
Tablas de Roble:			
5 x 20 x 400 cm	2	300	600
2.5 x 20 x 400 cm	2	150	300
Plywood 5 mm.	1	300	300
Hojalata 1/60"			
90 x 180 cm	3	150	450
Clavos			
1/2", 1", 2", 2.5", 3"	8 lb	22	176
Neplos			
1/2" x 5"	3	12	36
1/2" x 3"	3	10	30
Llave de paso 1/2"	1	130	130

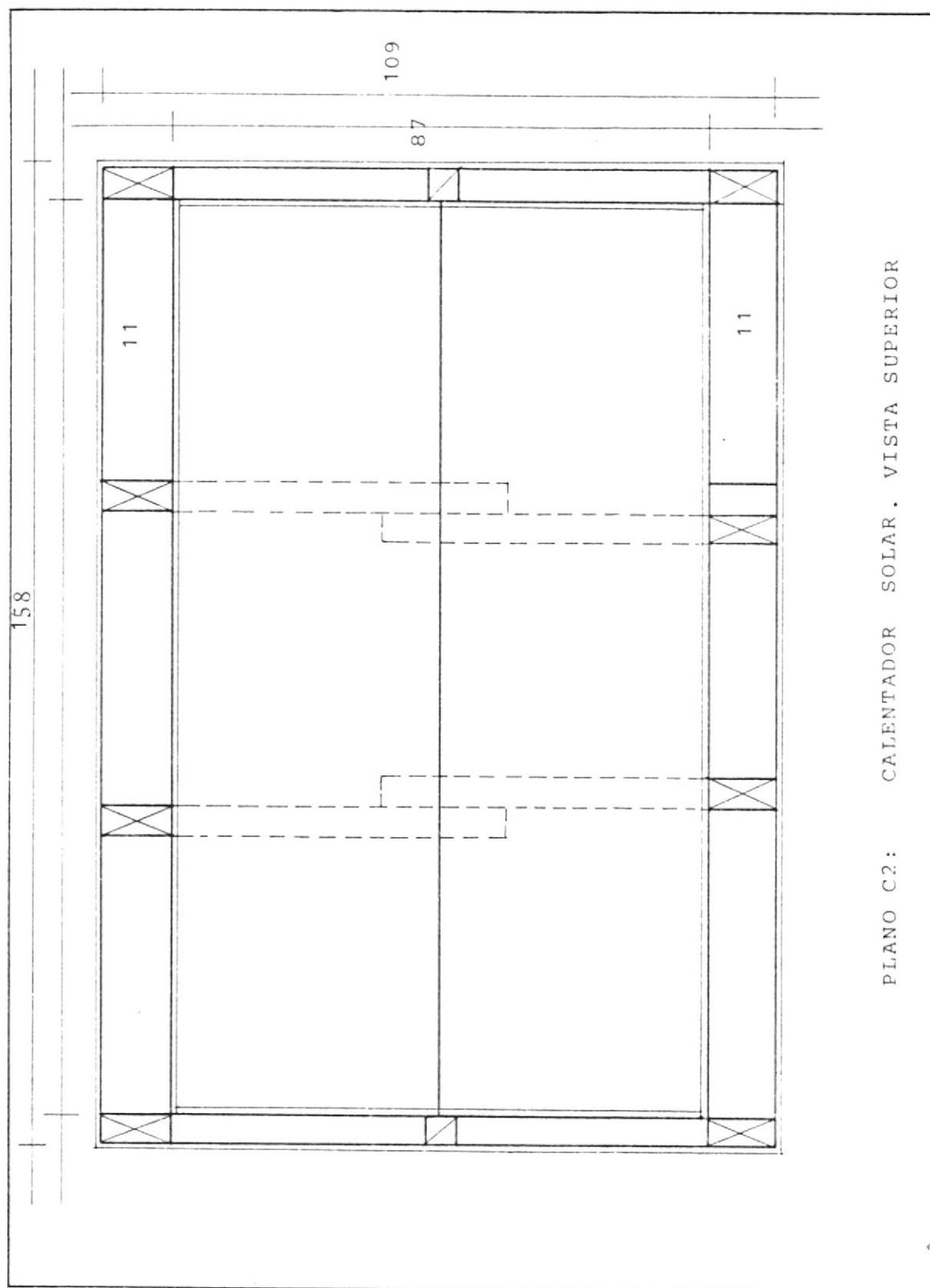
Tees 1/2"	1	16	16
Brocas	2	40	80
Blanca cola	2 Lt	80	160
Pintura blanca	2 Lt	125	250
Negro Mate	2 Lt	125	250
E&mbudo	1	20	20
Aluminium Foil	1 rollo	137	137
Vidrio	2	400	800
Masilla	2 Lb	30	<u>60</u>
TOTAL.			3795

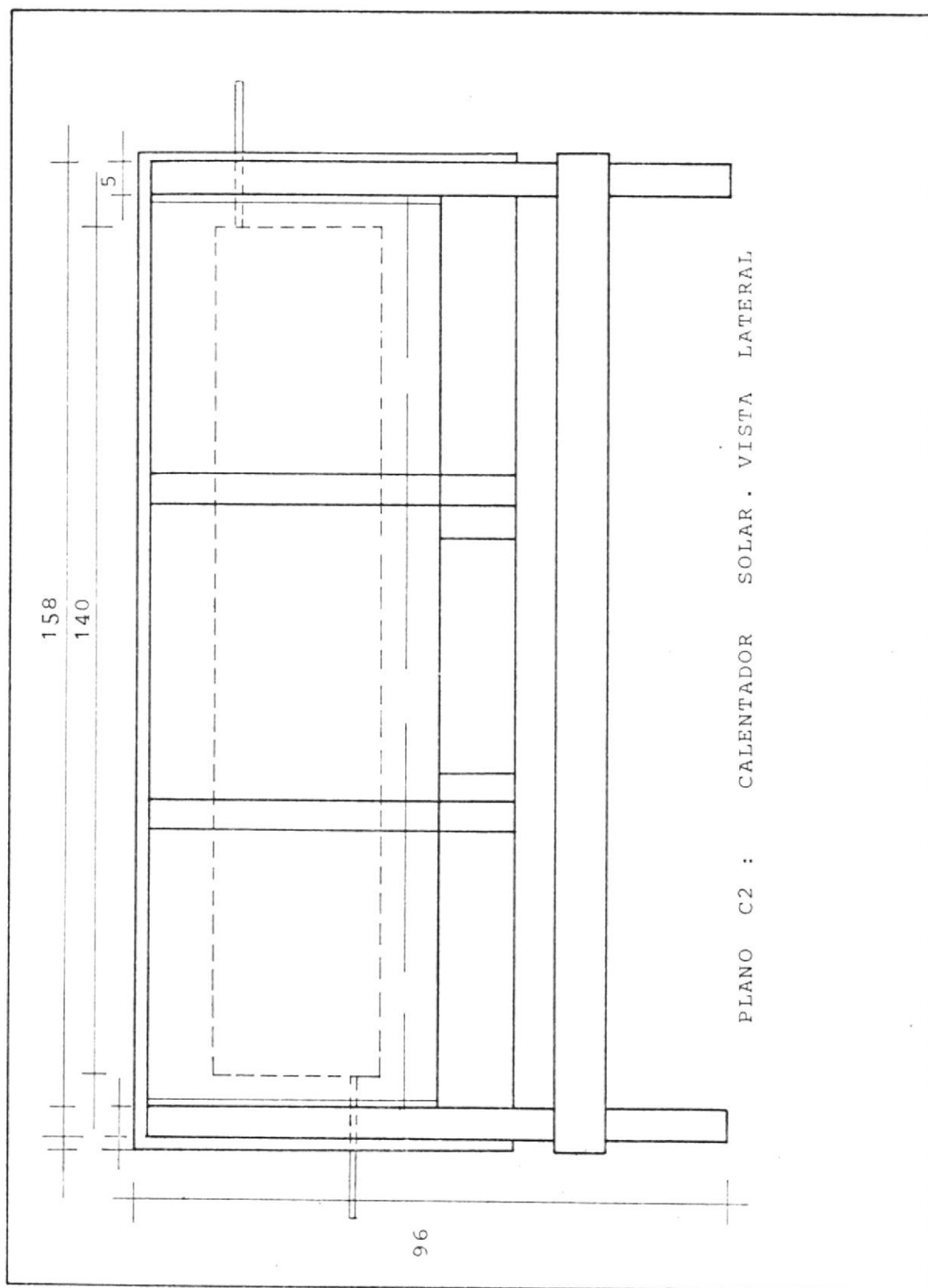
Para la construcción del Calentador Solar, aproximadamente se necesitaron en Mano de Obra, 10 jornales en total, a 250 sucres cada jornal, tenemos 2500 sucres.

El costo total del Calentador Solar será aproximadamente de 6295 sucres.



PLANO C2 : CALENTADOR SOLAR





C A P I T U L O VI

EXPERIMENTACION Y ANALISIS

6.1 EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENERGIA SOLAR

La eficiencia está definida, por la relación entre el calor ganado por el agua en el Calentador Solar y la Energía recibida

$$E = MaC (Taf - Tai) / IA$$

$$Ma = 70 \text{ Kg}$$

$$C = 1\text{Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$I = 320 \text{ cal/cm}^2$$

$$A = 13000 \text{ cm}^2 \quad \text{reemplazando en la ecuación}$$

$$E = 70 \text{ Kg } (1\text{Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}) (Taf - Tai) /$$

$$(.32\text{Kcal/cm}^2) 13000 \text{ cm}^2$$

$$E = 0.0168269 (1/^{\circ}\text{C}) (Taf - Tai) ^{\circ}\text{C}$$

Para el cálculo de la eficiencia de cualquier día, Tai se toma a las 8:00 horas; si notamos una variación en ésta, será por la hora a la cual se carga el Calentador; así, se cargó una sola vez el 26 de julio de 1982 y

se mantuvo esta misma agua hasta el 20 de agosto de 1982; así se puede calcular las pérdidas térmicas nocturnas.

Del 21 de agosto hasta el 6 de septiembre se cargaba por la noche, después de descargar el agua caliente, para usar en el Digestor.

Del 7 de septiembre de 1982 en adelante, se cargó el calentador por la mañana, antes de las 8:00 horas.

El calor ganado por el agua será:

$$Q_g = 70000 (\text{cal}/^{\circ}\text{C}) (\text{Kw-hr}/8.601 \times 10^5 \text{Cal}) (\text{Taf} - \text{Tai})$$

$$Q_g = 81.4 (\text{Taf} - \text{Tai}) \text{ W-hr}/^{\circ}\text{C} (1/8 \text{ hr})$$

$$Q_g = 10.1 (\text{Taf} - \text{Tai}) \text{ W}/^{\circ}\text{C}$$

En la Tabla B.13 tenemos las temperaturas Taf, Tai, y el calor ganado por el agua durante el calentamiento Qg.

En el Gráfico A.7 tenemos sus respectivas eficiencias E.

6.2 CALCULO DE RADIACION APROXIMADA DE LA ZONA

La ganancia G del Calentador está definida, por la suma del Calor ganado por el agua y las Pérdidas Térmicas;

$$G = Q_g + Q_p$$

También está definido por,

$$G = (\tau\alpha)_e \rho R_d s Y I \quad (10)$$

Cálculo de $(\tau\alpha)_e$, cantidad de energía que es recibida por el tanque.

$$\cos\theta_h = \sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\phi\cos w$$

Para el 26 de julio al 19 de octubre, la declinación solar $\delta = 7.5^\circ$

Latitud, $\phi = -2.2^\circ$

Angulo horario, w , tomaremos desde las 8:00 horas hasta las 16. Todos los próximos datos que se calculan se encuentran en la Tabla B.14.

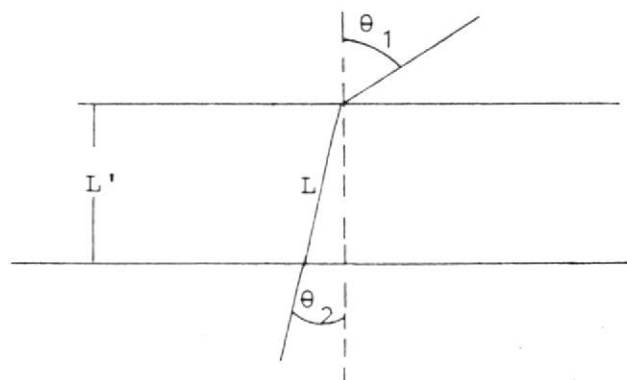
$$\cos\theta_h = -5.0106 \times 10^{-3} + .990714 \cos w$$

$$\cos\theta_t = \cos(\theta - i)\cos\delta\cos w + \sin(\theta - i)\sin\delta$$

$$\cos\theta_t = .9690539 \cos w - .0275834$$

$$R = \cos\theta_t / \cos\theta_h$$

Trayectoria real del rayo, L



$$L = L' / (1 - (n1 \text{ Sen } \theta_1' / n2))^{\frac{1}{2}}$$

$$L' = .3 \text{ cm}$$

$$n1 = 1, \text{ para el aire}$$

$$n2 = 1.528 \text{ para el vidrio}$$

$$L = .3 \text{ cm} / (1 - .4283 \text{ Sen} \theta_1)^{\frac{1}{2}} ; \theta_1 = \theta_t$$

$$\text{Sen} \theta_2 = (n1/n2) \text{ Sen} \theta_1$$

$$\text{Sen} \theta_2 = .65445 \text{ Sen} \theta_1$$

$$\theta_2 = \text{Arc Sen} \theta_2$$

Según la Ley de Fresnel

$$I_r/I_i = (\rho_1 + \rho_2)/2$$

$$\rho_1 = \text{Sen}^2(\theta_2 - \theta_1) / \text{Sen}^2(\theta_2 + \theta_1)$$

$$\rho_2 = \text{Tn}^2(\theta_2 - \theta_1) / \text{Tn}^2(\theta_2 + \theta_1)$$

$$t = t_{tr}$$

$$t_a = e^{-kL}$$

$$k = .32 \text{ cm}^{-1} \text{ para vidrio ferroso}$$

$$tr = ((1 - \rho_1)/(1 + \rho_1) + (1 - \rho_2)/(1 + \rho_2))/2$$

Para una sola cubierta

$$t = e^{-kL} ((1 - \rho_1)/(1 + \rho_1) + (1 - \rho_2)/(1 + \rho_2))/2$$

$$t_a = t_a / 1 - (1 - a) \rho_d$$

Para negro mate sobre hierro galvanizado

$$a = .9$$

$$\rho_t = .91$$

$$\rho_d = .16$$

$$t_a = .9146341 t$$

Considerando la absorción de la cubierta

$$(t\alpha)e = t\alpha + (1 - e^{-kL})a_1$$

Para $\epsilon = .91$, $a_1 = .27$

$$(t\alpha)e = t\alpha + (1 - e^{-.32L}) \times .27$$

Reflectividad del papel aluminio

$$\rho_a = 1 - \alpha = 1 - .29 = .71$$

Factor de suciedad, $d = .98$

Factor de sombra, $s = .97$

Factor de imperfección de construcción, $\gamma = .9$

Sacando los promedios de la Tabla B.14 tenemos:

$$R = .9493627$$

$$(t\alpha)e = .7952305$$

Incluyendo los valores obtenidos

$$G = .7952305 \times .71 \times .9493627 \times .98 \times .97 \times .9 \text{ I}$$

$$G = .4585893 \text{ I}$$

$$I = 2.18 \text{ G}$$

Dividiendo para el $A = 1.3 \text{ m}^2$ tenemos:

$$I = 1.677 \text{ G W/m}^2$$

En la Tabla B.15 tenemos las Ganancias para 76 días, cuyo promedio es, $G = 238 \text{ W/m}^2$

$$I = 1.677 \times 238 = 400 \text{ W/m}^2, \text{ para un día}$$

$$I = 400 \times 8/24 = 133 \text{ W/m}^2, \text{ para 8 horas}$$

También en la Tabla B.15 tenemos la radiación solar aproximada para algunos días.

6.3 VARIACION DE LA PRODUCCION DE BIOGAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA Y DE LA RADIACION SOLAR

Los gráficos A.8 representan la producción de Biogas, la radiación solar y la temperatura del Digestor Td, para los días de pruebas.

El Gráfico A.9 representa una aproximación media de las curvas, de la temperatura del digestor y de la producción de Biogas, para los días de calentamiento, éste sirve para visualizar claramente el tiempo de respuesta del sistema y la variación de la producción de Biogas y la temperatura.

El calentamiento comenzó el 21 de agosto. Hasta el 2 de septiembre, la producción permanece constante y la temperatura aumenta a una razón de $.05^{\circ}\text{C}/\text{día}$.

La respuesta del sistema, actúa aproximadamente a los 13 días del inicio del calentamiento; es decir la producción de Biogas, comenzó a aumentar después de 13 días del inicio del calentamiento.

Del 2 al 18 de septiembre, tenemos un incremento pronunciado de la producción de Biogas, de aproximadamen-

te 33 Litros/día. Para este mismo período la temperatura aumenta a razón de $.13^{\circ}\text{C}/\text{día}$.

La relación de incremento de producción, en función del incremento de temperatura será:

$$33/.13 = 254 \text{ Litros}/^{\circ}\text{C}$$

Del 18 de septiembre al 16 de octubre la temperatura del Digestor Td, permanece arriba de 21°C . La producción de Biogas, con pequeñas variaciones, se mantiene arriba de los 2000 litros / día.

6.4. ANALISIS ECONOMICO

Calcularemos el costo aproximado del Kg. de Biogas, en función del costo de LPG que se ahorraría, si usamos biogas por LPG

$$\rho_b = .4 \rho_{\text{CO}_2} + .6 \rho_{\text{CH}_4}$$

$$\rho_{\text{CO}_2} = 1.9768 \text{ g/l}$$

$$\rho_{\text{CH}_4} = .7167 \text{ g/l a } T = 0^{\circ}\text{C y Presión de 1 atm.}$$

Considerando como un gas ideal

$$P_1/T_1 \rho_1 = P_2/T_2 \rho_2$$

$$T_1 = 273 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\rho_1 = 1.22074 \text{ g/l}$$

$$T_2 = 16.3 + 273 = 289.6 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$P_1 = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\rho_1 = \rho_b$$

$$P_2 = .73242 + 13 \text{ cmH}_2\text{O} = 75468.6 \text{ N/m}^2$$

$$1.013 \times 10^5 / 1.2207 \times 273 = 75468.6 / \rho_2 \times 289.3$$

$$\rho_2 = .8582 \text{ g/l} = .8582 \text{ Kg/m}^3$$

Poder calorífico del Biogas

$$PC_b = 5000 \text{ Kcal/m}^3 (1/.8582 \text{ Kg/m}^3) = 5826.1 \text{ Kcal/Kg}$$

Poder calorífico para el Gas Licuado LPG

$$PC_l = 10889 \text{ Kcal/Kg}$$

Relacionando ambos valores tenemos:

$$PC_b / PC_l = 5826.1 / 10889 = .535$$

$$PC_b = .535 PC_l$$

Haciendo una relación directa, entre el Poder Calorífico del combustible y su costo tenemos:

$$C_b = .535 C_l$$

Si C_l actual es de 12 sucres/Kg

$$C_b = .535 \times 12 = 6.42 \text{ sucres/Kg}$$

Se estima un incremento en el costo del gas, del 25% anual.

El promedio de la Producción de Biogas para los últimos 30 días de calentamiento será

$$P_d = 63066 / 30 = 2102 \text{ litro/día}$$

El promedio de producción, para una carga constante y antes del calentamiento fue de 1510 litros/día.

El incremento de la Producción de Biogas debido solamente al calentamiento, es decir para el aumento de 3.13°C será

$$P1 = 2102 - 1510 = 592 \text{ l/día; de donde}$$

$592/1510 = .392$, que representa el incremento de un 39.2% de la Producción sin calentamiento. ✓

La temperatura del Digestor antes del calentamiento fue de $T_d = 18.12^{\circ}\text{C}$; y para los últimos 20 días de Calentamiento fue de 21.25°C .

Idealmente, para una planta para 140 litros de mezcla cada día, para una $T_d = 18.12^{\circ}\text{C}$, en la Figura 1.1 obtenemos su tiempo de retención $\text{HRT} = 45$ días; por lo que

$$V_i = 140 \times 45 = 6300 \text{ l}$$

Para $T_d = 21^{\circ}\text{C}$, su $\text{HRT} = 37$ días

$$V_f = 140 \times 37 = 5180 \text{ l}$$

$$V_i - V_f = 6300 - 5180 = 1120 \text{ l}$$

Para una operación adecuada de la Planta, necesitamos $1120/2 \times 37 = 15$ Kg de Majada adicionales.

Ya que $2102/70 = 30 \text{ l/Kg}$ de majada, 15 Kg de Majada adicionales sería, $15 \times 30 = 450 \text{ l}$ de Biogas más.

Para mantener el nivel térmico existente, necesitamos 15 litros de agua caliente, a qué temperatura?

La temperatura de entrada de la Mezcla, T_e , promedio de los 60 días de calentamiento fue, $T_e = 34^\circ\text{C}$.

$$M_i T_i + M_j T_j = M_m T_m = 15(T_i + T_j) = 30 \times 34$$

$$T_j = 18^\circ\text{C}, T_i = 68 - 18 = 50^\circ\text{C}$$

Necesitamos 15 lt de agua a 50°C

Calor necesario

$$Q = 15 (50 - 18) = 480 \text{ Kcal}$$

$$Q/\eta \text{ PCb} = 480/.34 \times 5000 = 283 \text{ lt de Biogas}$$

La ganancia neta de Biogas para los 15 Kg de majada adicionales será

$$P_2 = 450 - 283 = 165 \text{ litros/día}$$

Ganancia total

$$P = 592 + 165 = 757 \text{ lt/día, de donde}$$

$757/1510 = .5$; que es el 50% de incremento de la Producción de Biogas por el calentamiento.

Ganancia en Kg

$$.8582 \text{ Kg/m}^3 \times .757 \text{ m}^3 = .65 \text{ Kg biogas/día} = 237.2 \text{ Kg/año}$$

Con la adición de 15 Kg de majada fresca, obtenemos 3 Kg de Bioabono, el cual se lo ha cotizado a .5 sucres/Kg, por lo que también tenemos un ingreso adicional de

2737.5 sucres en los 5 años de cálculo.

LISTA DE COSTOS

AÑO	Sucres/Kg	Sucres/año
1983	8.025	1904
1984	10.03	2379.6
1985	12.54	2975.1
1986	15.7	3724.8
1987	19.6	4650.1
TOTAL.....		15633.6

Si el costo total del Calentador Solar es de 6295 sucres, éste se pagará en dos años y cuatro meses, por lo que tenemos una rentabilidad anual para nuestra inversión de $100/2.33 = 42.8\%$.

6.5 RESULTADOS Y ANALISIS

Para una Operación adecuada de la Planta, con el calentamiento, se espera un incremento del 50% en la Producción de Biogas.

La temperatura ambiental promedio, para los días de prueba $T_b = 16.3^{\circ}\text{C}$

La Humedad Relativa $HR = 59.5\%$

Temperatura promedio del Suelo $T = 22.02^{\circ}\text{C}$

Temperatura promedio del Subsuelo $T_{sb} = 20.37^{\circ}\text{C}$

La Conductividad del Suelo calculada, es bastante aproximada a la que se dan en los textos $K = .346 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

Calor Perdido promedio del Digestor, para las condiciones finales

$$Q_k = 15 (T_d - T_b) = 15 (21.25 - 16.3) = 74.2 \text{ W}$$

$$Q_b = .83(T_d - T_b) = .83(21.25 - 16.3) = 4.1 \text{ W}$$

$$Q_p = 74.2 + 4.1 = 78.3 \text{ W}$$

Para mantener el nivel Térmico obtenido, se debe suministrar cada día al Digestor $Q_p + Q_s$

$$Q_s = 144.1 \text{ W}$$

$$Q_p + Q_s = 78.3 + 144.1 = 222.4 \text{ W} = 4581.4 \text{ Kcal}$$

La temperatura necesaria de la mezcla será:

$$T_e = 4581.4/140 = 33^{\circ}\text{C}$$

La eficiencia del Calentador Solar, con los datos calculados de Radiación solar se encuentran en la Tabla B.16.

En el Gráfico A.10 representamos la Producción de Biogas en Litros por Kg de mezcla, respecto a la Temperatura del Digestor T_d .

De la Tabla B.15, sacamos el promedio de la radiación global calculada y tenemos $I = 400 \text{ W/m}^2$ para un día; pero nuestro cálculo se ha hecho solamente para 8 ho-

ras, por lo que

$$I = 400 \times 8/24 = 133 \text{ W/m}^2$$

$$\% = 155 - 133/155 = 14\% \text{ menor, que aquel que asumimos.}$$

Respecto a Izobamba sería menor en un 29%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Comparando la Figura 1.3 en el Capítulo 1, con el Gráfico A.10, observamos que los resultados de Producción de Biogas son bastante aproximados; por lo que la Figura 1.3 es una curva real de Producción de Biogas.
- 2.- La limpieza del Calentador Solar es muy importante. Se debe limpiar la cubierta diariamente.
- 3.- El método para calcular la Conductividad del Suelo K, con sus respectivas suposiciones, se lo recomienda, ya que el valor obtenido es aproximado al valor teórico.
- 4.- Las Pérdidas de Calor calculadas por medio de balance de calor, y por las Conductancias del Digestor son aproximadas. Así por ejemplo del 11-25 de Septiembre por balance de calor $Q_p = 1088W$, por el cálculo de las conductancias $Q_p = 1198W$, todas las aproximaciones hechas para el cálculo de las conductancias son las adecuadas.
- 5.- Las Pérdidas de Calor en el Calentador Solar, por las

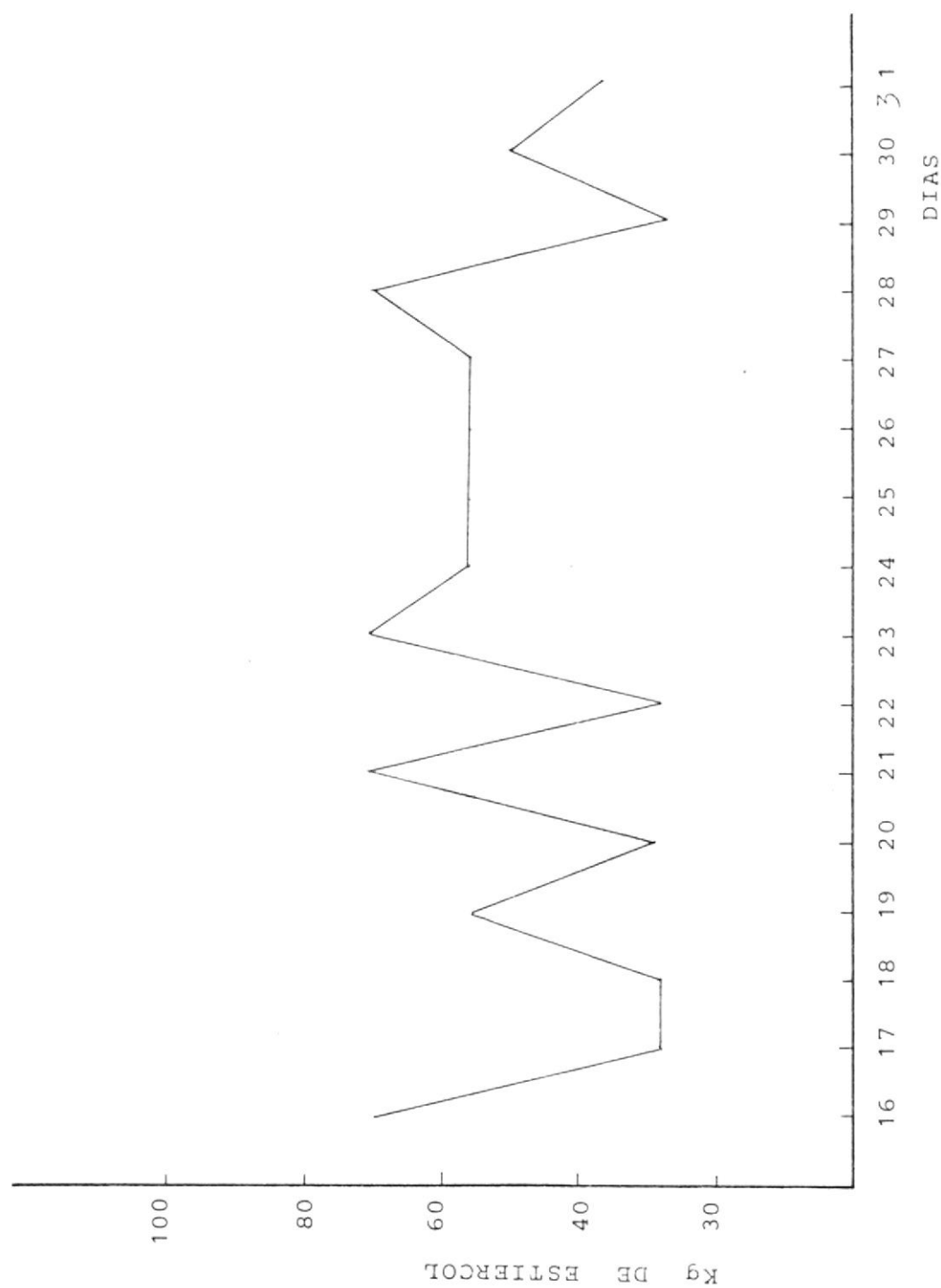
noches, son mayores con una cubierta de Teflón (Tedlar); que con una de vidrio.

- 6.- Se debe cargar el calentador por la mañana, no por la noche del día anterior, porque el agua se enfría por rerrradiación. Porque tenemos una sola cubierta.
- 7.- Se debe mejorar la transmisividad desde la superficie del tanque hacia el agua, ya que en la parte superior existe un poco de aire e impide la transmisión de calor hacia el agua; además, el fenómeno de convección es obstaculizado, debido a que estamos calentando desde su parte superior.
- 8.- Se recomienda para todas las zonas frías, adaptar un calentador solar a una Planta de biogas, de preferencia, usando materiales fáciles de obtenerlos en dichas zonas.
- 9.- Se necesitan equipos para trabajar en el campo, y en general para fuentes no convencionales de energía; aplicadas al desarrollo rural.
- 10.- Se recomienda hacer un estudio para varias cubiertas en el calentador; para así evitar las pérdidas, espe-

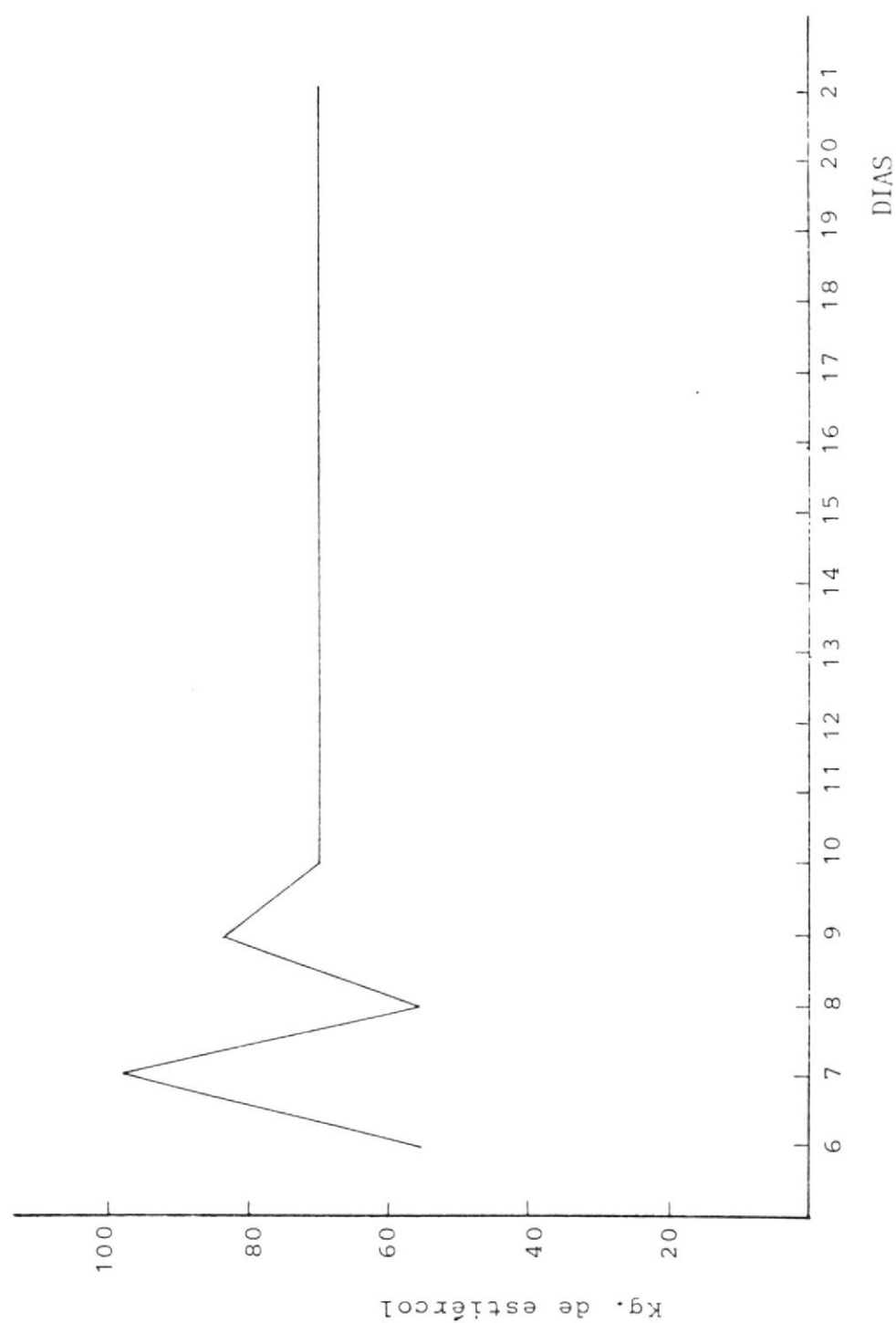
cialmente durante las noches.

- 11.- También se puede hacer un estudio de calentamiento, desde su carga inicial de una Planta de Biogas, de esta manera se podrá obtener un mayor nivel térmico en un tiempo menor.
- 12.- Hacer un estudio de calentamiento, para diferentes temperaturas, hasta llegar a la óptima (30 - 35)°C. Buscar un rango de temperatura en el cual el calentamiento es más eficiente y rentable.

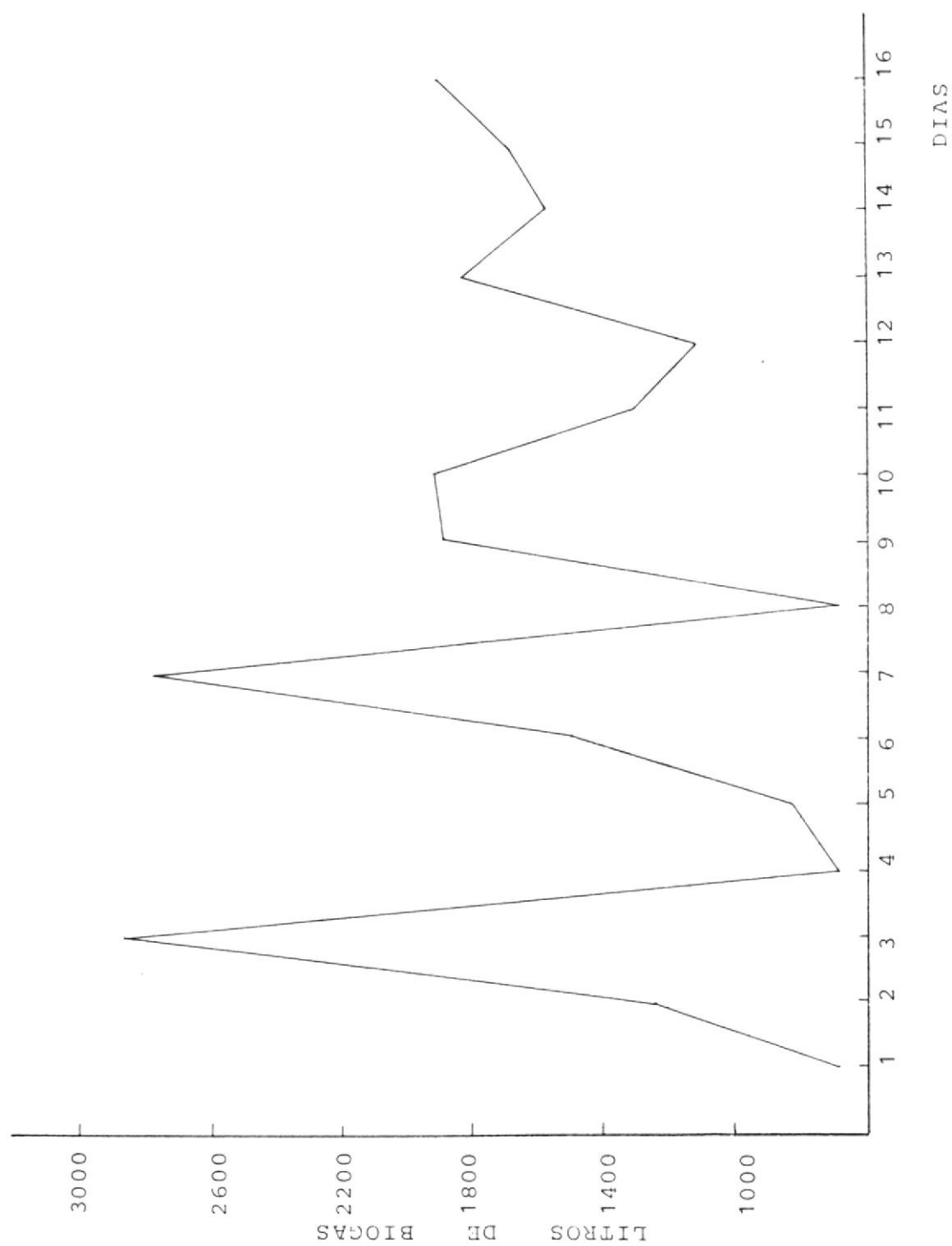
A P P E N D I C E S



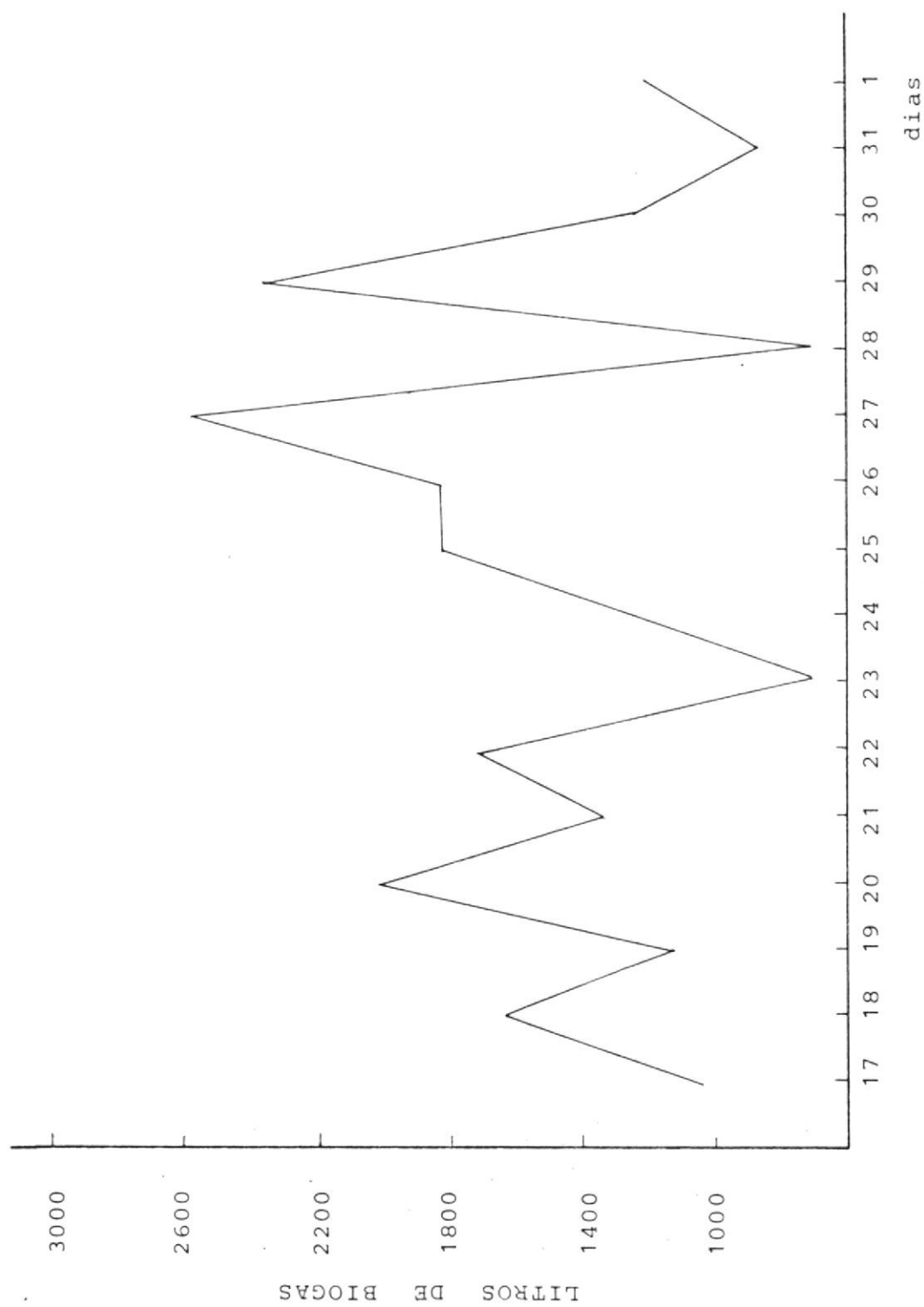
GRF:A1 CARGA DIARIA DE ESTIERCOL MES DE JULIO



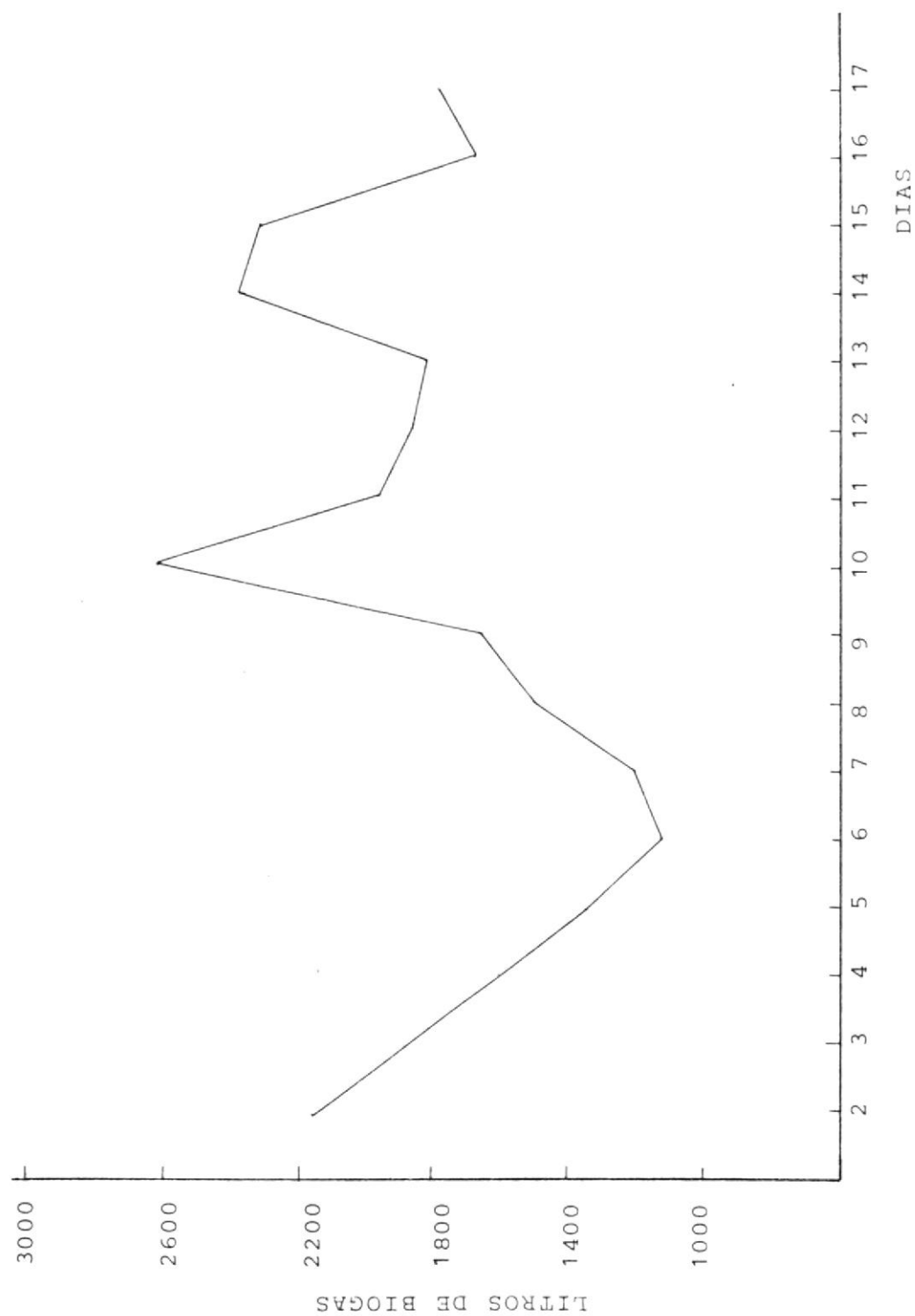
GRF: A1 CARGA DIARIA ESTIÉRCOL MES DE AGOSTO



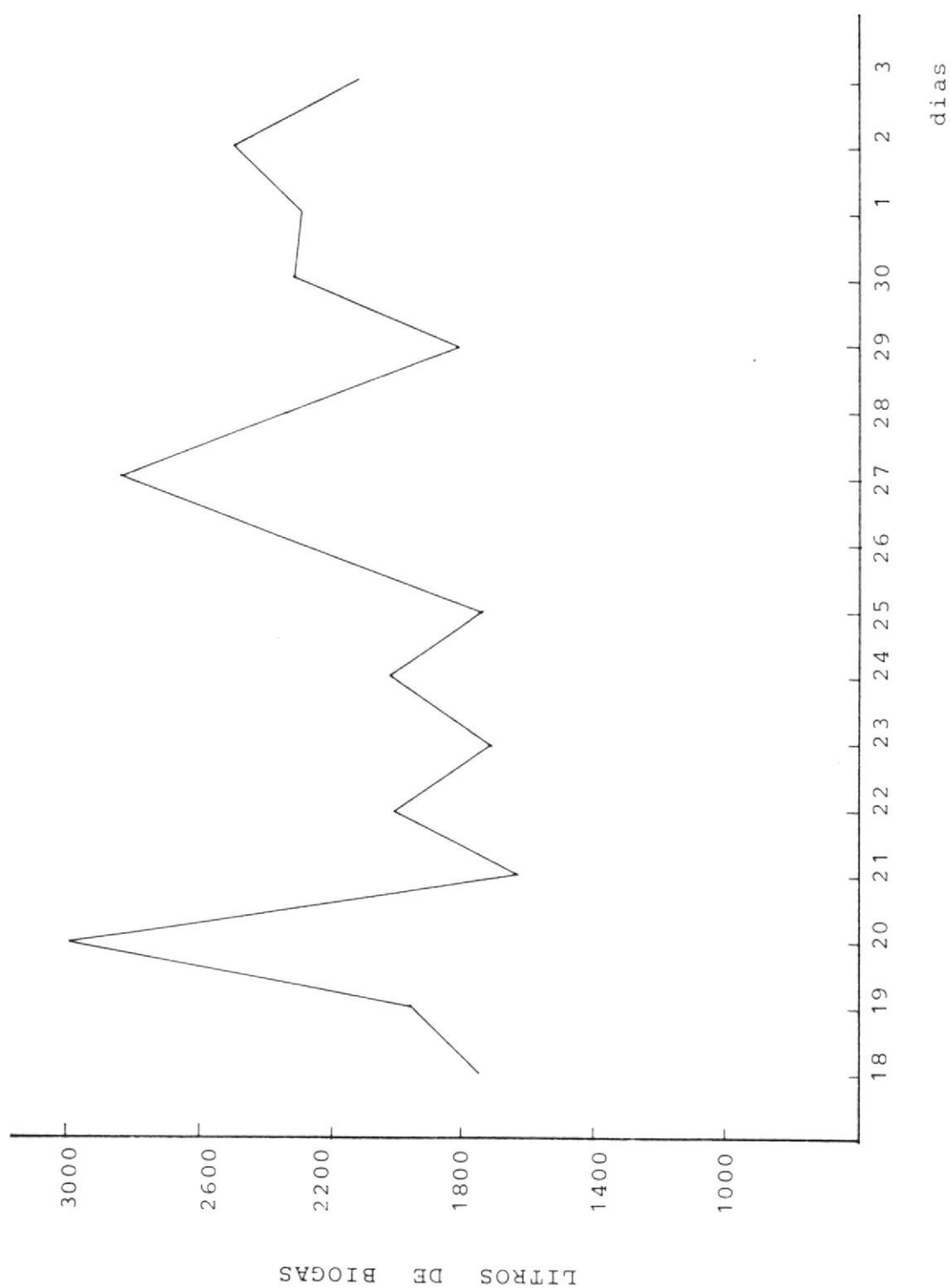
GRF: A2 CONSUMO DE BIOGAS MES DE AGOSTO



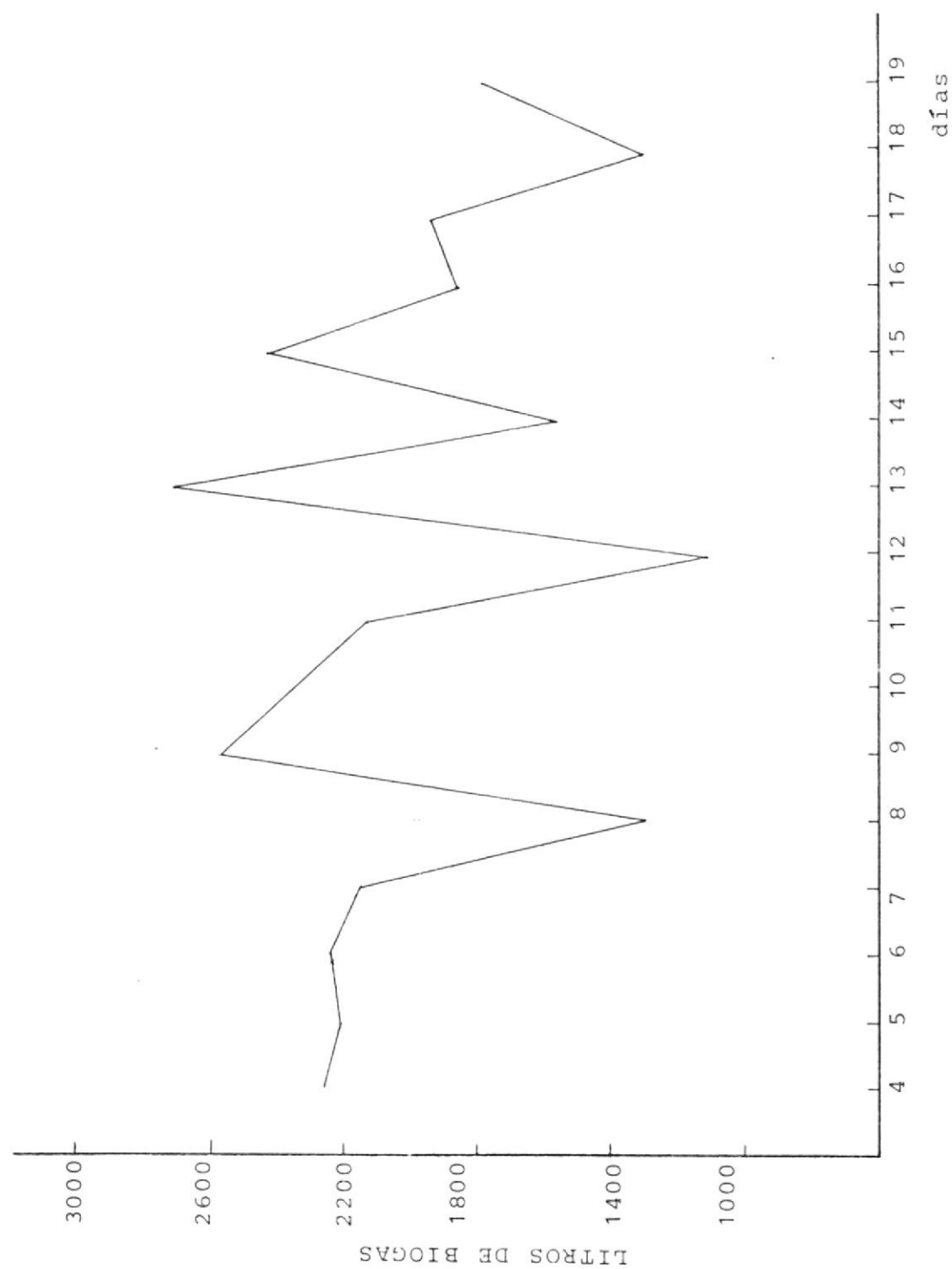
GRF: A2 CONSUMO DE BIOGAS MES DE AGOSTO



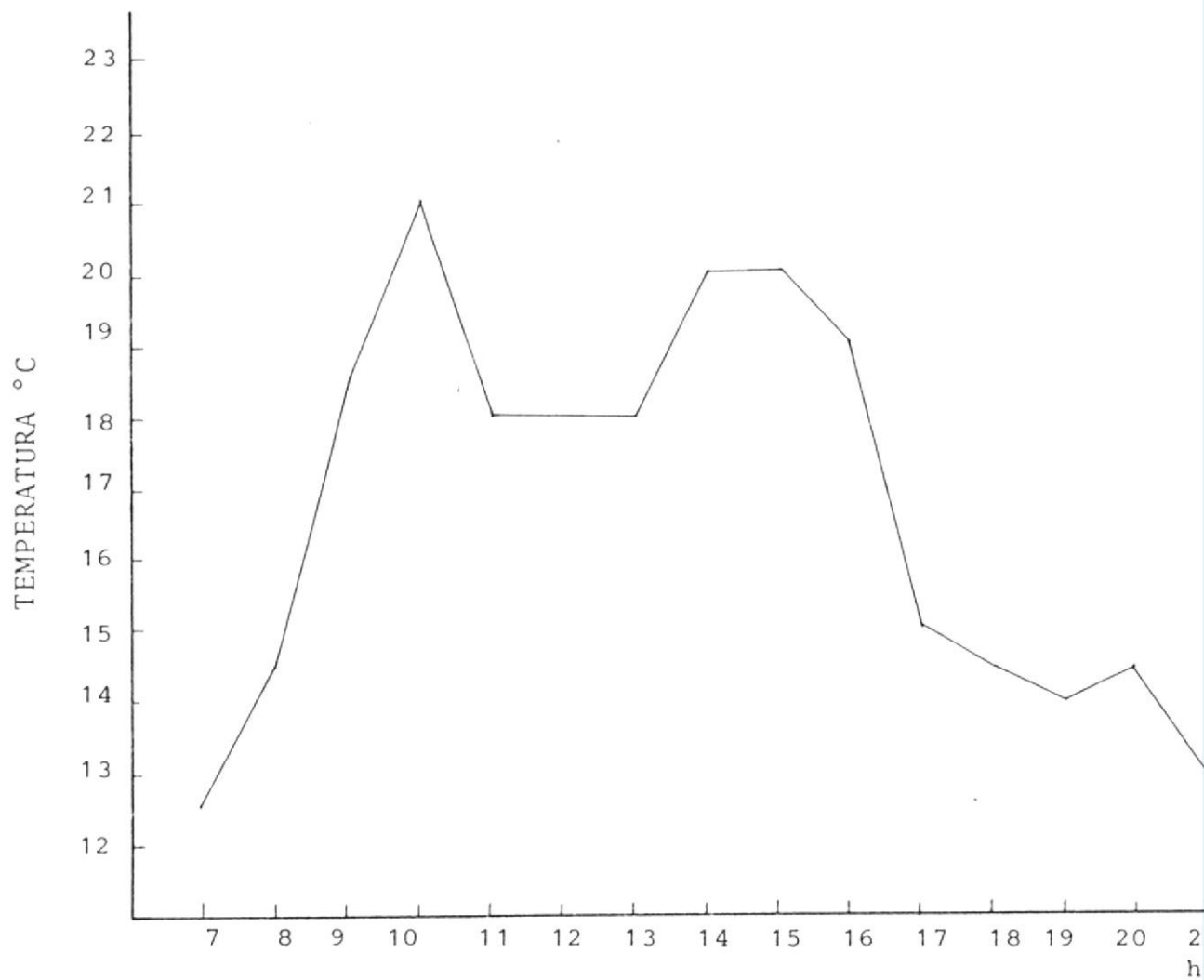
GRF: A2 CONSUMO BIOGAS MES DE SEPTIEMBRE



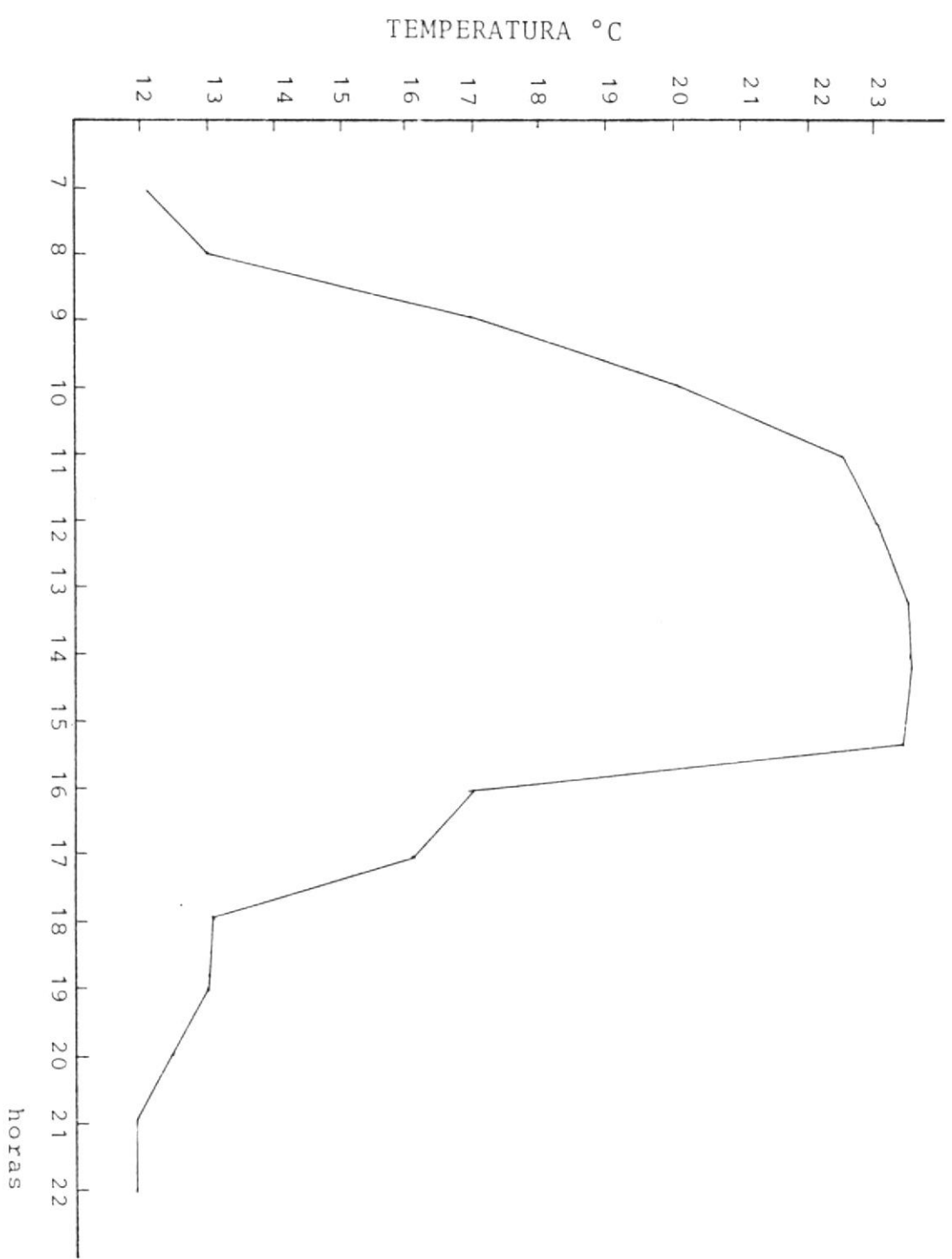
GRF: A2 CONSUMO DE BIOGAS - MES DE SEPTIEMBRE



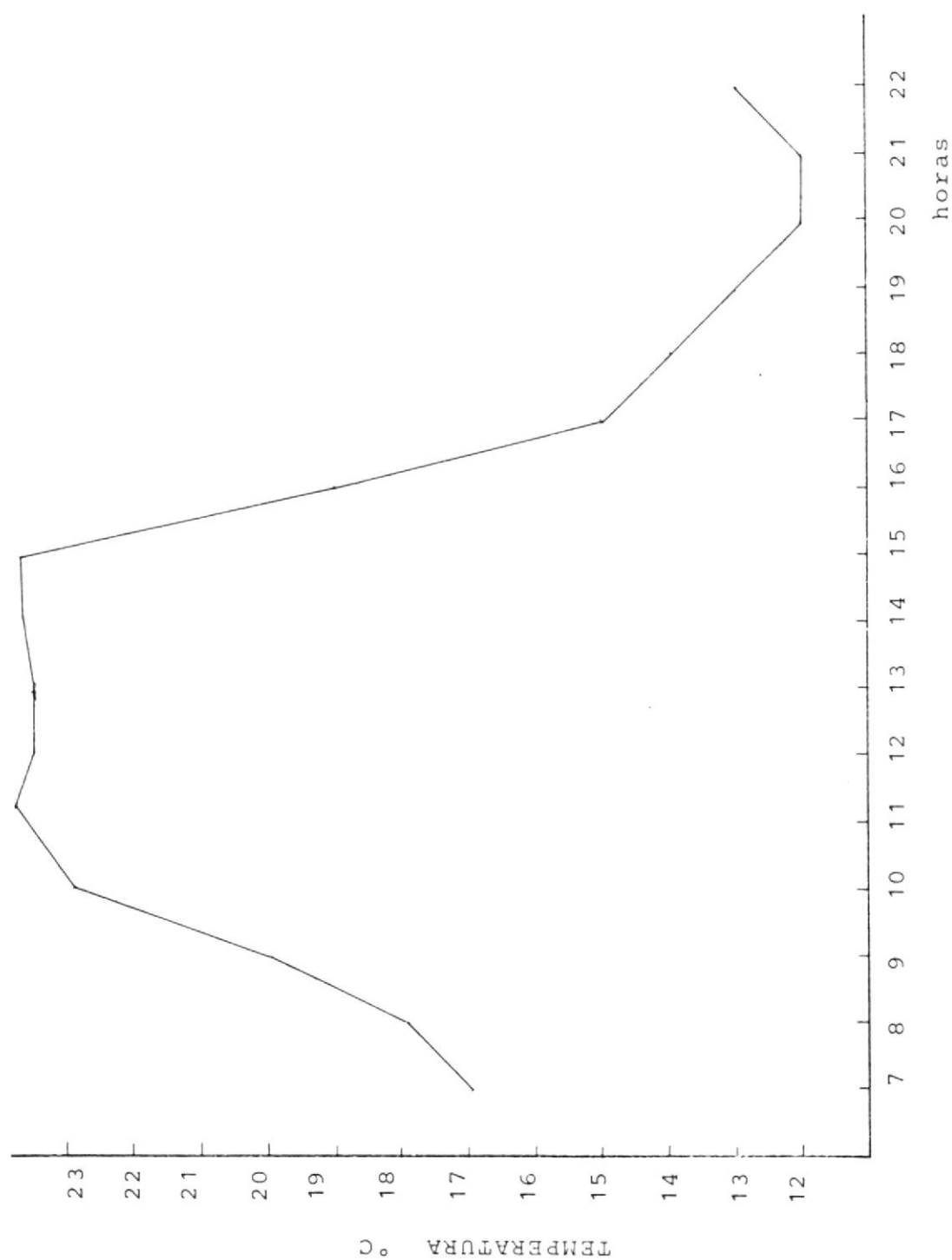
GRF: A2 CONSUMO BIOGAS MES DE OCTUBRE

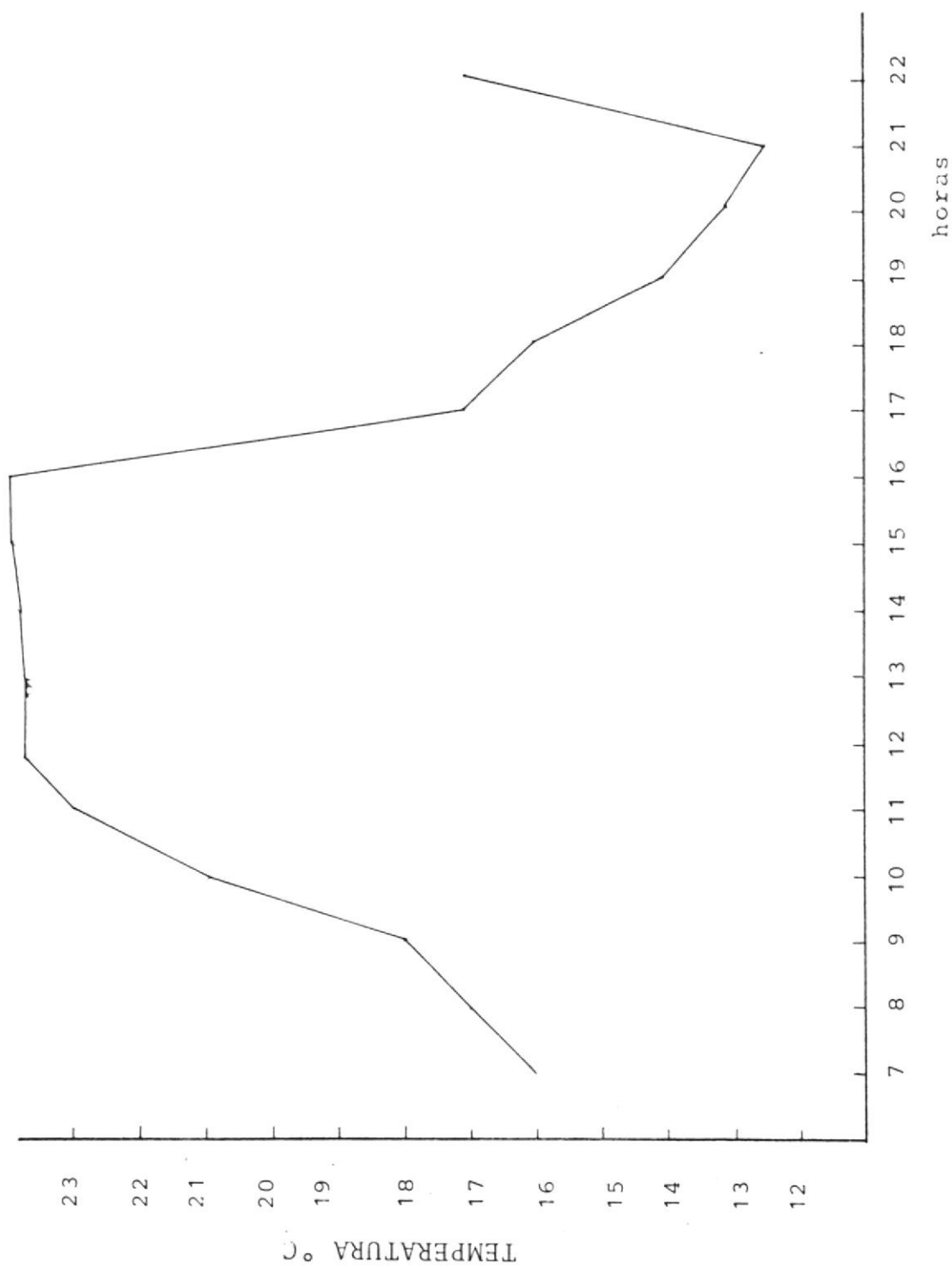


GRF: A3 TEMPERATURA AMBIENTAL HORARIA - 27 DE



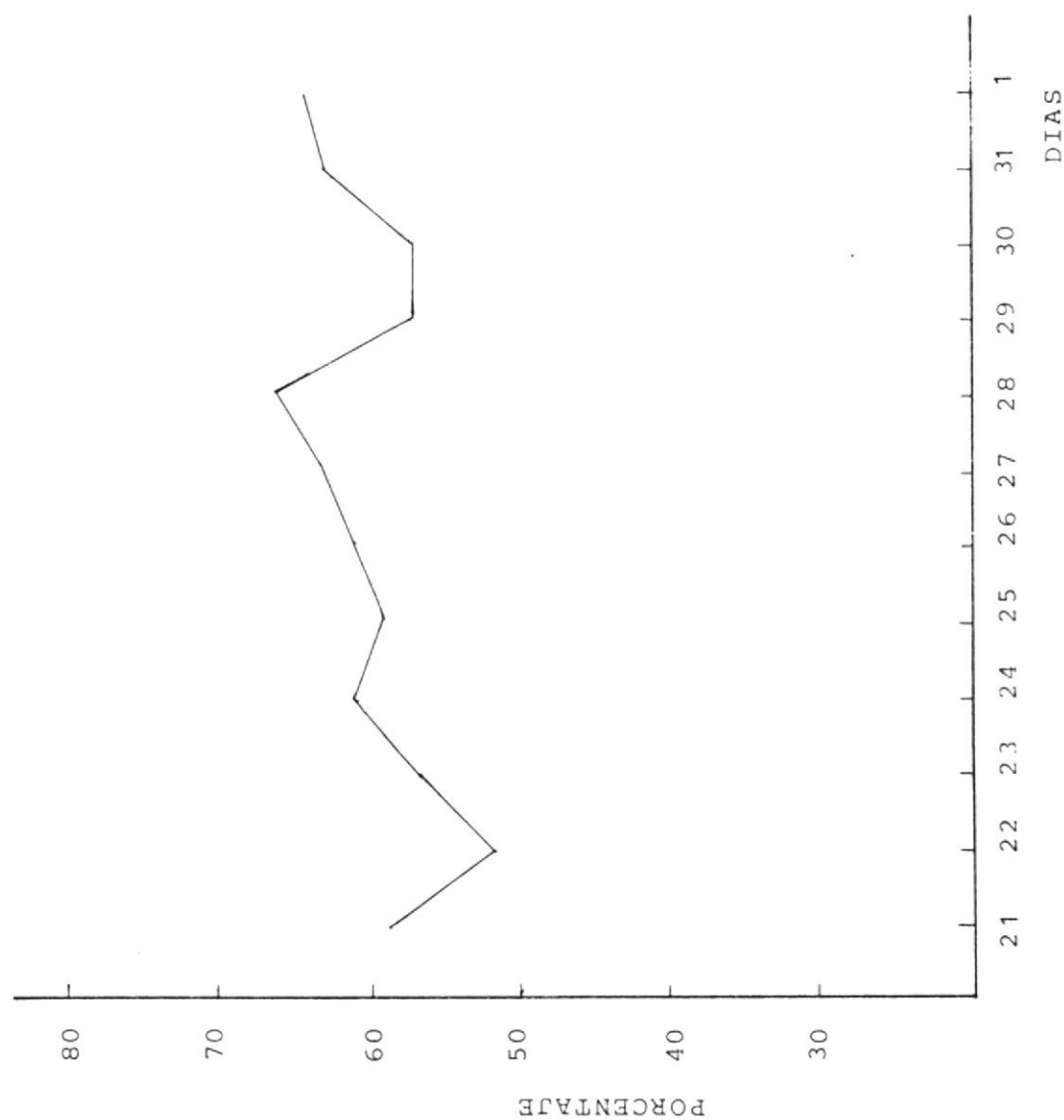
GRF. A3. TEMPERATURA AMBIENTAL HORARIA - 11 DE AGOSTO



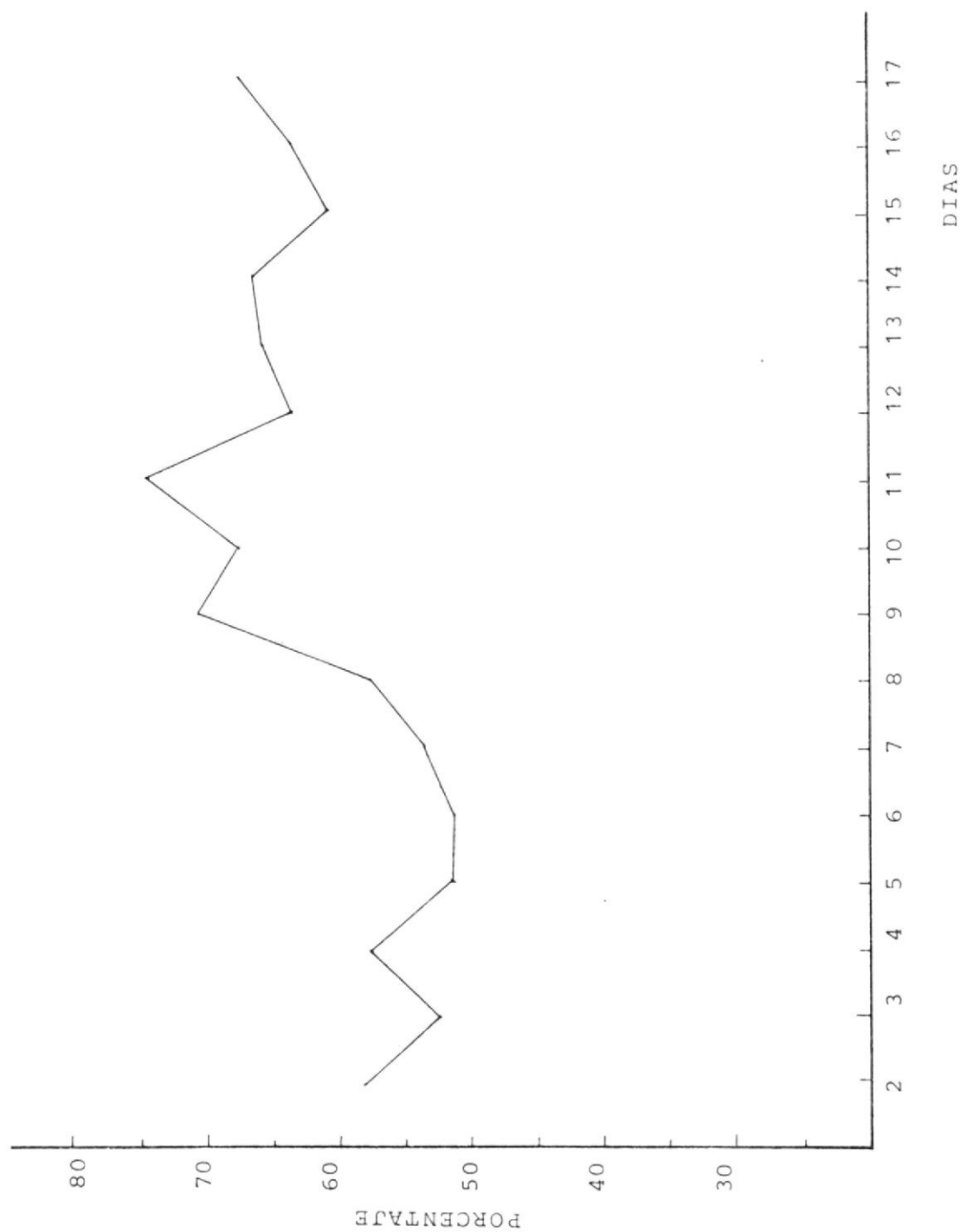


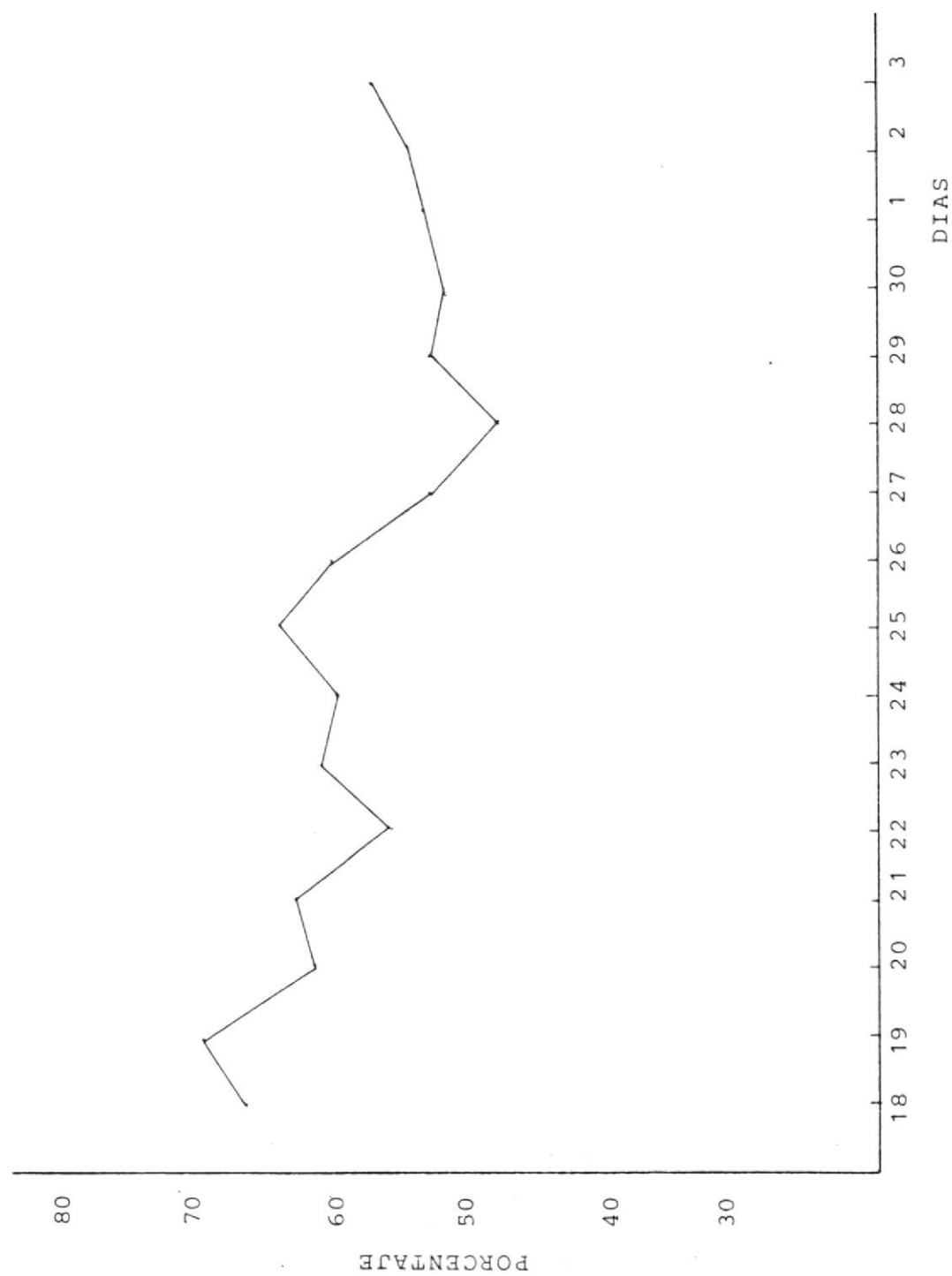
GRF: A3 TEMPERATURA AMBIENTAL HORARIA - 18 DE AGOSTO

GRF.A4 % HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DIARIO . MES DE AGOSTO

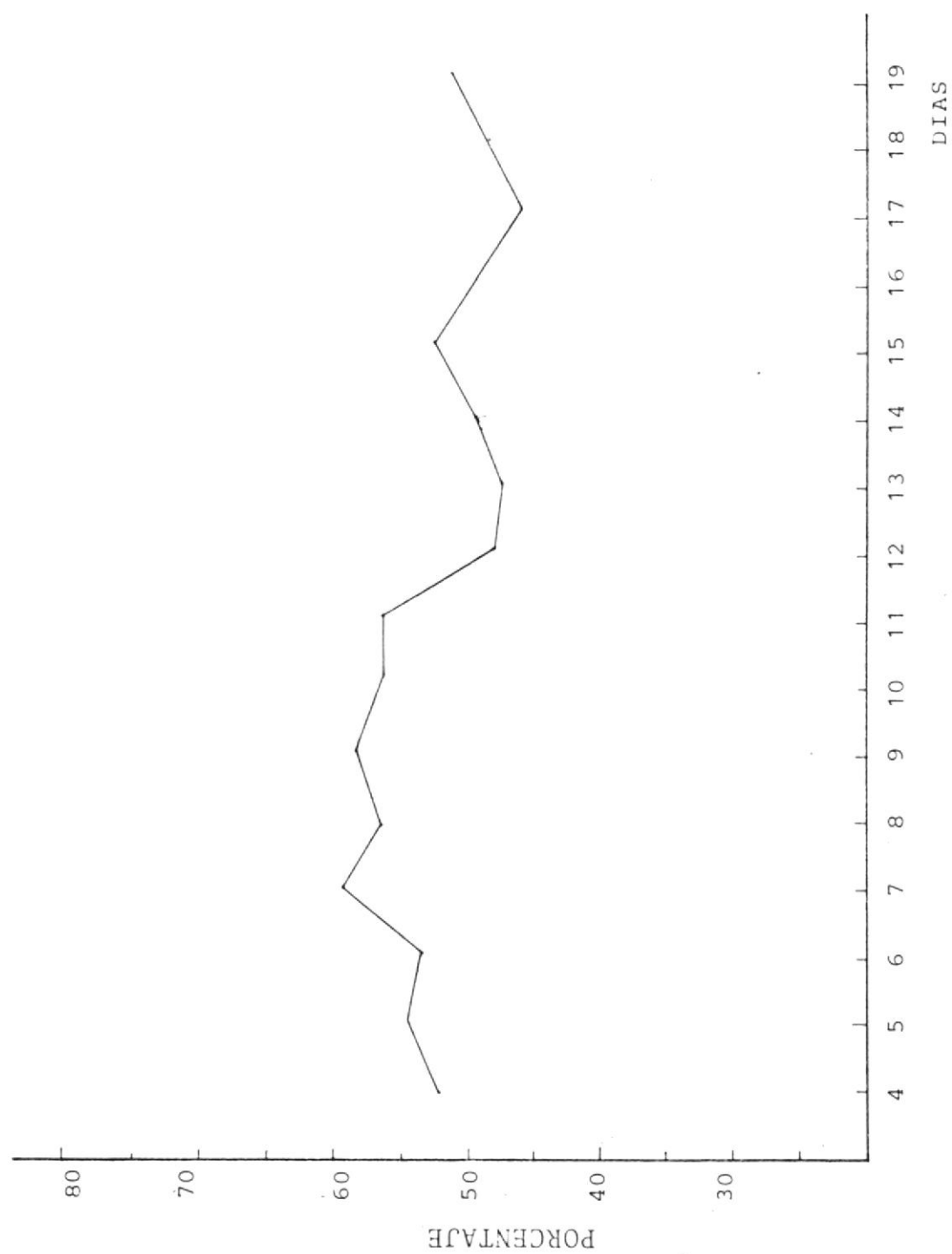


GRF: A4 % HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DIARIO, MES DE SEPTIEMBRE

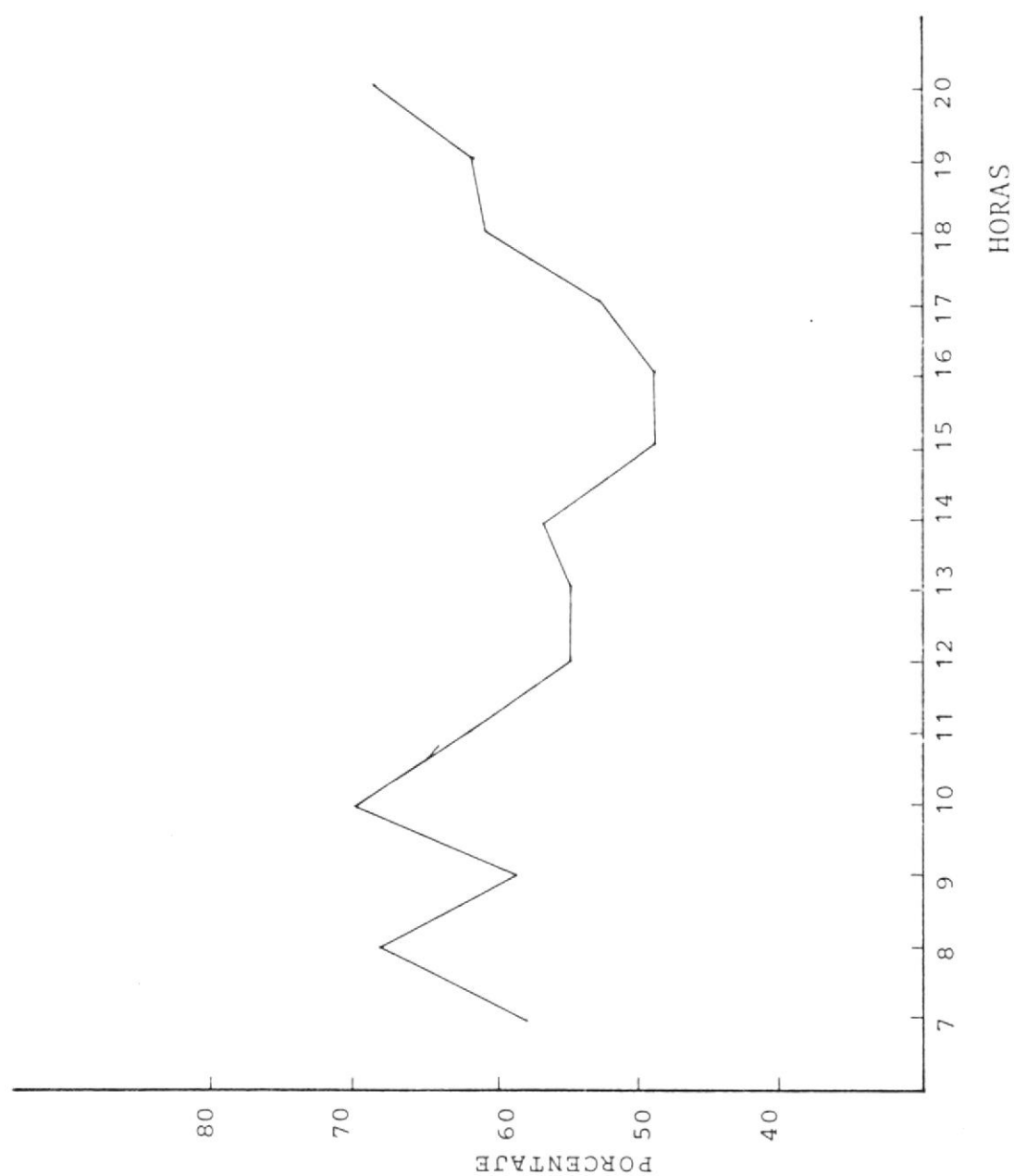


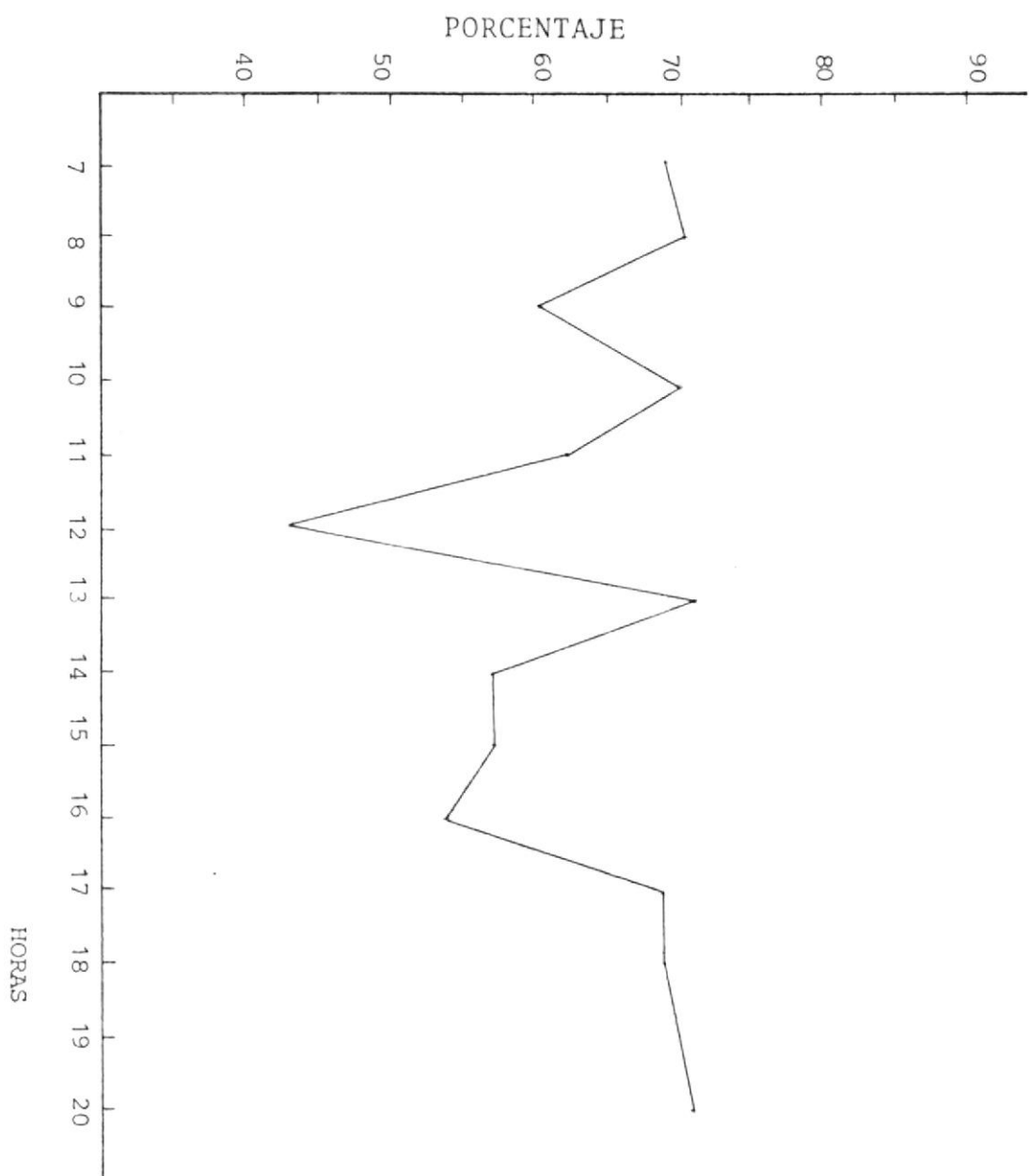


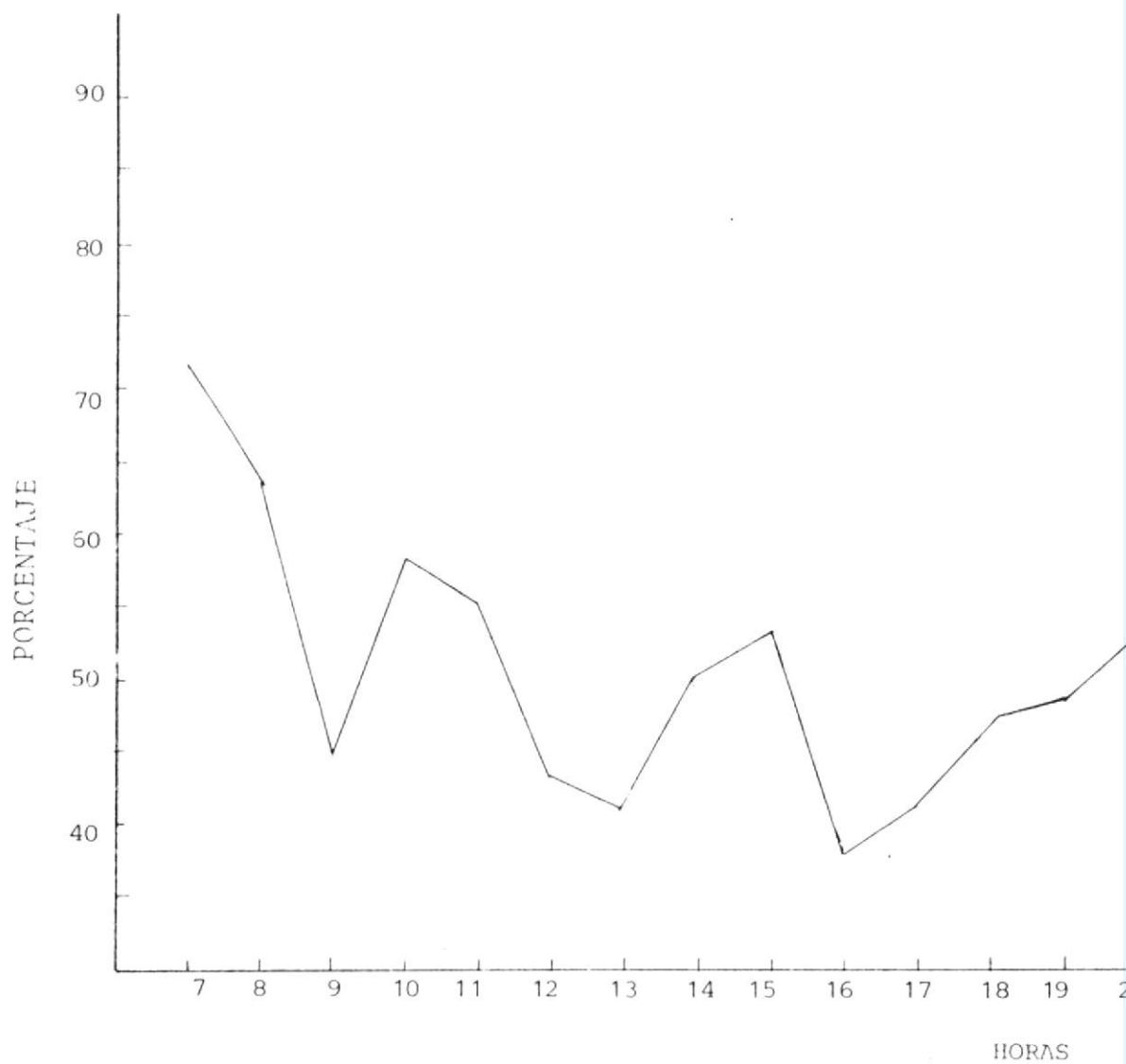
GRF. A4 % HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DIARIO MES DE SEPTIEMBRE



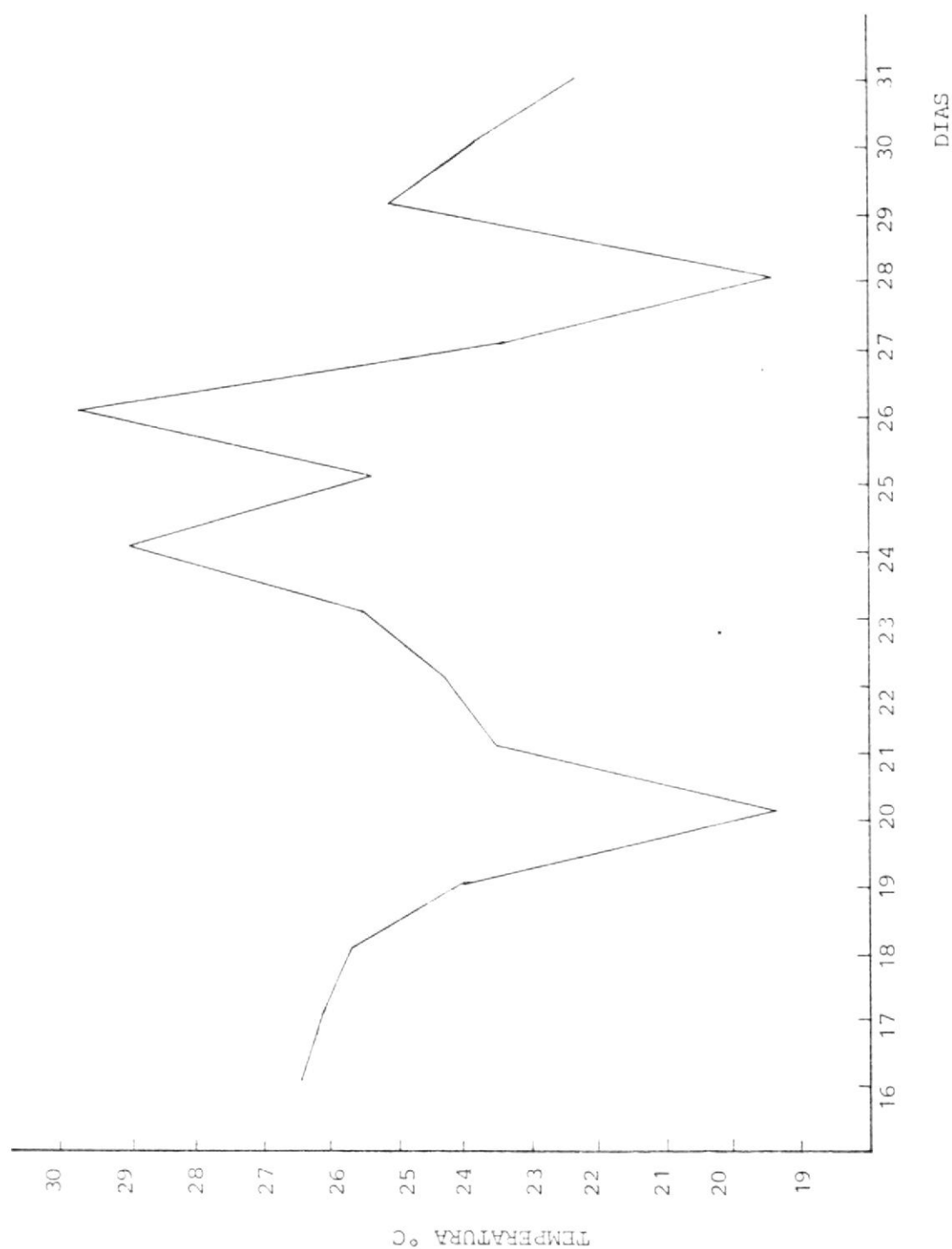
GRF: A4 % HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO DIARIO MES DE OCTUBRE



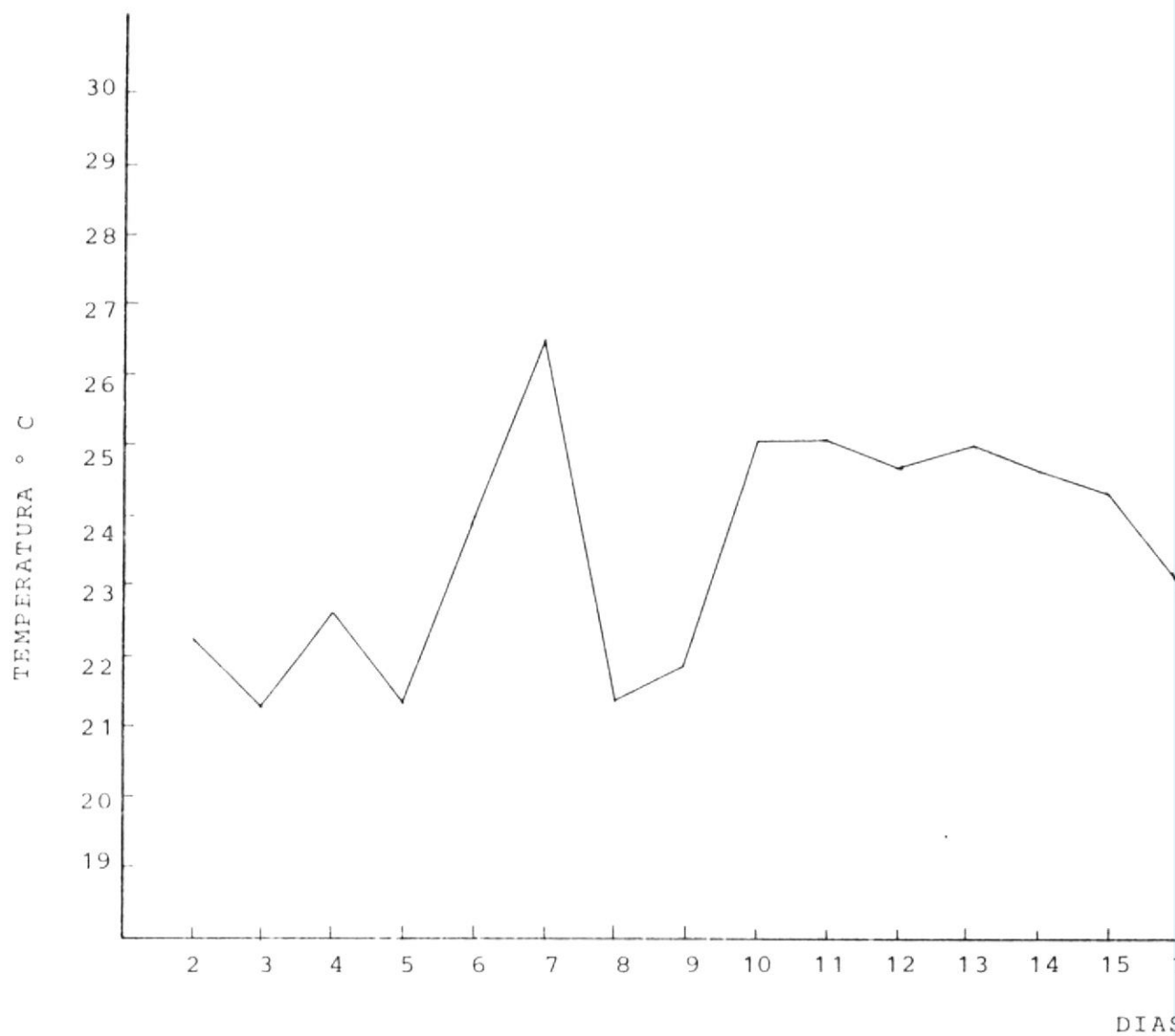




GRF. A5 % Hr. HORARIA - 5 DE OCTUBRE

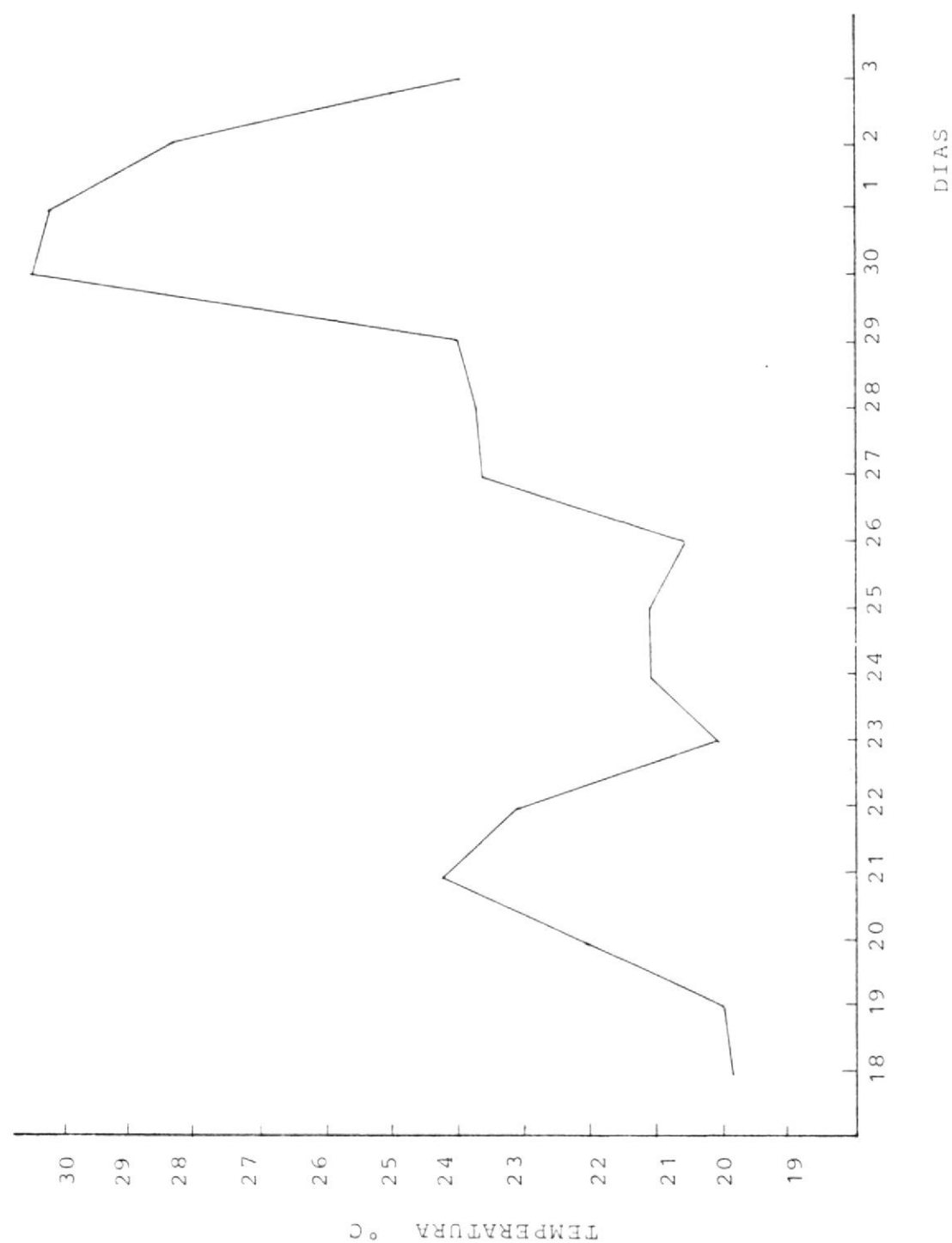


GRF. A6. TEMPERATURA SUELO, PROMEDIO DIARIO MES DE AGOSTO



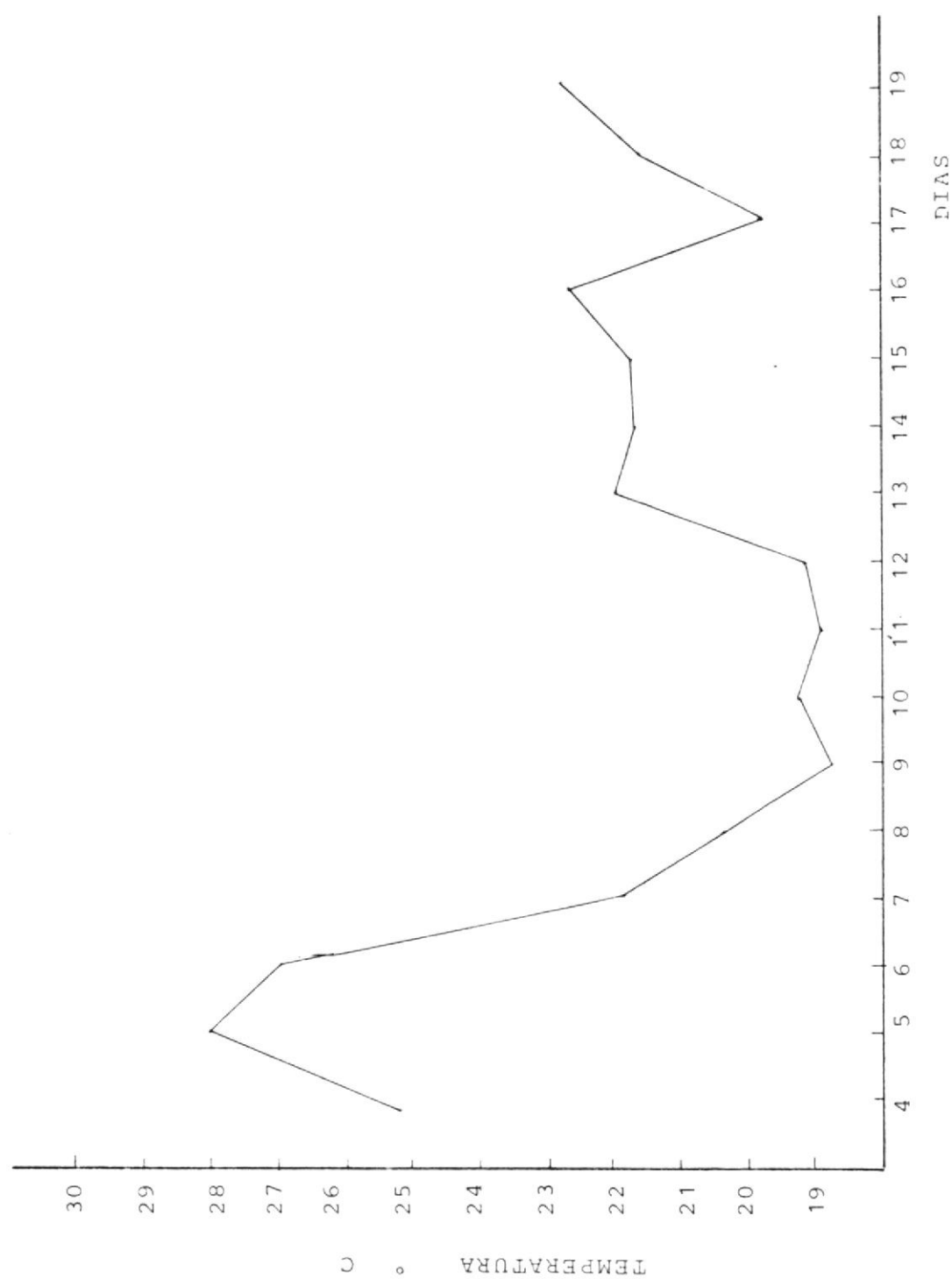
GRF:A6.

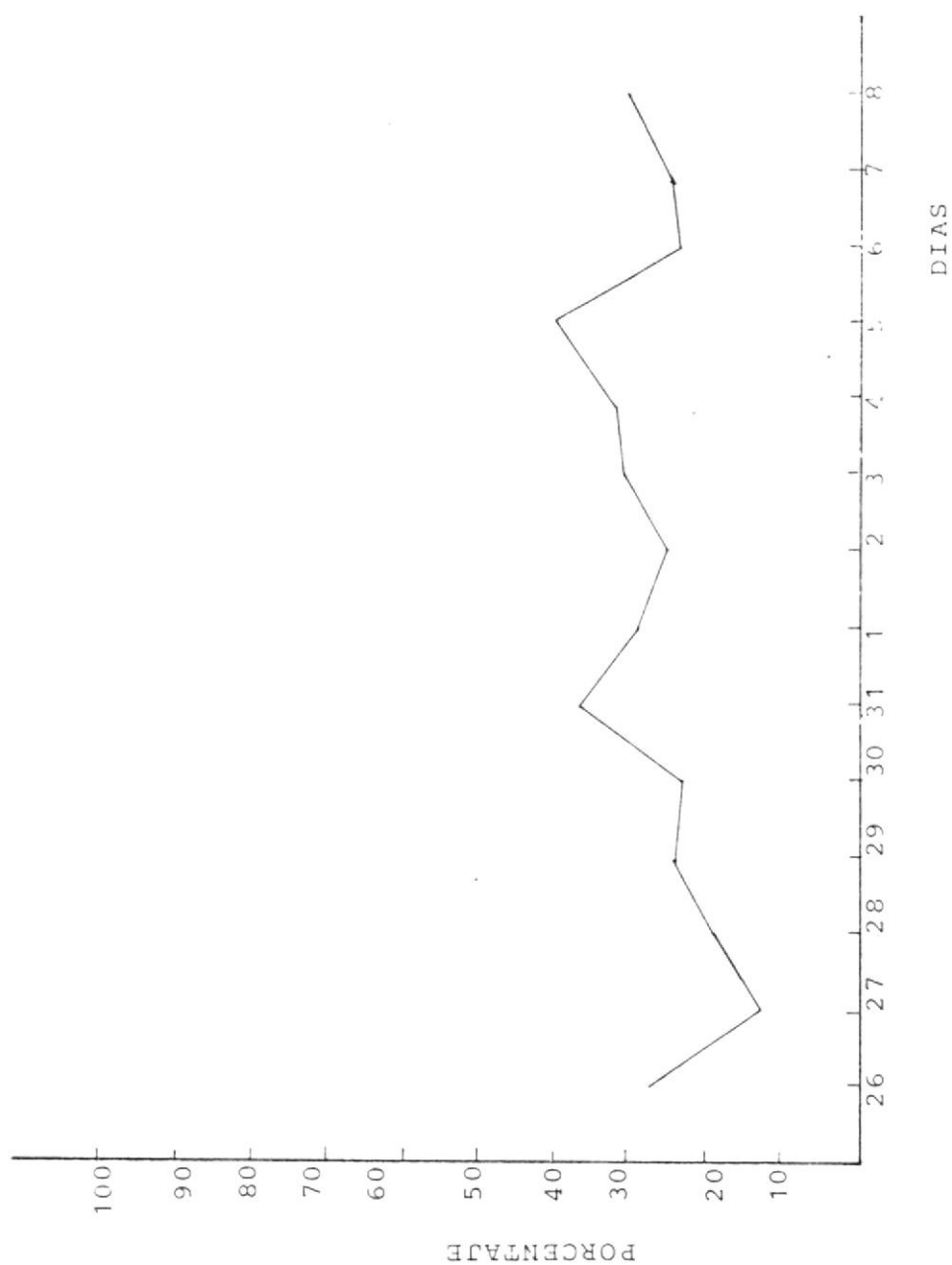
TEMPERATURA SUELO, PROMEDIO DIARIO, MES DE



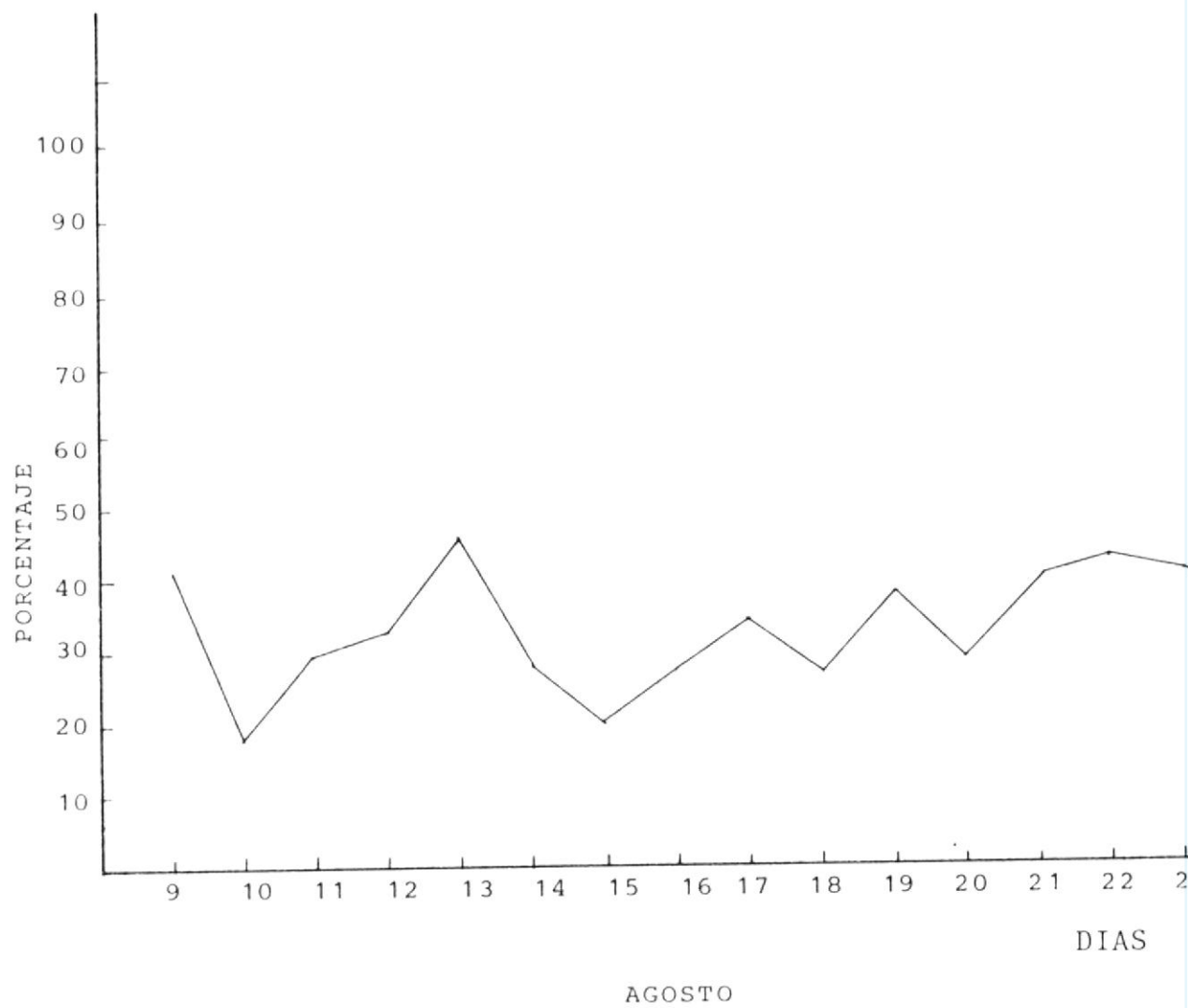
GRF. A6. TEMPERATURA SUELO, PROMEDIO DIARIO, SEPTIEMBRE

GRF: A.6. TEMPERATURA, SUELO, PROMEDIO DIARIO, MES DE OCTUBRE

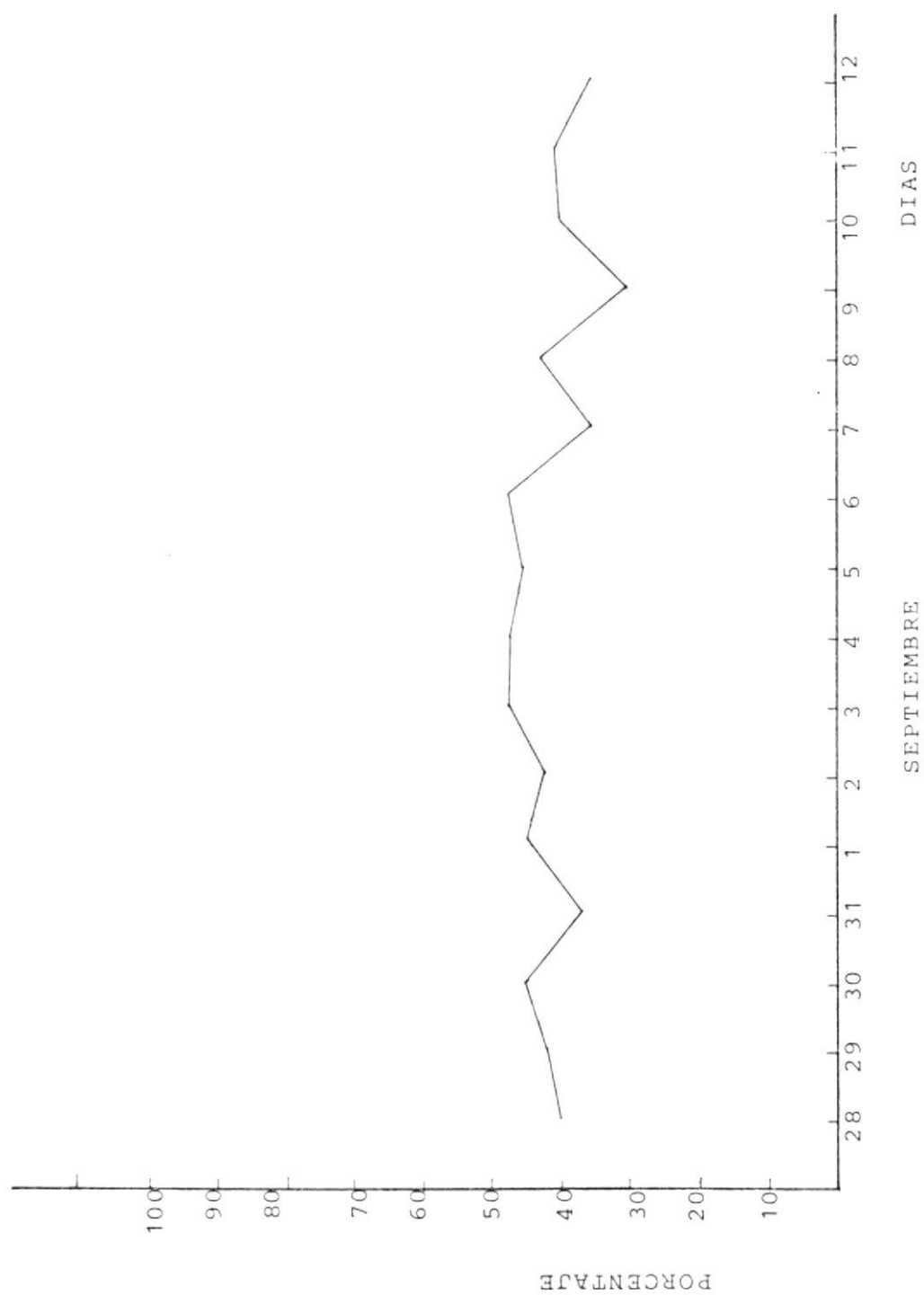




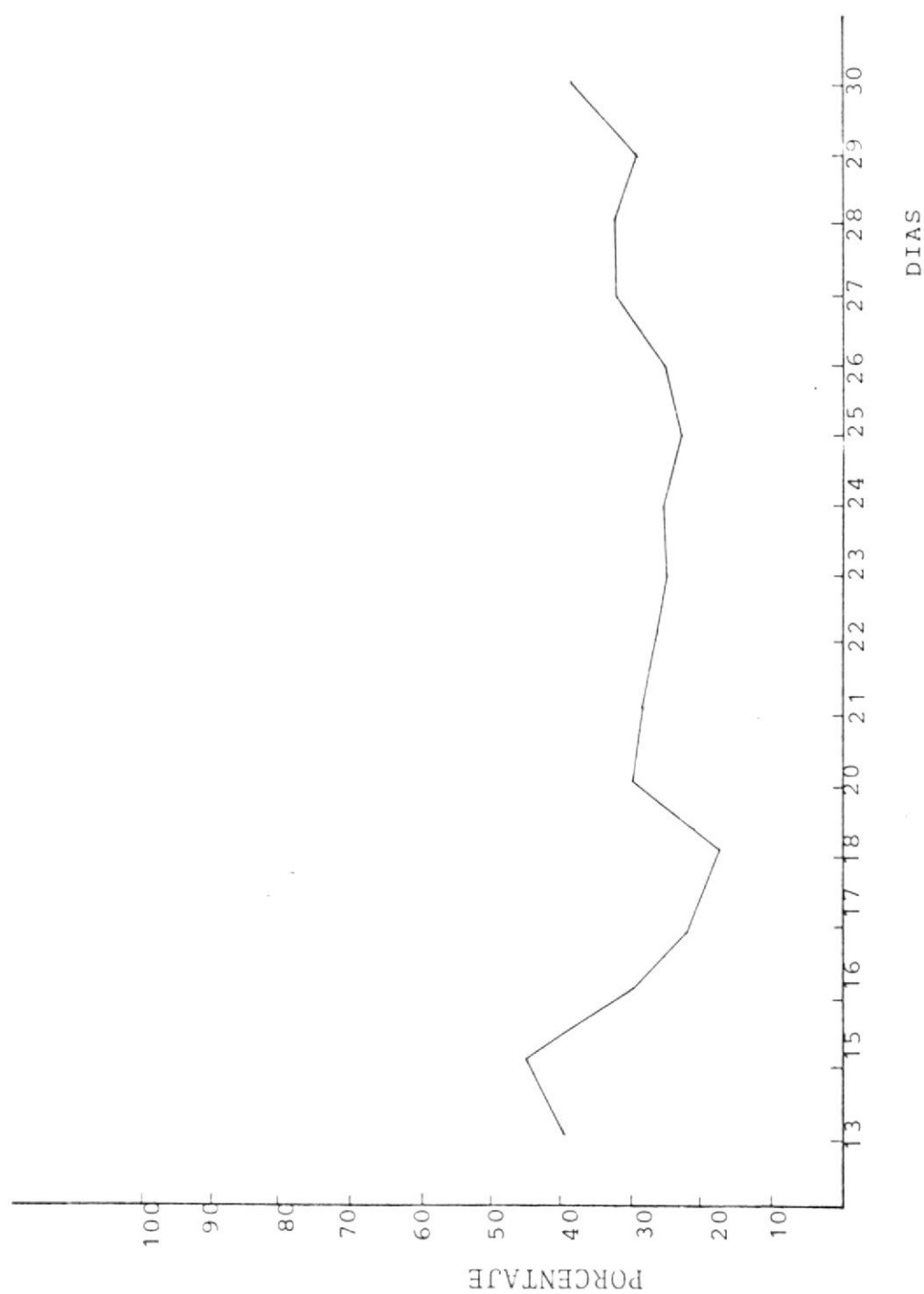
JULIO - AGOSTO
 GRAF.:A7. EFICIENCIA DEL CALENTADOR SOLAR



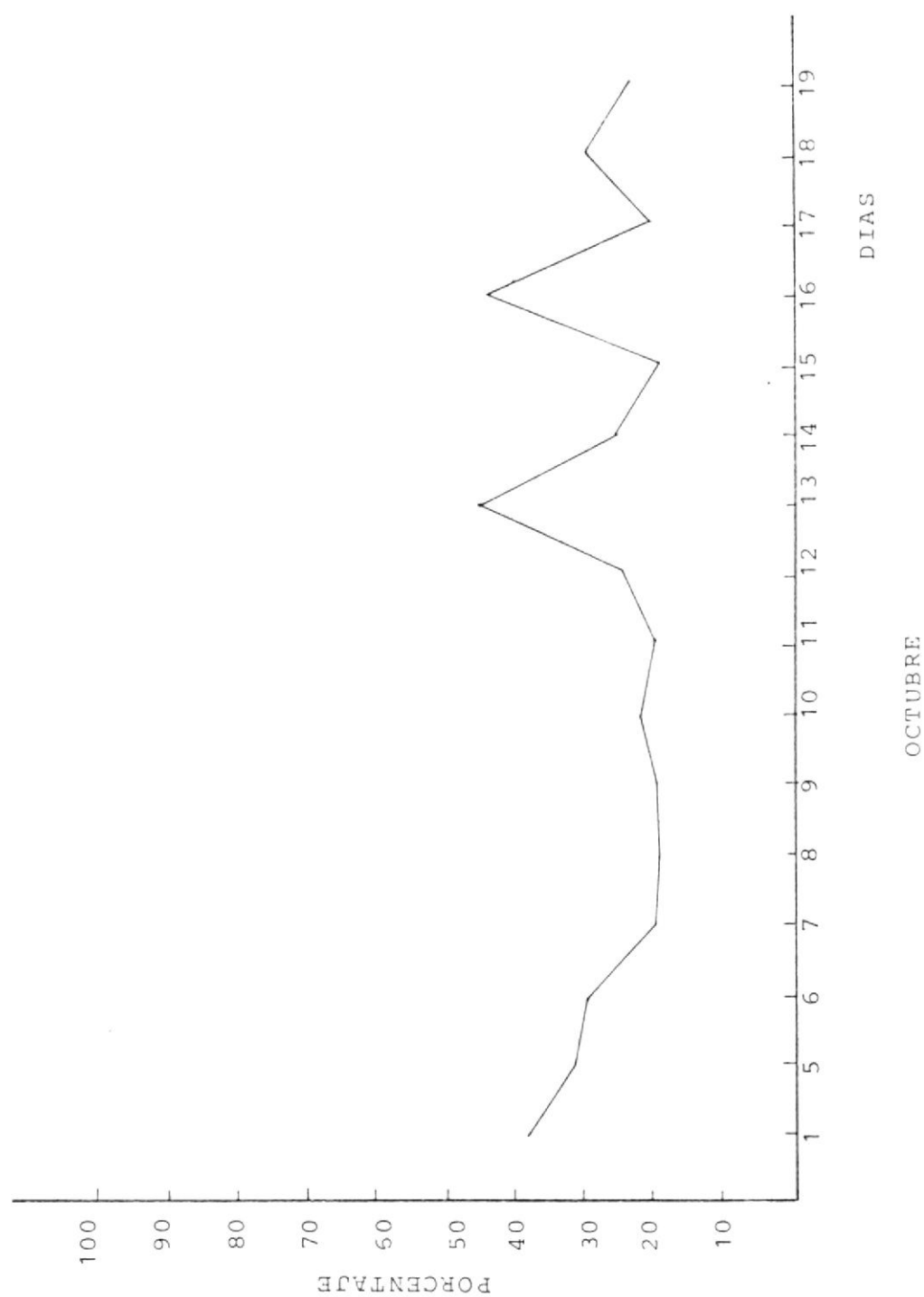
GRF: A7. EFICIENCIA DEL CALENTADOR SOLAR

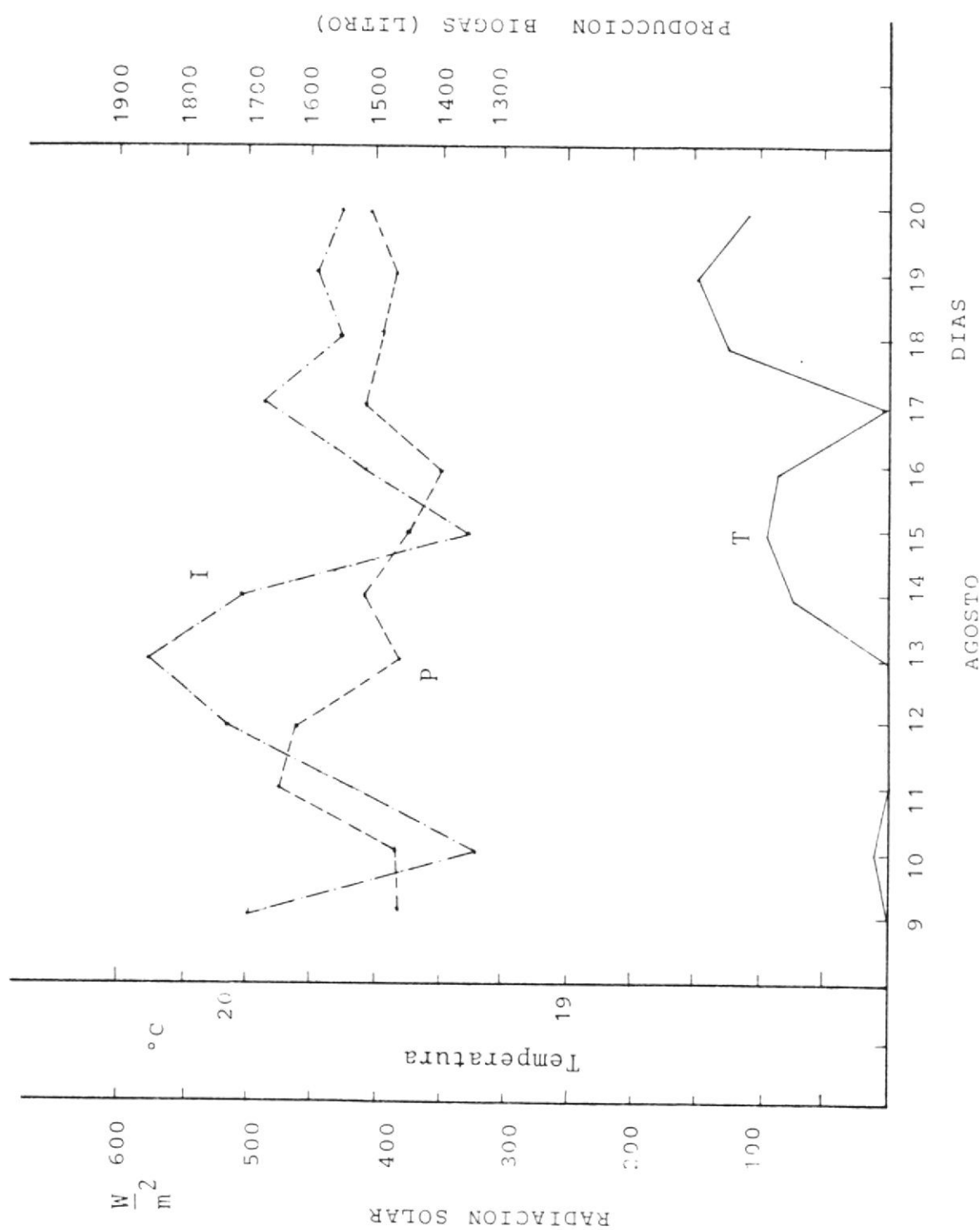


GRAF. A7. EFICIENCIA DEL CALENTADOR SOLAR

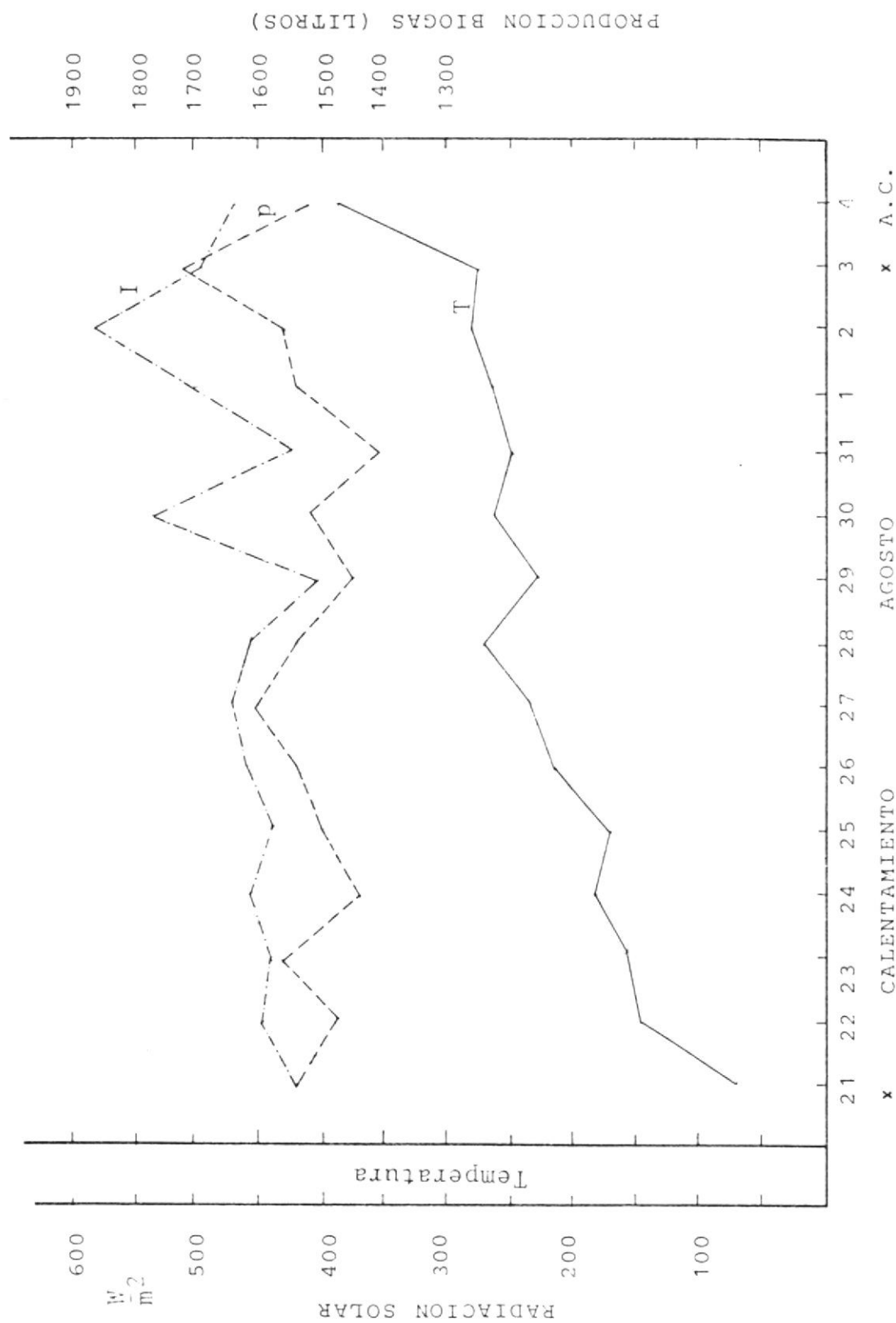


GRAF: A7. EFICIENCIA DEL CALENTADOR SOLAR
SEPTIEMBRE

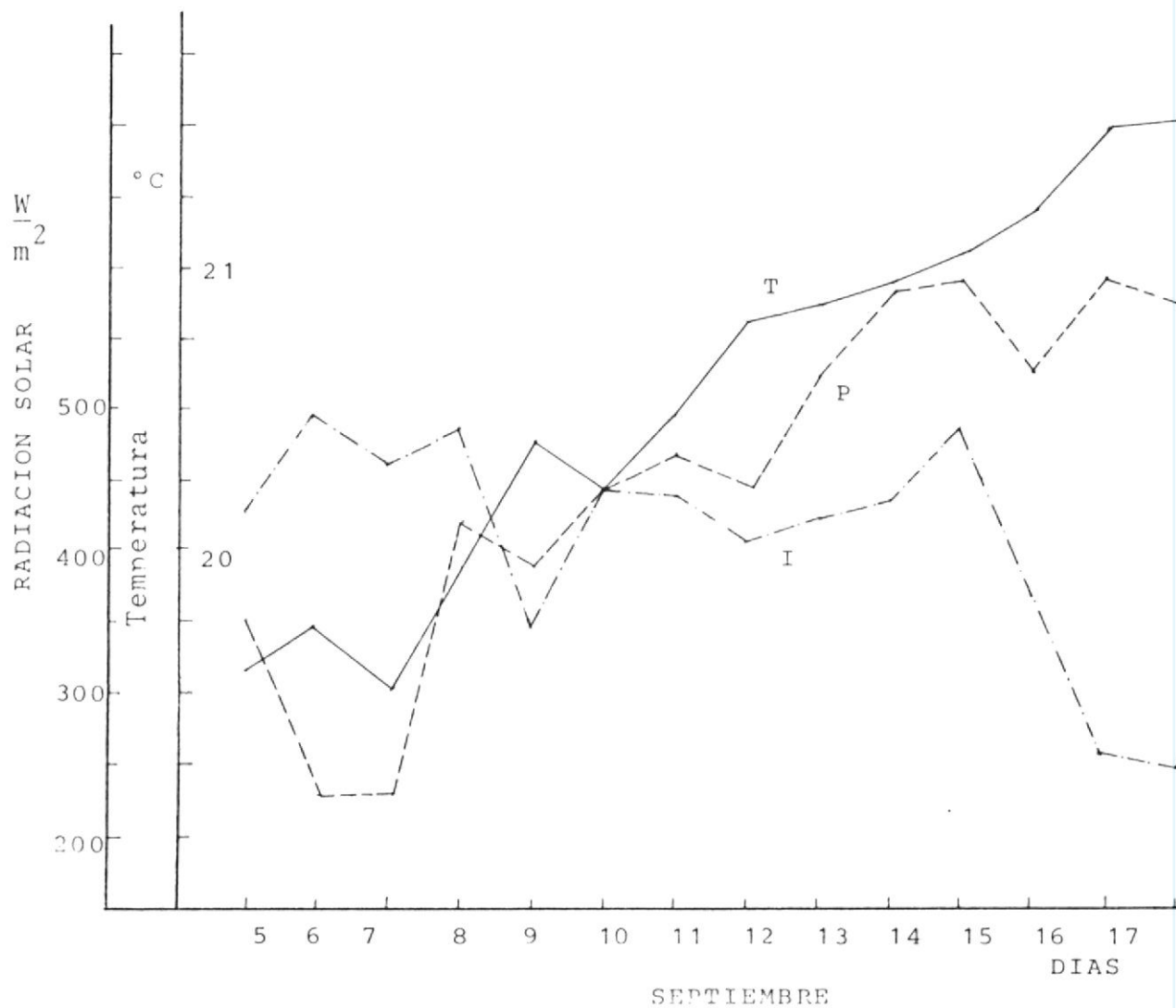




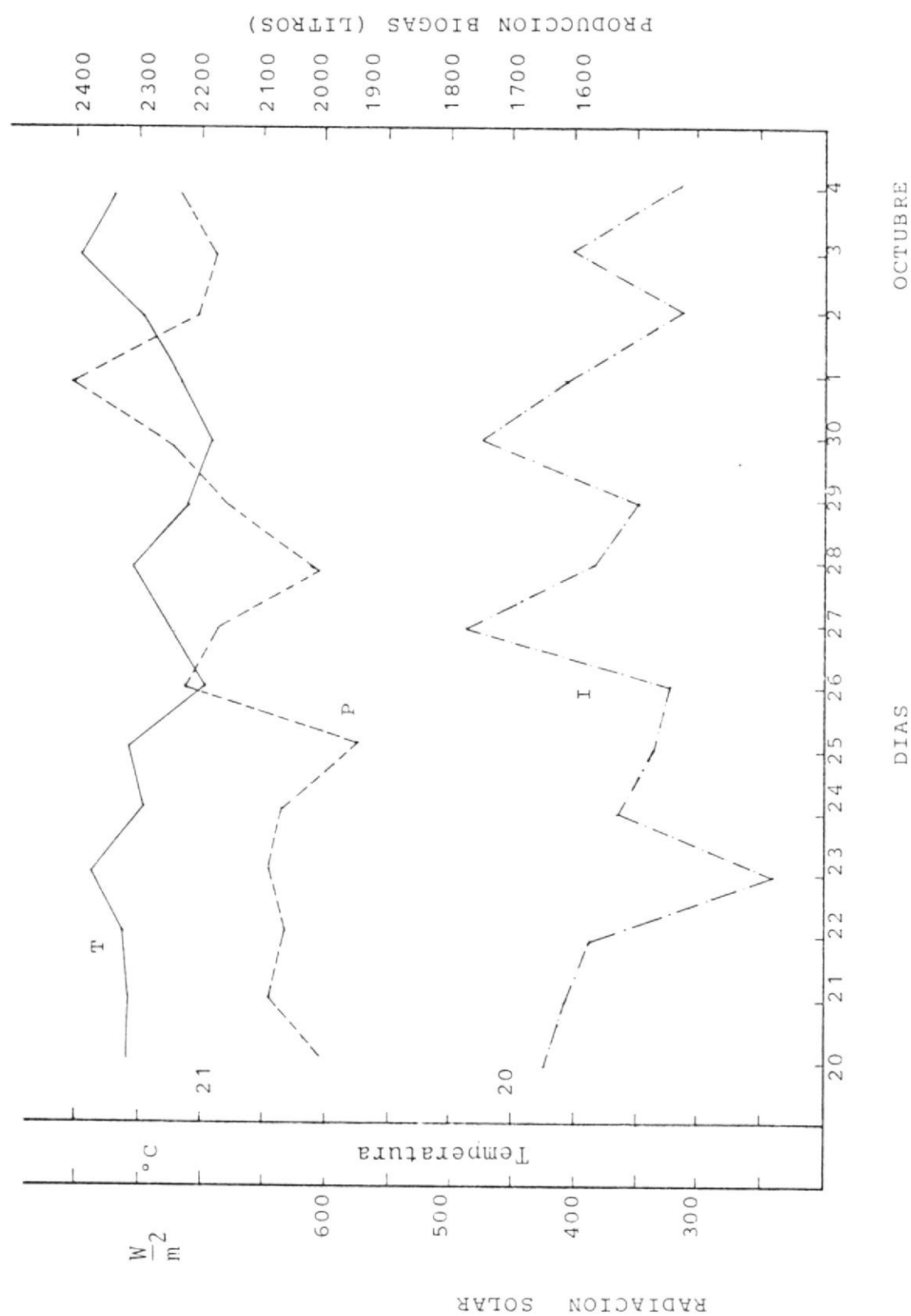
GRAF. A8. PRODUCCION B, RADIACION S, TEMPERATURA D.



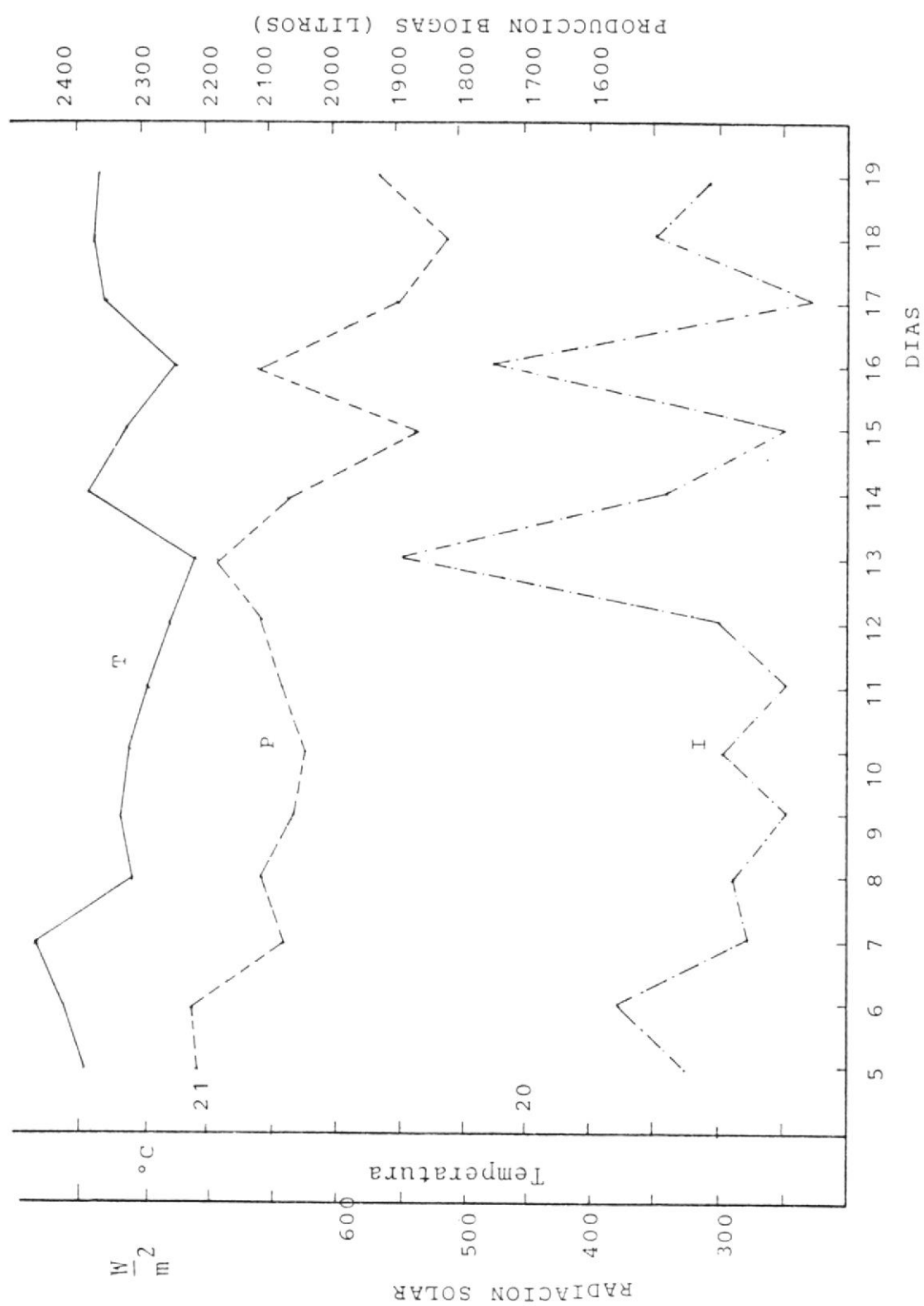
GRF.A8. PRODUCCION B, RADIACION S, TEMPERATURA D.



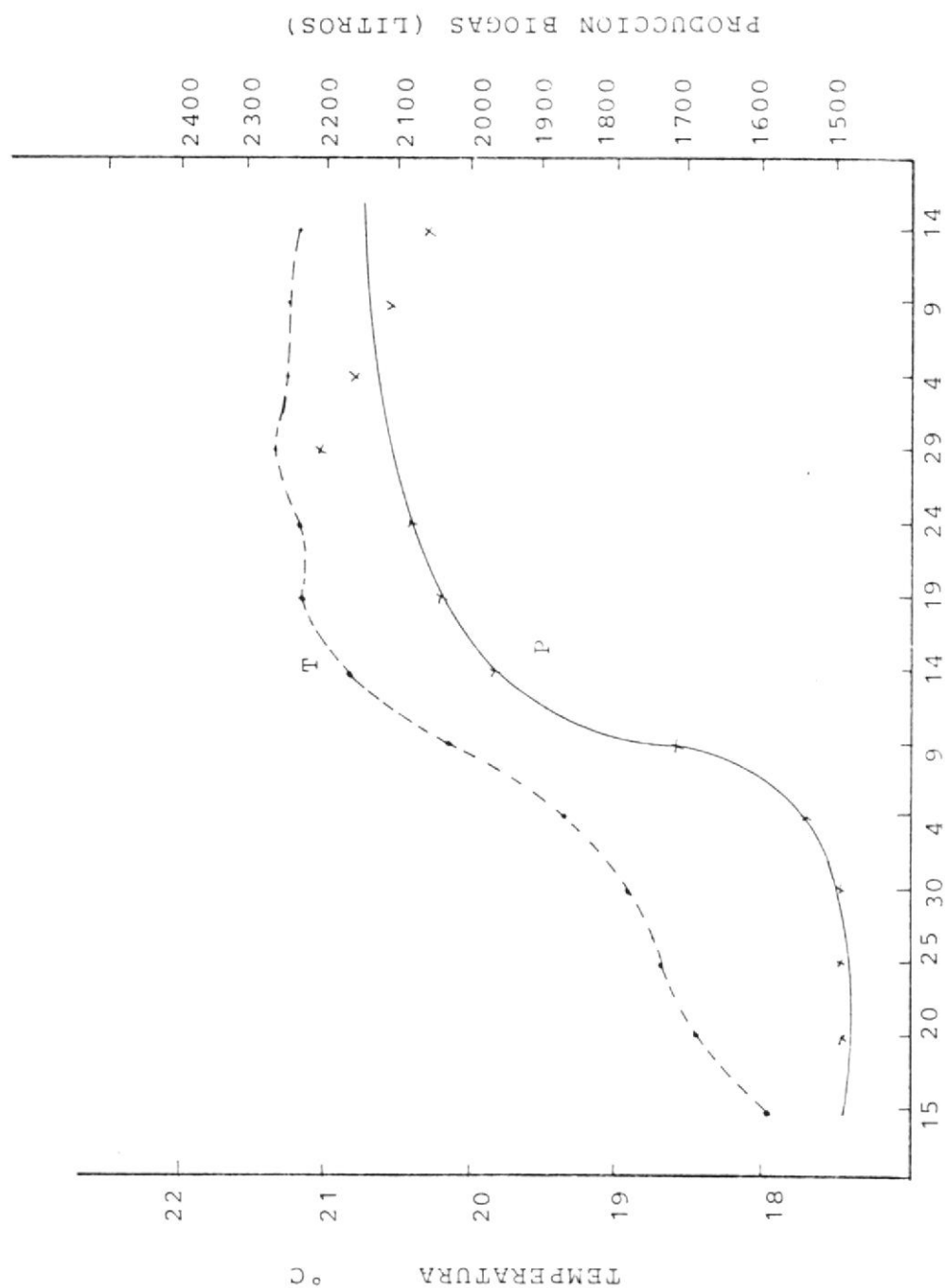
GRF. A8. PRODUCCION B, RADIACION S, TEMPERATURA D.



GRAF. A8. PRODUCCION B, RADIACION S, TEMPERATURA D.



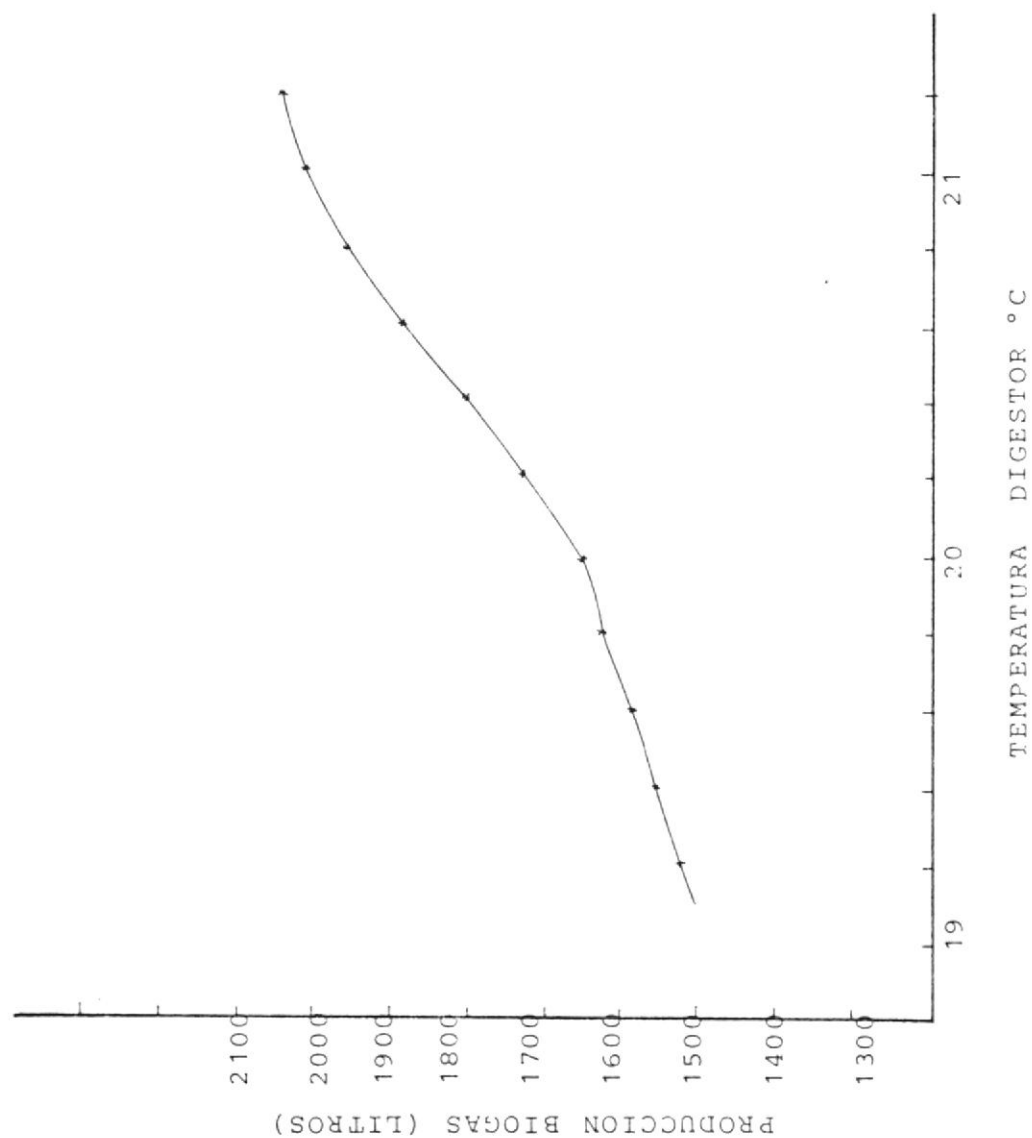
GRAF. A8. PRODUCCION B, RADIACION S, TEMPERATURA D.



AGOSTO - SEPTIEMBRE - OCTUBRE

GRF.A9 TEMPERATURA DIGESTOR Y PRODUCCION BIOGAS





GRF.A10. PRODUCCION BIOGAS Vs. TEMPERATURA DIGESTOR

TABLA B.1

PRODUCCION DE BIOGAS (LITROS)

DIA	P	DIA	P	DIA	P
<u>Julio</u>		<u>Julio</u>		<u>Agosto</u>	
13	1472	29	1110	14	1518
14	883	30	1305	15	1449
15	1410	31	1390	16	1403
		<u>Agosto</u>			
16	976	1	950	17	1518
17	1100	2	1230	18	1495
18	1230	3	1150	19	1480
19	1320	4	1587	20	1518
20	990	5	1173	21*	1541
21	1035	6	1189	22	1480
22	1240	7	1621	23	1564
23	880	8	1495	24	1441
24	1354	9	1472	25	1495
25	946	10 x	1472	26	1541
26	1380	11	1656	27	1610
27	1173	12	1633	28	1541
28	1260	13	1472	29	1449

* Inicio del Calentamiento

TABLA B.1
(Continuación)

DIA	P	DIA	P	DIA	P
<u>Agosto</u>		<u>Sept.</u>		<u>Oct.</u>	
30	1518	16	1955	3	2185
31	1403	17	2093	4	2231
<u>Sept.</u>					
1	1541	18	2047	5	2231
2	1564	19	2070	6	2231
3	1725	20	2001	7	2093
4	1518	21	2093	8	2116
5	1610	22	2070	9	2070
6	1357	23	2093	10	2047
7	1357	24	2070	11	2093
8	1748	25	1955	12	2116
9	1679	26	2231	13	2185
10	1794	27	2185	14	2070
11	1840	28	2024	15	1863
12	1794	29	2162	16	2116
13	1955	30	2254	17	1909
		<u>Oct.</u>			
14	2070	1	2415	18	1817
15	2093	2	2208	19	1932

TABLA B.2

TEMPERATURA AMBIENTE Tb°C

DIA	Tb	DIA	Tb	DIA	Tb	DIA	Tb
<u>Jul.</u>							
26	16.1	14	18.3	5	18.2	26	16.1
27	15.2	15	19.8	6	20.2	27	16.5
28	14.5	16	16.9	7	17.1	28	16.2
29	14.7	17	16.5	8	16.6	29	16
30	17.9	18	17.7	9	15.9	30	16.8
						<u>Oct.</u>	
31	17	20	16.2	10	15.7	6	16.3
<u>Ago</u>							
1	14.2	21	19	11	16.5	7	14.8
2	15.3	22	19.2	12	16.9	8	14.7
3	16	23	16.3	13	16.4	9	13.9
4	17.5	24	19.7	15	15.9	10	14.3
5	16.1	27	18.6	16	15.5	11	15.1
6	14.5	28	16.6	17	15.3	12	15.5
7	14.2	29	18.6	18	15.2	13	15.3
8	13.4	30	16.5	20	15.5	14	14.8
9	16.5	31	17	21	16	15	13.9
		<u>Sept.</u>					
10	18.5	1	17.9	22	16.7	16	16.9
11	18.8	2	17.5	23	14.7	17	15
12	16.4	3	18.1	24	16.3	18	14.6
13	18.7	4	16.1	25	15.4	19	14.2

Promedio para 76 días = 16.3°C

TABLA B.3

TEMPERATURA DEL SUBSUELO

DIA: 1 de febrero de 1982						
Hora	1	2	3	4	5	6
8		17.2	18	18.8	19	18
9		18	18	19	19	18
11	20.5	19	18	19	19.2	18.8
13	19.5	19	19	19	19	19.8
15	20.5	19	19	19	19	20.5
17	20.5	19	19.8	19	19	20.5
DIA: 2 de febrero de 1982						
Hora	1	2	3	4	5	6
8	17.2	18.5	17	18.5	19	17
10	17.6	18.8	17	18.6	19	17
12	18.5	19	18	19	19.2	18.8
14	19.5	19	19	19	19.4	20.5
16	20.8	19	20.5	18.8	19	22
18	22	19	21.5	19	19	22.8

TABLA B.4

TEMPERATURAS DEL DIGESTOR Y SUBSUELO °C

DIA	Td	DIA	Td	DIA	Tsb
<u>Agos.</u>					
9	17.75	28	19.1		
10	18.03	29	18.92		
11	17.66	30	19.05		
12	18.	31	19.		
13	18.01	<u>Sept.</u>			
14	18.3	1	19.04		
15	18.38	2	19.13		
16	18.35	3	19.09		
17	17.43	4	19.57		
18	18.52	5	19.67		
19	18.61	6	19.8		
20	18.45	7	19.61		
21*	18.28	8	19.96		
22	18.6	9	20.32		
23	18.62	10	20.17	SEP	
24	18.74	11	20.39	11	21.5
25	18.69	12	20.65	12	21.3
26	18.86	13	20.69	13	21
27	18.94	14	20.75		

TABLA B.4

(Continuación)

DIA	Td	Tsb	DIA	Tb	Tsb
15	20.83	21.6	3	21.4	20.9
16	20.96	19.5	4	21.28	20.76
17	21.19	20.9	5	21.4	20.9
18	21.21	20.7	6	21.47	20.7
19	21.22	20.4	7	21.57	20.9
20	21.22	20.	8	21.24	20.67
21	21.23	20.23	9	21.28	20.37
22	21.24	20.49	10	21.26	19.93
23	21.35	20.63	11	21.2	19.8
24	21.18	20.4	12	21.13	19.7
25	21.23	20.4	13	21.03	19.5
26	21	20.16	14	21.38	19.9
27	21.09	20.06	15	21.26	19.7
28	21.24	20.43	16	21.1	19.3
29	21.06	20.43	17	21.32	19.9
30	20.88	20.3	18	21.36	19.5
<u>Oct.</u>					
1	21.07	20.77	19	21.34	19.7
2	21.18	20.83			

TABLA B.5

TEMPERATURAS PARA CONDUCTIVIDAD DEL SUELO

Las Temperaturas se midieron en los días 20 y 21 de septiembre. °C

HORA	T2	T7	T9	T10	T _∞
21	74.2	23.6	14.2	17.6	20.8
21:30	70.4	23.8	13.2	18	21.2
22	67.8	24.6	13.2	18.6	20.8
22:30	65.8	26	13.8	19.6	20.8
23	63.8	27.2	13.6	19.6	21
1	58	30.8	13.6	19.6	20.8
6	48.2	32.6	12.4	19.2	20.8
7	46.6	32.4	14.2	19	20.4
8	44.8	32.2	15.6	19.6	20.4
9	43.6	31.8	18.8	22	20.8
10	42.6	31.4	17.6	23.8	20.8
11	41.6	30.8	22.2	26.6	20.8
12	40.6	30.2	20.4	30.2	20.8
13	40.2	30	19.2	31.4	21
14	39.6	29.8	23.2	30.6	21
15	39.2	29.8	23.4	30.2	20.8
16	38.6	29.8	23.6	28.8	21
17	38	29.6	23.8	27.8	21
18	37.2	29.6	24	26	20.8
19	36.2	29.6	24.2	24.8	20.8
20	35.8	29.2	20	21	20.8

Las temperaturas promedios son:

$$T2 = 48.25^{\circ}\text{C} = 118.8^{\circ}\text{F}$$

$$T7 = 29.28^{\circ}\text{C} = 84.7^{\circ}\text{F}$$

$$T9 = 18.29^{\circ}\text{C} = 64.9^{\circ}\text{F}$$

$$T10 = 23.48^{\circ}\text{C} = 74.3^{\circ}\text{F}$$

$$T_{\infty} = 20.8^{\circ}\text{C} = 69.4^{\circ}\text{F}$$

TABLA B.6

PERDIDAS DEL CALOR				DEL DIGESTOR (W)			
DIA	Q_k	Q_b	Q_p	DIA	Q_k	Q_b	Q_p
SEP				OCTB.			
11	58	3.2	61.2	1	72	4.	76
12	56	3.1	59.1	2	73	4.	77
13	64	3.5	67.5	3	77	4.2	81.2
14	64	3.5	67.5	4	75	4.1	79.1
15	74	4.1	68.1	5	77	4.2	81.2
16	82	4.5	86.5	6	78	4.1	82.2
17	88	4.9	92.9	7	102	5.6	107.6
18	90	5	97	8	98	5.4	103.4
19	74	4.1	78.1	9	111	6.1	117.1
20	86	4.7	90.7	10	104	5.7	109.7
21	78	4.3	82.3	11	92	5.1	97.1
22	68	3.8	71.8	12	85	4.7	89.
23	100	5.5	105.5	13	86	4.7	90
24	73	4	77	14	99	5.5	100
25	88	4.9	92.9	15	110	6.1	
26	74	4.1	78.1	16	63	3.5	
27	69	3.8	72.8	17	95	5.2	
28	76	4.2	80.2	18	101	5	
29	76	4.2	80.2	19	107		
30	61	3.4	64.4				
					3204		

TABLA B.7

CARGA DE AGUA CALIENTE ALDIGESTOR

DIA	LITROS	Te°C	DIA	LITROS	Te°C
<u>Sept.</u>			<u>Sept.</u>		
3	62	38	14	104	35
4	68	36	15	112	36
5	125	35	16	96	36
6	122	32	17	96	36
7	107	35	18	96	37
8	107	35	19	96	36
9	114	35	20	96	36
10	96	34	21	64	41
11	96	35	22	64	42
12	96	37	23	64	45
13	96	36	24	64	45
			25	64	45

Total = 2105 litros



TABLA B.8

TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA MEZCLA °C

DIA	Te	DIA	Te	DIA	Te
<u>Agosto</u>		<u>Sept.</u>		<u>Sept.</u>	
21	43	10	33	30	41
22	36	11	31	<u>Oct.</u>	
23	32	12	31	1	44
24	35	13	31	2	42
25	31	14	27	3	41
26	30	15	31	4	40
27	33	16	28	5	40
28	33	17	26	6	42
29	34	18	26	7	38
30	35	19	26	8	37
31	30	20	30	9	36
<u>Sept.</u>				10	35
1	34	21	29	11	33
2	37	22	30	12	32
3	33	23	25	13	43
4	31	24	28	14	36
5	32	25	29	15	35
6	32	26	38	16	42
7	29	27	37	17	37
8	30	28	36	18	38
9	30	29	38	19	34

TABLA B.9

CALORES DE ENTRADA, SALIDA, GANADO Y PERDIDOProceso 1

DIA	Qe	Qs	Qg	Qp
<u>Agosto</u>				
21	293	124	108	61
22	245	126	217	-98
23	218	126	13	79
24	239	127	81	31
25	212	127	-34	119
26	204	128	115	-39
27	225	128	54	43
28	225	129	108	-12
29	233	128	-123	228
30	235	129	88	18
31	205	129	-34	110
<u>Sept.</u>				
1	233	129	27	77
2	252	130	61	61
TOTAL				
13 días	3019	1660	681	678

TABLA B.9
(Continuación)

Proceso 2

DIA	Qe	Qea	Qs	Qsa	Qg	Qp
<u>Sept.</u>						
3	224	114	129	57	-27	179
4	209	119	133	64	325	-194
5	218	212	133	119	68	110
6	217	189	134	117	88	67
7	197	181	133	102	-129	272
8	203	181	135	103	237	-91
9	203	193	138	112	244	-98
10	224	158	137	94	-102	253
11	207	163	138	95	149	-12
12	210	172	140	96	176	-30
13	209	167	140	96	27	113
14	180	176	141	104	41	70
15	207	195	141	113	54	94
16	191	167	142	97	88	31
17	175	167	144	98	156	-56
18	178	172	144	99	14	93
19	176	167	144	99	7	93
20	201	167	144	99	7	125
21	197	127	144	66	7	107
22	203	130	144	66	7	116
23	169	139	145	66	75	22
24	188	139	144	66	-115	232
25	195	139	144	66	34	90
TOTAL	4581	3733	3211	2094		
23 días	8314		5305		1424	1585

TABLA B.9
(Continuación)

Proceso 3

DIA	Qe	Qs	Qg	Qp
<u>Sept.</u>				
26	258	142	-156	272
27	244	143	61	40
28	244	144	102	-2
29	258	143	-122	237
30	275	141	-169	303
<u>Oct.</u>				
1	296	143	176	-23
2	286	144	75	67
3	277	145	149	-17
4	273	144	-81	210
5	269	145	81	43
6	283	146	47	90
7	259	146	68	45
8	248	144	-224	238
9	244	144	27	73
10	240	144	-13	109
11	224	144	-41	121
12	218	143	-47	122
13	289	143	-68	214
14	241	145	237	-141
15	237	144	-81	174
16	286	143	-108	251
17	248	145	149	-46
18	258	145	27	86
19	231	145	-13	99
TOTAL				
24 días	6176	3455	76	2645

TABLA B.10

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL TANQUE Tt
Y TEMPERATURA DEL AGUA Ta °C

DIA	Tt	Ta	DIA	Tt	Ta	DIA	Tt	Ta
<u>Jul.</u>			<u>Ago.</u>			<u>Sept.</u>		
26	46	32	15	49	34	6	64	31
27	40	30	16	57	33	7	43	33
28	43	29	17	58	35	8	58	30
29	47	29	18	54	35	9	44	25
30	48	28	20	57	39	10	55	27
31	51	36	21	65	35	11	56	28
<u>Ago.</u>								
1	52	36	22	61	31	12	53	29
2	46	34	23	47	26	13	54	26
3	54	36	24	60	32	15	56	28
4	37	37	27	57	34	16	48	27
5	59	30	28	34	34	17	41	23
6	50	33	28	54	26	18	41	24
7	51	31	30	54	32	20	49	28
8	60	32	31	51	30	21	46	28
9	46	31	<u>Sept.</u>					
10	56	33	1	55	31	22	47	28
11	57	35	2	59	39	23	33	22
12	68	38	3	58	29	24	46	26
13	51	37	4	49	26	25	41	25
14	60	42	5	62	26	26	48	26



TABLA B.11

TEMPERATURAS DE TANQUE, AGUA Y CUBIERTA

DIA	Tt	Ta	Tc
<u>Sept.</u>			
27	50	28	35
28	53	28	37
29	46	26	33
30	61	31	41
<u>Oct.</u>			
6	48	28	34
7	40	26	28
8	47	26	27
9	41	23	31
10	45	25	36
11	43	24	34
12	40	24	28
13	57	32	44
14	43	27	34
15	41	24	33
16	59	29	42
17	35	24	27
18	41	26	31
19	41	25	27

TABLA B.12

PERDIDAS DEL CALENTADOR SOLAR (W)

DIA	Qp	DIA	Qp	DIA	Qp	DIA	Qp
<u>Jul.</u>		<u>Ago.</u>		<u>Sept.</u>		<u>Sept.</u>	
26	127	15	111	6	86	27	94
27	119	16	126	7	123	28	90
28	111	17	147	8	107	29	82
29	111	18	139	9	74	30	115
30	78	20	176	10	90	--	--
31	147	21	126	11	86	--	--
<u>Ago.</u>						<u>Oct.</u>	
1	172	22	90	12	98	6	94
2	147	23	78	13	78	7	86
3	156	24	98	15	94	8	90
4	152	27	126	16	86	9	74
5	111	28	94	17	61	10	82
6	147	29	53	18	79	11	66
7	135	30	119	20	94	12	66
8	143	31	102	21	90	13	127
		<u>Sept.</u>					
9	119	1	107	22	86	14	94
10	115	2	164	23	57	15	78
11	127	3	90	24	78	16	94
12	168	4	74	25	78	17	70
13	147	5	57	26	78	18	86
14	188					19	82

TABLA B.13

TEMPERATURAS INICIAL, FINAL Y CALOR GANADO
PARA EL AGUA DEL CALENTADOR, °C, W

DIA	Tai	Taf	Qg	DIA	Tai	Taf	Qg
<u>Jul.</u>				<u>Ago.</u>			
26	26	42	118	13	27	54	200
27	27	35	59	14	31	47	118
28	23	35	89	15	29	41	89
29	22	37	111	16	26	42	118
30	24	37	96	17	27	47	148
31	26	46	148	18	29	45	118
<u>Ago.</u>				20	27	38	81
1	29	46	126	21	29	46	126
2	28	43	111	22	20	44	178
3	26	45	141	23	16	41	185
4	28	47	141	24	20	44	178
5	21	45	178	27	20	41	155
6	27	41	104	28	17	41	178
7	25	40	111	29	17	42	185
8	24	42	133	30	18	45	200
9	20	44	178	31	20	40	148
10	29	39	74	<u>Sept.</u>			
11	27	44	126	1	17	43	192
12	28	47	141	2	22	47	185

TABLA B.13
(Continuación)

DIA	Tai	Taf	Qg	DIA	Tai	Taf	Qg
<u>Sept.</u>							
3 *	17	45	207	27	19	38	141
4	16	44	207	28	18	37	141
5	14	41	200	29	19	36	126
6	17	45	207	30	20	43	170
7	20	41	155	<u>Oct.</u>			
8	17	42	185	1	20	43	170
9	16	34	133	5	20	39	141
10	16	40	178	6	20	38	133
11	16	40	178	7	20	31	81
12	20	40	148	8	21	32	81
13	16	40	178	9	19	29	74
15	16	43	200	10	18	31	96
16	17	35	133	11	19	30	81
17	17	30	96	12	18	33	111
18	19	30	81	13	18	45	200
20	18	36	133	14	19	34	111
21	19	36	126	15	18	28	74
22	20	36	118	16	18	44	192
23 *	19	27	59	17	19	28	67
24	19	34	111	18	18	35	126
25	19	32	96	19	18	32	104
26	19	34	111				

TABLA B.14

CALCULO DE (T_α) e

HORA	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14
w	52.5	37.5	22.5	7.5	-7.5	-22.5	-37.5
$\cos \theta_h$	.598	.7809	.9102	.9772	.9772	.9102	.7809
$\cos \theta_t$	.562	.7412	.8677	.9331	.9331	.8677	.7412
θ_1	55.8	42.2	29.8	21.1	21.1	29.8	42.2
R	.940	.9490	.9532	.9549	.9549	.9532	.9490
L cm	.356	.3340	.3172	.3086	.3086	.3172	.3340
θ_2	32.8	26.1	19	13.6	13.6	19	26.1
ρ_1	.152	.890	.0620	0.525	.0525	.0620	.890
ρ_2	1.1×10^{-4}	.0131	.0278	.0361	.0361	.0278	.0131
t	.773	.8134	.9457	.8268	.8268	.9457	.8134
t_α	.707	.7439	.8650	.7562	.7562	.8650	.7439
$(t_\alpha)e$	.736	.7713	.8910	.7816	.7816	.8910	.7713

TABLA B.15

GANANCIA (W), Y RADIACION SOLAR (W/m^2)

DIA	G	I	DIA	G	I
<u>Jul.</u>					
26	245	137	13	347	194
27	178	99	14	306	171
28	200	112	15	200	112
29	222	124	16	244	136
30	174	97	17	295	165
31	295	165	18	257	144
<u>Ago.</u>			20	257	144
1	298	167	21	252	141
2	258	144	22	268	150
3	297	166	23	263	147
4	293	164	24	276	154
5	289	162	27	281	157
6	251	140	28	272	152
7	246	137	29	238	133
8	276	154	30	319	178
9	297	166	31	250	140
10	189	106	<u>Sept.</u>		
11	253	141	1	299	167
12	309	173	2	349	195

TABLA B.15
(Continuación)

DIA	G	I	DIA...	G	I
<u>Sept.</u>					
3	297	166	25	174	97
4	281	157	26	189	106
5	257	144	27	235	165
6	297	166	28	231	129
7	278	155	29	208	116
8	292	163	30	285	159
9	207	116	<u>Oct.</u>		
10	268	150	6	227	127
11	264	148	7	167	93
12	246	137	8	171	96
13	256	143	9	148	83
15	294	164	10	178	99
16	219	122	11	147	82
17	157	88	12	177	99
18	151	84	13	327	183
20	227	127	14	205	115
21	216	121	15	152	85
22	204	114	16	286	160
23	116	65	17	137	77
24	189	106	18	212	118
			19	186	104

TABLA B.16

EFICIENCIA DEL CALENTADOR USANDO

LA RADIACION SOLAR CALCULADA

DIA	E	DIA	E	DIA	E	DIA	E
<u>Jul.</u>							
26	29	14	23	5	46	27	35
27	20	15	27	6	41	28	28
28	27	16	29	7	33	29	36
29	30	17	30	8	38	30	36
30	33	18	27	9	38	<u>Oct.</u>	
31	30	20	19	10	40	6	35
<u>Ago.</u>		21	30	11	40	7	29
1	25	22	40	12	36	8	28
2	26	23	42	13	41	9	30
3	28	24	38	15	40	10	32
4	29	27	33	16	36	11	33
5	37	28	39	17	26	12	37
6	25	29	46	18	32	13	36
7	27	30	37	20	35	14	32
8	29	31	35	21	35	15	29
9	36	<u>Sept.</u>		22	34	16	40
10	23	1	38	23	30	17	29
11	30	2	32	24	35	18	35
12	27	3	41	25	30	19	33
13	34	4	44	26	35		

B I B L I O G R A F I A

1. DEMERS K. Informe de la Planta de Biogas de la Moya, 1982.
2. FAIRES, Termodinámica. U.T.E.H.A., 1973, p. 729, 159
3. Fry J. Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer, p.11
4. Instituto Geográfico Militar. Atlas Geográfico de la República del Ecuador. 1970, p. 16, 20, 21, 26.
5. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía. Anuario Meteorológico, 1963 hasta 1976.
6. KEENAN-KAYE. Gas Tables. Wiley-Sons. Inc. N.Y. 1945,p.188.
7. KREITH F., Principios de Transferencia de Calor. International Texbook Company. Pennsylvania. EUA. 1968, págs. 39, 96, 371, 365, 366, 346, 347, 592, 368.
8. MCADAMS W H.,Heat Transmisión, McGraw Hill Kogakusha Ltd. 1954, p. 452, 477, 450.
9. MARTINEZ C., Montaje para una planta piloto para la producción de gas combustible, por fermentación anaeróbica del estiércol de res. OLADE, N° 14-1978, pág. 18.
10. PAZ R., Apuntes de materia "Introducción a la Energía Solar. 1981.-
11. PERRY J. Chemical Engineer's Handbook. McGraw-Hill Chemical Engineering Series. London. 1973, pág. 3-75, 3-95, 3-196, 3-197, 3-278.

12. SIEGEL AND HOWELL. Thermal Radiation Heat Transfer.

McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1972, p. 796.

13. SURRATT V. The Compleat Biogas Handbook d. House

Illustration s p. 45-50, 213 - 228.