

108
2 y

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**ESTUDIO TECNICO PARA PRODUCIR GAS
METANO A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A:
J O S E T O R R E S P A B L O

MEXICO, D. F.

1985



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C A P I T U L A R I O

ESTUDIO TECNICO PARA PRODUCIR GAS METANO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA

CAPITULO I

1.1 Generalidades

1.2 Introducción

CAPITULO II

2.1 Conversión de la biomasa en energía

CAPITULO III

3.1 Bases de diseño y dimensiones del equipo

CAPITULO IV

4.1 Costo del sistema

CAPITULO V

5.1 Recomendaciones y conclusiones

CAPITULO VI

6.1 BIBLIOGRAFIA

OBJETIVO

La finalidad de esta tesis es proponer un estudio para el mejor aprovechamiento del bagazo de caña, ya que hasta la fecha, se ha usado como forraje, para alimento de ganado, como materia prima para obtener plásticos y como combustible en los ingenios para producir la energía calorífica necesaria para los mismos.

En este estudio se pretende obtener mayor energía del bagazo de caña, sometiendo éste a un proceso de digestión anaeróbica a temperatura constante, obteniéndose así gas metano para todo uso y lodos fertilizantes.

Para tal proceso se hace un estudio de la digestión anaeróbica y su comparación con otros procesos en la obtención de la energía contenida en la biomasa y se hacen comparaciones de rendimiento de cada proceso.

Para mantener la temperatura constante en el digestor, se propone un colector solar, para lo cual se hace necesario además del diseño del digestor, el diseño de un colector solar.

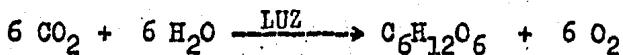
CAPITULO I

a.- GENERALIDADES:

La participación de la energía solar en la mayoría de las actividades humanas, se ha manifestado directa o indirectamente como la fuerza motriz de la evolución humana, en la presente tesis se abordarán dentro de la evolución biológica, el aprovechamiento energético de la biomasa por el hombre, haciendo énfasis en el proceso de digestión anaeróbica.

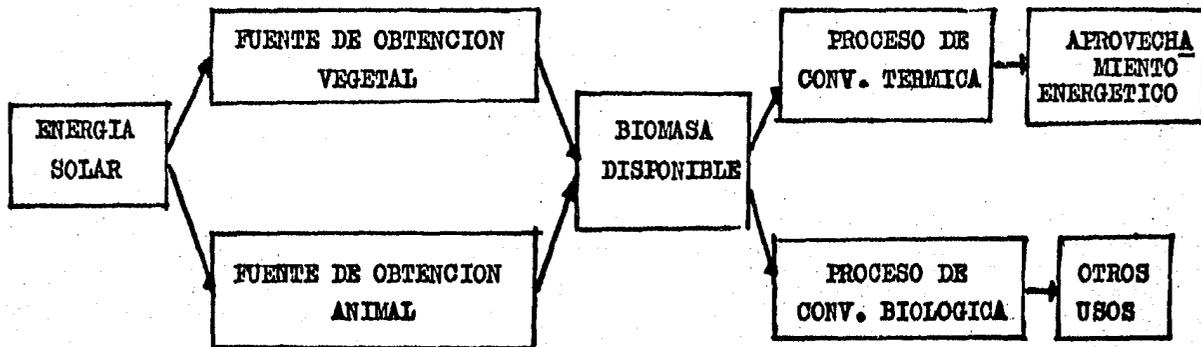
De la participación energética del sol a la tierra que es de 4.15×10^{16} cal./seg. (1.17×10^{17} Watts.) solo el 0.023 % (9.55×10^{12} cal./seg.) se almacenan en las plantas como fuente de energía renovable, mediante el proceso denominado fotosíntesis, el cual consiste en la sensibilización sucesiva de una serie de pigmentos vegetales por los rayos solares, esta sensibilización se manifiesta como un cambio estructural del pigmento, recuperando su estado original al transferir su energía, reagrupándose para formar carbohidratos orgánicos.

La siguiente reacción muestra la conversión de la energía solar en energía química, por la fijación del bióxido de carbono (CO_2) para dar carbohidratos.



Pese a que las plantas son muy eficientes (0.3 al 3 %) en la conversión de la energía solar, solo ellas son capaces de convertirla en energía química de enlace.

PASO DE LA ENERGIA SOLAR A TRAVEZ DE LA BIOMASA HASTA SU APROVECHAMIENTO



Los carbohidratos se encuentran en forma de azúcares, celulosa, almidón, Etc., y forman el primer eslabón de la cadena alimenticia trófica, pudiendo pasar energía al resto del mundo viviente, como alimento. En este sentido todas las formas de vida, sus productos y desechos son almacenes de energía solar que se llaman biomasa.

Los carbohidratos así formados, constituyen una fuente de energía, pues a diferencia de los combustibles fósiles los cuales son también de origen biológico los primeros son renovables.

La energía almacenada en los carbohidratos es de aproximadamente de 3.84×10^6 cal./Kgs., la cual puede ser liberada por proceso de conversión, produciendo varias formas de energía, que se pueden utilizar para sustituir o reducir el consumo de energéticos convencionales y no renovables.

b.- INTRODUCCION:

ALTERNATIVAS DEL USO ENERGETICO DE LA BIOMASA

La gran diversidad de fuentes de obtención de la biomasa de proceso de conversión energética de esta y de los productos de dichos procesos, hacen de la biomasa una opción energética altamente flexible.

La totalidad de la biomasa existente sobre la tierra presenta fluctuaciones, debido a incendios y talas forestales, contaminación de mares y ríos, al crecimiento de ciudades, la creación de jardines y zonas de reforestación Etc., pero para fines prácticos la cantidad de biomasa se considera constante.

De las 9.55×10^{12} cal./seg., de energía solar que es aprovechada por las plantas solo el 25% es utilizado para mantener su temperatura y llevar a cabo sus procesos biológicos de la vida (metabolismos) y el 75% es almacenada en las moléculas de carbohidratos por lo que se forma al rededor de 2.5×10^8 Toneladas de biomasa por día, las cuales quedan repartidas en mares en formas de algas y bacterias clorofílicas, y en la tierra como pastos y árboles, así como campos de cultivos, para continuar con el ciclo del carbono.

En el siguiente cuadro se muestran diversos cultivos o plantas comunes que rinden altas concentraciones de biomasa por hectárea, en la que conviene detectar la caña de azúcar y los pastos forrajeros, en nuestro país solo se ha efectuado con fines alimenticios, y sobre el eucalipto no existe ningún interés especial por no ser una fuente de alimento.

Desde el punto de vista energético surge entonces una alternativa interesante de investigar, en cuanto - al cultivo del eucalipto en tierras de baja calidad - agrícola para producir grandes cantidades de biomasa - creando así zonas de reproducción y reservas energéticas. Dentro de los usos que el hombre da a la biomasa disponible (excluyendo su uso como alimento) está por ejemplo la industria del papel, cartón, la construcción y los artículos decorativos.

TABLA DE PRODUCCION ENERGETICA ANUAL PARA ALGUNOS CULTIVOS VEGETALES.

CULTIVO	BIOMASA TON./HA.	ENERGIA CUMULADA CAL./ HA. X 10 ⁶
ALGAS	50 - 100	192 - 384
CAÑA DE		
AZUCAR	30 - 112	115 - 430
EUCALIPT.54		207
PASTO	36	138
REMOLACHA	15- 33	58 - 127
ALFALFA	29	111
MAIZ	4 -13	15 - 50
ARROZ	8	31
SOYA	6	23

Datos tomados de G.VINIEGRA YA FELIS BOLETIN IIE 1978.

Se consideran 3.84×10^6 cal. /kgs. de biomasa.

CONVERSION DE LA BIOMASA EN ENERGIA.

Existe una gran variedad de métodos, para convertir la biomasa en energía útil, las técnicas de conversión - varían desde las relativamente simples, hasta las muy complejas habiendo básicamente dos tipos de procesos para - el aprovechamiento de la biomasa.

1.- Conversión térmica.

2.- Conversión biológica.

Estos dos tipos de procesos de conversión, se analizan con un enfoque moderno, el cuál considera además del - punto de vista energético los beneficios y perjuicios colaterales que se derivan de ellos, tales como evitar la contaminación, el aprovechamiento de desechos y desperdicios agrícolas e industriales y evitar la desforestación.

CONVERSIONES TERMICAS.

Estos procesos consisten, como se verá particularmente más adelante, en la aplicación de cierta cantidad de calor para inducir condiciones térmicas específicas que provoquen reacciones químicas en la biomasa, obteniéndose como resultado más calor, como es el caso de la combustión o formando se productos combustibles como carbones, gasolinas y gases.

FUENTES DE OBTENCION DE BIOMASA DE ORIGEN VEGETAL.

- a).- Pastos.
- b).- Algas y bacterias clorofílicas.
- c).- Productos forestales.
- d).- Desechos y productos agrícolas.
- e).- Desechos de la industria alimenticia.
- f).- Basuras municipales.

FUENTES DE OBTENCION DE BIOMASA DE ORIGEN ANIMAL.

- a).- Estiércoles.
- b).- Grasas.
- c).- Vísceras.
- d).- Pieles.

II-1 PROCESOS DE CONVERSION TERMICAS

- a).- Combustión directa.
- b).- Pirólisis.
- c).- Gasificación.
- d).- Hidrólisis ácida.
- e).- Hidrogenación.
- f).- Hidrogasificación.

II-2 PROCESOS DE CONVERSION BIOLOGICA.

- a).- Digestión aerobia.
- b).- Fermentación.
- c).- Digestión anaerobica.

II-1.a COMBUSTION DIRECTA.

El proceso de obtención de energía de la biomasa más común y usado por lo simple es la combustión directa de madera, paja y otros desperdicios, cuya quema está condicionada por el contexto social en cuestión, por ejemplo -

en el medio rural de nuestro país se emplea la leña, arborescentes secos y en ocasiones aserrín, para la preparación de alimentos, calentamiento de agua para baño y medio ambiente, en otros países como Europa y E.U.A. se hace la combustión directa de basura municipal, desperdicios industriales y agrícolas, generando con esto, vapor que se usa como calor de proceso. Para lograr una buena combustión, es necesario proporcionar un buen fluido de aire continuo, siendo necesario en ocasiones el uso de compresoras y el diseño de las estufas y hornos resulta un factor importante para el ahorro de combustibles por la reducción de pérdidas.

El valor energético de la biomasa como combustible, dependen principalmente del contenido de humedad, por ejemplo la madera proporciona 4024 Kcal./Kg. (7250 BTU / lib.) con humedad de 0.0 % y la madera secada al medio ambiente presenta una humedad del 15 al 20 % (3,219 Kcal /kg.) por lo que energéticamente con un Kg. de esta madera se calienta 160 lts. de agua desde 20° C hasta 40° C. desafortunadamente la mayoría de las estufas de leña presentan una eficiencia de 10% o menos, debido principalmente al suministro y disipación de calor.

COMPARACION DEL PODER CALORIFICO DE LA MADERA Y BAGAZO DE CAÑA A DIFERENTES HUMEDADES.

TIPO DE MATERIAL	% HUMEDAD	Kcal./kg.	Kcal./ dm ³
MADERA SECA	0.0	4,020	1.33x 10 ⁴
BAGAZO DE CAÑA	14.0	4,500	
MADERA SECA AL AMB.	20.0	3,219	1.29x10 ⁴
BAGAZO DE CAÑA	50.0	2,350	
MADERA VERDE	50.0	2,053	1.24x 10 ⁴

Datos tomados de Merrill R. Gate T.

II-1.b PIROLISIS.

Este proceso que consiste en el rompimiento de las moléculas (Biomasa) para producir materiales combustibles en forma de sólidos, líquidos o gases, el rompimiento se logra en un medio ausente de aire a una temperatura que varía entre 100°C y 200°C , produciendo por cada kg. de biomasa lo siguiente. Mezcla de gas 0.50m^3 con poder calorífico que varía de entre 4000 a 7000 Kcal. / kg., carbón vegetal 0.75 kg. con poder calorífico de 3800 a 6670 Kcal./Kg., hidrocarburo 0.26 lt. con poder calorífico de 8000 Kcal./lts.

La energía que se requiere para someter a pirólisis a cualquier material celuloso, depende de los productos formados, los cuales a la vez dependen de la velocidad de calentamientos, la temperatura y el tamaño de la muestra, siendo la energía recuperada en los productos entre el 75 y 98 % de la energía suministrada a la biomasa. La fuente de biomasa usadas en este proceso son; Estiércol, desechos agrícolas y de la industria maderera, desperdicios de los molinos de papel y basura municipal.

II-1.c GASIFICACION

Este es otro de los procesos termoquímicos mediante el cual se libera la bioenergía por el calentamiento de los desperdicios, en este caso utilizando una cantidad limitada de aire. Los desechos forestales, los desechos de la industria procesadora de alimentos, etc. pueden ser convertidos mediante esta técnica produciendo gas natural sintético, metano, amoníaco, monóxido de carbono o gasolina sintética.

II-1.d.HIDROLISIS ACIDA.

Este tratamiento se efectua sobre desperdicios de madera, los cuales son calentados en un medio ácido, con lo que se logra la rúptura de los enlaces entre las moléculas de la glucosa, (a este proceso se le llama también hidrolisis), posteriormente se efectua una fermentación de las moléculas, produciendo alcohol etílico.

II-1.e HIDROGENACION.

En este método de conversión que se realiza a altas presiones y temperaturas elevadas, los desechos orgánicos son convertidos a hidrocarburos mediante un tratamiento de 300°C . a 400°C . y presiones que oscilan entre los 140 y 420 Kg./cm^2 , en presencia de monóxido de carbono, vapor de agua y catalizador; lograndose producir entre 350 y 440 lbs. de hidrocarburo por tonelada de materia-seca, una de las ventajas, es su bajo contenido de azufre y su poder calorífico de 9.0×10^3 Kcal./kg.

II-1.f HIDROGASIFICACION.

Este proceso también se lleva a cabo a altas presiones y altas temperaturas, este proceso se utiliza principalmente para convertir estiercol en gas metano y etano al calentar el estiercol de 500°C . a 600°C . y sometidos a presiones de 7 kg./cm^2 en presencia de hidrógeno. Su eficiencia es de 168 m^3 por tonelada de materia seca con un poder calorífico de 8.9×10^6 cal./m³.

II-2 CONVERSIONES BIOLÓGICAS.

Estos procesos son también conocidos como de bioconversión, pues son reacciones químicas causadas mediante el tratamiento de la biomasa, por enzimas, hongos o microorganismos, una de las ventajas de los procesos biológicos, es que no se requieren usar condiciones extremas de presión y temperatura en el proceso y son altas las eficiencias de conversión logradas. A continuación se mencionan tres de los procesos de mayor interés.

II-2.a DIGESTION AEROBICA.

Este proceso consiste en la descomposición de materia orgánica en presencia de oxígeno. Este proceso básicamente convierte sustancias orgánicas en inorgánicas, al mismo tiempo que liberan calor y gases, como amoníaco y bióxido de carbono, quedando como residuos, sólidos de los que se conocen como humus, se ha generalizado el proceso para el tratamiento de aguas negras, efluentes industriales y elaboración de fertilizantes orgánicos.

II-2.b FERMENTACION - DESTILACION.

Este proceso es bien conocido y denominado también fermentación alcohólica, mediante el cual los carbohidratos (melazas, azúcares, granos y otros materiales celulósicos) son hidrolizados reestructurados, formando principalmente alcohol etílico y bióxido de carbono como subproducto. La solución alcanza una concentración máxima de 14 % de etanol, siendo después concentrado por destilación. En ocasiones se requiere de un tratamiento de hidrólisis previa, ya que algunos de los microorganismos que llevan acabo este proceso, como el caso de las levaduras, no son capaces de romper moléculas como la celulosa.

La obtención del alcohol etílico, como derivado del petróleo resulta en la actualidad más económico, pero considerando que el petróleo es una fuente de energía no renovable, se han tomado medidas en países como Brasil, Cuba, entre otros para sustituir parcialmente por alcohol obtenido en fermentación, en maquinarias parcialmente hasta en un 10 % .

En cuanto a eficiencia, se obtiene 2,130kcal./kg. - de biomasa seca, considerando una eficiencia de 50 %, esta eficiencia de conversión energética, varía según el sustrato o materia prima.

SUSTRATO	% RENDIMIENTO
AZUCAR (DESTROZA)	51.1
AZUCAR COMPUESTA (MALTOSA)	53.8
ALMIDON	56.8

II-2.c DIGESTION ANAEROBICA

Debido a las ventajas que representa este proceso en cuanto a eficiencia energética, es el que se usará para el desarrollo de esta tesis, por lo que se le dará mayor amplitud al tema.

Haciendo una evaluación global de los procesos de conversión, aquellos que involucran microorganismos son los más eficientes, debido a la perfección de los mecanismos biológicos. Dentro de ellos la digestión anaerobia (fermentación anaerobia) resulta ser el proceso más eficiente, además de su fácil aplicación en el medio rural y sobre desechos industriales muy diluidos.

Este proceso de fermentación se lleva a cabo por un grupo de microorganismos mixtos llamados en conjunto metano bacterias, que al actuar sobre la biomasa (materia orgánica) vegetal o animal, producen una mezcla de gases que han recibido el nombre de biogas, estos microorganismos son anaerobios, de aquí el nombre del proceso, es decir solo pueden vivir en un medio exento de oxígeno y por lo tanto de aire.

El hecho de que la biomasa se descomponga en condiciones de ausencia de aire, produciendo un gas flamable, ha sido conocido desde siglos, particularmente en el fenómeno de gas de los pantanos, viendose en ocasiones flamas durante la noche.

El rendimiento energético del proceso de digestión anaerobico, es de 5020 kcal./kg. utilizando paja, este rendimiento resulta 2.3 veces mayor que el obtenido en la -- producción de alcohol y 1.5 veces en el de la combustión-directa de la madera, como se puede observar en el siguiente cuadro.

MATERIA PRIMA	PROCESO	RENDIMIENTO ENERGETICO Kcal./kg.
Madera seca 20 % Hum.	Comb. directa	3,219
Bagazo de caña " "	" "	2,350
Azúcar	Prod. alcohólica	2,130
Pasto molido B.S.	Dig. Anaeróbica	5,020
Bagazo de caña B. S.	" "	7,355

DESCRIPCION DEL PROCESO.

La digestión anaeróbica de la materia orgánica es un proceso microbiano, complejo y sensible, que incluye tres diferentes grupos de bacterias y se lleva a cabo en tres etapas; la etapa de solubilidad, o hidrólisis, etapa acidogénica y etapa metanogénica.

Etapa de solubilidad o hidrólisis, en esta primera etapa, las proteínas complejas, como carbohidratos, celulosa, grasas y aceites, son disueltos enzimáticamente, esta hidrólisis transforma los complejos orgánicos, en aminoácidos y azúcares simples, ácidos grasos y glicerol, estos compuestos simples la mayoría solubles, ya pueden pasar a través de las paredes celulares de las bacterias acidogénicas que son las que se encargan de llevar a cabo la siguiente etapa.

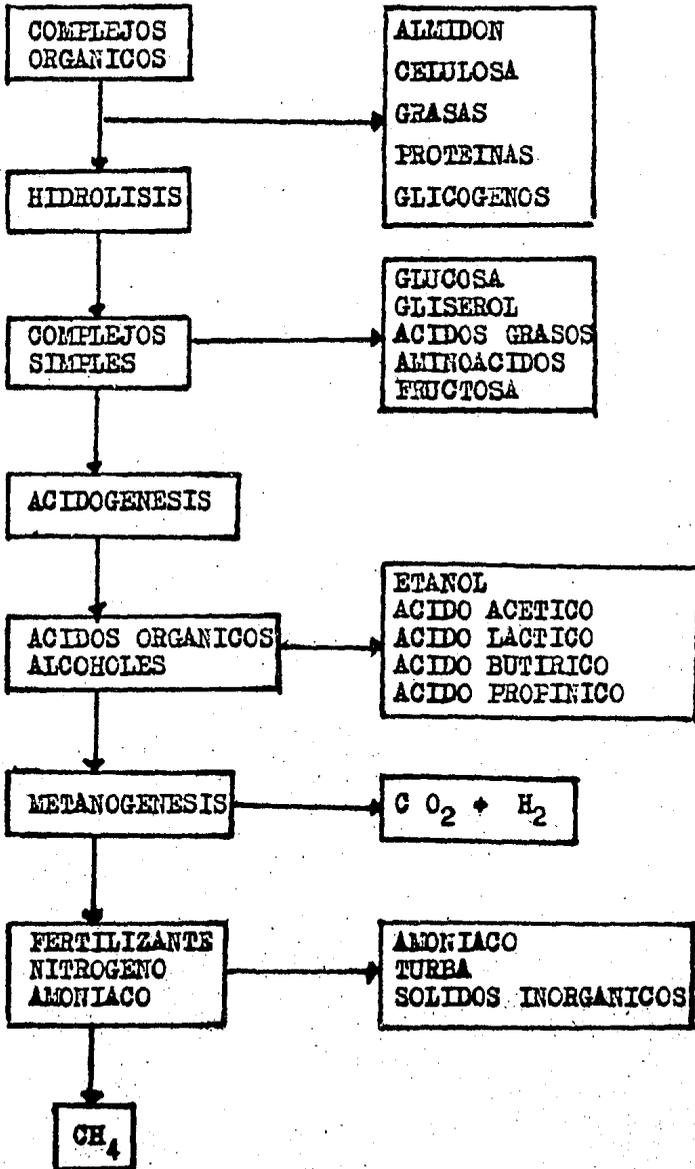
Etapa acidogénica, esta segunda etapa es un proceso que consiste en la oxidación y reducción de los compuestos en ácidos orgánicos pequeños; esta etapa la efectúan bacterias anaeróbicas facultativas (viven en presencia o ausencia de aire) las cuales tienden a reproducirse rápidamente y producir el alimento a la etapa final de descomposición, estabilizando y produciendo el metano.

Etapa metanogénica, en esta fase que es la final, los ácidos orgánicos pequeños son consumidos por un grupo de bacterias anaeróbicas estrictas (viven solo en ausencia de aire) estabilizando así la materia orgánica, por convertir en metano, dióxido de carbono y otros gases (biogás)

Estas metanobacterias, se caracterizan por un lento-crecimiento y una extremada sensibilidad a la toxicidad del aire. Debido a su lenta velocidad de reproducción y a su dependencia de las formadoras de ácidos, las bacterias metanogénicas son el factor limitante del proceso.

Usualmente en un digestor las tres etapas ocurren, simultáneamente, y si alguna de ellas se altera, la producción de metano será igualmente alterado. Dentro del digestor ocurre una estratificación lenta y gradual en tres fases más o menos diferenciables, la que depende de la naturaleza de la materia prima o si el digestor cuenta con agitación mecánica o si la carga ocasiona turbulencia, la descripción de los extractos se representa en el siguiente cuadro.

DIGRAMA ESQUEMATICO DEL PROCESO DE DIGESTION ANEROBIA



La velocidad del proceso de digestión anaerobia a igual que su desarrollo, se ven ligados principalmente a dos condiciones que son :

- a).- El pH.
- b).- La Temperatura.

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de la mezcla, una variación del pH afecta en diferente grado a la velocidad de cada una de las etapas del proceso de generación de metano, siendo su pH óptimo entre 7.5 y 8.5, este pH no indica que sea el óptimo para todas las etapas, pero si el óptimo para el proceso global.

La Temperatura óptima global para el proceso de producción de metano es de 35°C. siendo las bacteria - particularmente mesofilicas, a medida que la temperatura descende, la velocidad disminuye hasta llegar a 10°C. en donde a esta temperatura el proceso se detiene, existen otros tipos de bacterias llamadas termofilicas, las cuales operan óptimamente a 54° C., los digestores con este tipo de bacterias no son muy comunes, por la dificultad y costo para mantener esta temperatura.

Si la temperatura se aumenta gradualmente sobre la óptima de operación, la velocidad del proceso descende gradualmente hasta detenerse bruscamente por una desactivación total del proceso biológico, esto ocurre aproximadamente a los 70° C.

MATERIAS PRIMAS.

Las materias primas con las que se puede efectuar la carga de un tanque de digestión anaerobica (digestor) puede ser cualquier clase de biomasa (estiércol, bagazo, rastrojo, paja, etc.) que se analizará por su origen-

composición química, tamaño de partícula y régimen de operación en cuanto a cantidad y tiempo. La materia prima puede ser de origen vegetal o animal, en forma de -- desechos o desperdicios, y la utilización de esta en el proceso de digestión está en función de la facilidad de recolección y la competencia con otros usos alternati-- vos.

COMPOSICION QUIMICA.

Los análisis efectuados y reportados en la literatura de la composición química de las bacterias que intervienen en el proceso de digestión anaeróbica dan como resultado la presencia de los siguientes elementos, carbono, oxigeno, nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, magnesio, y azufre, por lo que para proporcionar una dieta balanceada a estos microorganismos, debemos de prooverlos de todos los elementos citados.

Los primeros tres elementos, carbóno, oxigeno e hidrógeno, constituyen casi la totalidad de la biomasa, ya que los vegetales al realizar la fotosíntesis, fijan estos elementos del bióxido de carbóno y del agua al formar los carbohidratos, el nitrógeno es un elemento importante, ya que actua controlando el crecimiento bacteriano, y por lo tanto la velocidad y la eficiencia de - la producción del metano, de tal suerte que si la concentración es baja, las bacterias no crecen y no producen metano, y si es alta crecen liberando amoníaco que puede afectar la producción del gas, siendo baja la obtención de metano, requiriendose concentraciones ópti-- mas , cerca de treinta veces más de carbóno que de nitrógeno (C/N = 30)

Aunque el fósforo y los demás elementos (potasio, sodio, magnesio y azufre) que se encuentran aún en pequeñas cantidades, son necesarias para el crecimiento, rara vez un digestor se ve inhibido por la ausencia de alguno de ellos, debido a que los materiales de desecho y desperdicio contienen por lo general cantidades suficientes - para satisfacer las necesidades bacterianas, de lo anterior se ve la necesidad de conocer la composición de la materia prima, para que al cargar un digestor se procure, al menos una correcta relación, carbono nitrógeno.

Cuando la materia prima posee una relación C/N no cercana a treinta veces, se puede efectuar una mezcla - entre varias, para compensar la falta o exceso de nitrógeno en ellas, por ejemplo, si disponemos de paja de trigo (C/N = 150) y estiércol de gallina (C/N = 7) como materia prima, se hace una mezcla, y con solo efectuar los siguientes cálculos encontramos la cantidad a mezclar de cada compuesto.

MATERIA PRIMA RELACION C/N PARTE A MEZCLAR EN B.S.

PAJA DE TRIGO	150 = A	1
ESTIERCOL DE GALL.	7 = B	X

E C U A C I O N

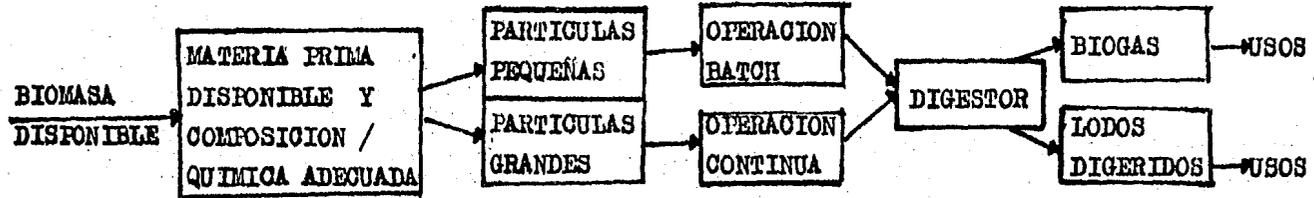
$$X = \frac{A-B}{30-7} - 1$$

Sustituyendo los valores de A y B nos da lo sig.

$$X = \frac{150-7}{30-7} - 1 = 5.25$$

Por lo que se debe adicionar 5.25 partes de estiércol de gallina por cada parte de paja de trigo en b.s.

DIGRAMA DE BLOCK DE DIGESTION ANEROBICA.



COMPOSICION DE DIVERSAS MATERIAS PRIMAS.

<u>MATERIAL</u>	<u>% HUMEDAD</u>	<u>% SOLIDOS TOT.</u>	<u>% C.</u>	<u>% N.</u>	<u>C/N</u>
DESPERDIÇOS VERDES	L	99	54.7	3.04	18.0
PAPEL DE ESTRASA	6	94	40.6	0.0	
P. PERIODICO	7	93	40.6	0.05	813.0
PASTO	24.8	75.2	—	—	—
PINO BLANCO	9.3	90.7	40.6	0.06	767.0
BASURA	7.3	92.7	33.4	0.74	45.0
EST. DE GALLINA	9.8	90.2	23.4	3.2	7.0
EST. DE BOVINO FRESCO	86.0	14.0	30.8	1.7	18.0
EST. DE CABALLO	84.00	16	57.5	2.3	25.0
EST. DE CERDO	87.0	13	—	3.8	—
EST. DE BORREGO	89.0	11	—	3.8	—
ORINA HUMANA	94.0	6	14.4	18.0	0.8
HECES HUMANA	73.0	27	36-60	6	6-10
ALGAS MARINAS	—	—	—	1.9	19.0
VEG. NO LEGUMIN.	—	—	—	2.5	4 11-19
TREBOL ROJO	—	—	—	1.8	27.0
PAJA DE AVENA	—	—	—	1.1	48.0
PAJA DE TRIGO	—	—	—	0.5	150.0
ASERRIN	—	—	—	0.06	767.0
BAGAÑO DE CAÑA	50	50	—	—	—

Datos tomados de ANEROBIC DIGESTION OF SOLID WASTEOK
LEIN DIGESTOR.

DIGESTOR FOR FUEL GAS AND GAD FERTILIZER(MERRILL Y FRY)

CAPITULO III

BAS. ES DE DISEÑO.

III- 1. DISEÑO DE DIGESTORES.

En el diseño de digestores anaerobico, existen una infinidad de modelos, pudiendo ser cualquiera la forma y dimensiones de la cámara de digestión, mientras se reúnan las condiciones de materia prima, medio ambiente y microorganismos para efectuar el proceso, sin embargo la geometría del digestor es importante tomarla en cuenta, puesto que técnicamente se puede optimizar el proceso y económicamente se pueden reducir los costos de construcción; los principales factores que determinan la forma y dimensiones de un digestor son:

- a).- La necesidad en la utilización del biogas y/o los lodos digeridos (iluminación, cocina, calentamiento de agua, generación de electricidad, fertilizante, ect.)
- b).- La disponibilidad de la materia prima, para la carga (número de vacas, cerdos, gallinas, paja, pastos, - etc.)
- c).- La técnica y materiales usados para la construcción (ferrocemento, fierro, fibra de vidrio, mamposteria , - etc.)

Esta gran variedad de factores y sus multiples combinaciones y la indeosincracia de los pueblos, han creado gran variedad de diseño.

III- 2 TAMAÑO DE PARTICULA.

El tamaño de partícula de la materia prima, influye sobre la velocidad de la producción de metano, siendo inversa la relación entre las dos variables, a menor tamaño de partícula, la velocidad de producción del biogas aumenta, puesto que se tiene mayor área de contacto sobre la cual actúan las bacterias.

Cabe mencionar que el medio requerido por las bacterias para su desarrollo óptimo, es de aproximadamente del 8 % de sólidos solubles, por lo que se debe procurar esta concentración, la cual se administrara como sólidos totales, pero durante la primera etapa del proceso de digestión (hidrólisis) los sólidos insolubles son disueltos hasta alcanzar esta misma concentración en solución.

III- 2 REGIMEN DE OPERACION.

Teniendo ya la materia prima con la composición química adecuada, esta puede ser administrada al digestor en dos formas, operación continua (carga diaria) y operación discontinua o por tandas (cada 1, 2 ó 3 meses) la mayoría de los digestores se pueden operar de las dos formas.

Para calcular la cantidad de materia prima con la que se debe cargar el digestor (estando ya a una concentración aproximadamente de 8 % de sólidos totales), se debe considerar tanto el tamaño del digestor, como el tiempo de residencia, en caso de operación Batch, se carga a la capacidad del digestor y se descarga cuando la producción de metano disminuye.

Para operar optimamente al digester se tiene que - conocer el tiempo de residencia adecuado, el cual es especifico para cada materia prima, este se puede calcular de la siguiente manera, se carga el digester y se opera en forma de tanda (discontinua) midiendo el tiempo desde el inicio de la producción de metano hasta una disminucion consistente en la producción del mismo.

La carga diaria de los digestores operados continuamente, se fija multiplicando la capacidad del digester por el inverso del tiempo de residencia adecuado.

E C U A C I O N .

$$Q = \frac{V_o}{\phi} \dots\dots\dots(1)$$

Q = Carga diaria.

V_o = Volumen del digester.

ϕ = Tiempo de residencia.

Por ejemplo si se tiene un digester de 5 m³ y la materia presenta un tiempo de residencia de 30 días se obtiene lo siguiente:

$$Q = \frac{5m^3}{30 \text{ días}} = 0.167 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 167 \text{ lts./día.}$$

CALCULO DE LA CARGA DEL DIGESTOR

Para esto primero se debe determinar el régimen de operación, como no se conoce el tiempo de residencia del digestor se debe operar en forma descontinua para determinar dicho tiempo y poder operar en forma con tinua o cargas diarias.

ECUACION

$$Q = \frac{V_0}{\phi} \dots\dots\dots(18)$$

Q = Carga diaria del digestor.

V₀ = Volumen del digestor.

ϕ = Tiempo de residencia.

V₀ = 10 m³

CANTIDAD DE MATERIA PRIMA

El bagazo de caña tiene una humedad de 50% que se debe tomar en cuenta para hacer los calculos en base seca.

Se debe preparar la carga al 8% de concentración - que es la recomendada en las literaturas de acuerdo a datos experimentales.

Como el digestor se debe cargar a un 80% de su capacidad, para dejar un espacio vacío de 20% para depósito de los gases, nos quedan

$$10 \text{ m}^3 = 10,000 \text{ lts.} \times 0.8 = 8,000 \text{ lts.}$$

Como se debe cargar el digestor al 8% de con cen tración de solido nos da 8,000 kgr. $\times 0.08 = 640$ kgrs. en base seca pero como el bagazo tiene una humedad de 50% por lo que tendremos que poner el doble o sea - 1,280 kgs.

Materia base seca: $\pm \frac{640.0 \text{ Kg. mat. hum.}}{8.50 \text{ Kg. Mat. Hum.}} = 1,280 \text{ kg.}$

como al hacer la mezcla para la carga del digestor, -
el bagazo de caña ya lleva incluido como humedad 640-
Kg. de agua por lo que para preparar los 8,000 lts. -
de carga se debe de tener muy en cuenta.

CANTIDAD DE AGUA 8,000 Kg. = 640 Kg. = 7,360 Kg.

Como no se conoce la relación carbono/nitrógeno -
no se recomienda combinaciones con otro tipo de mate -
ria, hasta no conocer esta relación.

En cuanto al tamaño de la partícula, se considera
que no será necesario su trituración, puesto que la ma -
teria prima sale del tamaño adecuado del tanden de mo -
linos, usarse en el digestor.

OBTENCION TEORICA DE METANO EN EL BAGAZO DE CAÑA

De acuerdo con lo reportado en la literatura, se ha encontrado que el bagazo de caña produce por digestión Anaeróbica, lo siguiente:

MATERIA	GAS PRODUCIDO	% CH ₄	% H ₂	% CO ₂
B. Caña	12 Pie ³ /lib.	45	10	45

Haciendo las transformaciones necesarias para reportar m³/kg. se tiene lo siguiente:

$$12 \text{ Pie}^3/\text{lib.} \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.31 \text{ Pie}^3} \times \frac{2.2 \text{ lib.}}{1 \text{ kg.}} = 0.736 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

Como solo el 45 % es metano tenemos que; por kgr. - de bagazo se obtiene lo siguiente.

(0.736 m³/kg.) (0.45) = 0.331 m³/kgr. lo que equivale a 331 lts./kgr. de bagazo de caña.

COLECTORES DE RADIACION SOLAR

Al exponer un objeto a la radiación solar, la temperatura de este se eleva, hasta que las pérdidas de calor igualan a las ganancias. Las pérdidas dependerán de la emisión de radiación del material caliente, de la velocidad del aire frío que lo rodea y de la conductividad térmica de los objetos en contacto con el, las ganancias dependerán de la intensidad de la radiación solar y del absorbente de la superficie.

La radiación solar se puede recoger en dos formas fundamentales, para producir altas temperaturas, cubriendo una superficie receptora con una lamina transparente a la luz del sol (vidrio o plástico o enfocando la radiación solar recibida en una gran superficie a un receptor de superficie más pequeña.

Los colectores se clasifican en dos tipos, los colectores planos y los colectores focales. Los colectores planos casi siempre son fijos, y solo son movidos para ajustarlos a las estaciones del año, los colectores focales casi siempre son móviles, ya que a lo largo del día tienen que seguir el curso del sol.

Por lo general los colectores planos, son más baratos y aprovechan mejor la energía solar, estos aprovechan tanto el calor de radiación difusa como la directa y funcionan tanto en días nublados como en días claros, los colectores focales utilizan solamente la radiación directa y estos pueden producir temperaturas más elevadas.

En ambos casos las superficies colectoras deben - ser tan negras como sea posible, para que el orden de absorción esté arriba del 95 % y la reflexión sea una cantidad despreciable.

En este caso solo se tratará el estudio de los colectores solares planos, ya que es el que se propone pa ra mantener constante la temperatura en el digestor.

COLECTORES PLANOS.

Las superficies de los colectores planos se hacen de láminas metálicas, ya sea de fierro, cobre o aluminio, para obtener una buena conductividad, estas lámi--nas re~~ceptoras~~ se ennegresen con pintura mate que contiene por lo general negro de humo, o se cubre con un revestimiento negro producido químicamente.

La lámina incrementa su temperatura al absorber la radiación y transmitir su calor al fluido, que normal--mente es agua, la cual se mueve de la parte de atrás - del colector, al mismo tiempo que el colector ~~cede~~ calor por convección al aire exterior circulante, por con--ducción al aire y paredes frías de la estructura que lo soporta y por radiación infrarroja entre los 100° C y 300° C.

La máxima emisión de radiación se efectúa entre - 8 μ y 10 μ en el infrarrojo, lo que significa que se puede reducir las pérdidas de calor y elevar la tempera--tura de trabajo del colector, colocando una o más lám--inas de vidrio o plástico encima de la cubierta re~~cep~~tor, creando así un recipiente hermético. La luz solar de longitud de onda menor de 2.5 μ pasa a través de esta cubierta transparente, pero la radiación infrarroja--de gran longitud de onda que emite el receptor caliente

no puede volver a salir através del vidrio o el plástico la cual se absorve. Las cubiertas transparentes enfriadas por el aire exterior y las capas de aire estacionadas entre ellas, son malos conductores del calor y funcionan a una temperatura más baja que la superficie receptora, de esta manera se reducen las pérdidas de calor.

Cuando la radiación solar continúa incidiendo sobre la superficie receptora obscura, la temperatura sube y las pérdidas caloríficas crecen hasta que se alcanza un estado de equilibrio, que es cuando el calor que se recoge y las pérdidas del mismo igualan al calor recibido. En el estado de equilibrio se cumple la siguiente ecuación.

$$C A \alpha = Q_0 A = Q_A + (Q_r + Q_a + Q_c) A \dots (2)$$

C = Flujo total de energía solar recibida por unidad de superficie expresada en cal./cm²-min. o BTU/cm²-hr. o en Kilovatio.

A = Area de la placa receptora.

t = Transmisibilidad de la lámina de vidrio que atraviesan los rayos del sol y que dependen del angulo de incidencia

α = Poder de refracción de la superficie receptora, que tambien depende del agulo de incidencia.

Q₀ = Absorción de energía radiante por unidad de tiempo y unidad de aria.

Q₀A = Calor radiante absorvido por unidad de tiempo en la superficie total del receptor.

Q_A = Energía calorífica transferida del receptor al agua por unidad de tiempo.

Q_r A = Pérdidas por radiación del colector por unidad de tiempo

$Q_a A$ = Pérdidas por convección y conducción al aire exterior por el colector por unidad de tiempo.

$Q_c A$ = Pérdidas de calor por conducción del colector —
atraves del aislante a la estructura de soporte.

El calor útil recogido (Q_A) es el calor del que se dispone y es igual según la ecc.

$$Q_A = Q_o A - (Q_r + Q_a + Q_c) A \dots\dots\dots(3)$$

DISEÑO DE LOS COLECTORES SOLARES.

Los factores que se deben tomar muy en cuenta para el diseño de los colectores solares son los siguientes.

a).- INSOLACION.

b).- LOCALIZACION.

Para que una instalación opere con energía solar como fuente de energía única o complementaria, el factor primordial a determinar es la insolación disponible o sea conocer de antemano cuanta energía puede ser proporcionada por el sol y si esa energía puede ser suficiente para cubrir nuestros requerimientos energéticos.

Como se sabe nuestro país cuenta con diferentes regiones geográficas, que a su vez tienen variados niveles de insolación a lo largo y ancho de todo el país en transcurso de todo el año, pero para recibir niveles altos es necesario considerar tanto la nubosidad como la contaminación ambiental.

Los valores reportados por las diferentes instituciones meteorológicas, son tomando en cuenta la nubosidad y la contaminación ambiental en el aire, por lo tanto los valores reportados de insolación son confiables, ya que estos valores se reportan tomando datos estadísticos promedios, de todos los días de un lapso no menor de 10 años.

Otro punto importante además de la intensidad de insolación es la frecuencia de insolación, es decir en un lugar puede haber insolación muy intensa, pero poca duradera y en otro una insolación débil pero constante, se puede entonces escoger un lugar con las condiciones-

de intensidad y duración de insolación requerida para una aplicación en particular.

Cuando ya se ha determinado el lugar donde se ha de aplicar la energía solar específica, se habrá de conocer los valores de insolación para diferentes horas - del día a lo largo del año.

Para las anteriores mediciones se hace uso de los llamados solarímetros, los cuales se clasifican como sigue.

PERIHELIOMETRO.

PIRAMOMETRO.

El periheliómetro es un instrumento que usa un lente para medir la radiación solar de una pequeña región del cielo al rededor del sol, a una incidencia normal.

El piramómetro es un aparato que nos mide la radiación solar total que está llegando a la tierra. Consta de una termopila de película delgada, veinte elementos-termoelectricos y una sensibilidad nominal de 40 microvol por langley/min. (un langley = una caloría /cm²)

COORDENADAS GEOGRAFICAS.

Las coordenadas geográficas son importante para determinar la orientación e inclinación de los colectores. Se recomienda que los colectores se instalen con su eje vertical orientado según la línea norte-sur y con una inclinación igual a la latitud del lugar, con una tolerancia de más o menos diez grados, en el hemisferio norte la inclinación es hacia el sur.

El conocimiento exacto de las coordenadas geográficas— es importante para determinar la duración del día y de estos las horas disponibles de sol.

VELOCIDAD DEL VIENTO.

La velocidad del viento que prevalece en un lugar— afecta al coeficiente de insolación, en el sentido que existe una pérdida de calor por convección entre la cubierta transparente y el medio ambiente, dicha convección es proporcional a la velocidad del viento, por lo tanto si se quiere disminuir las pérdidas de calor por convección hacia el medio ambiente, es necesario instalar el colector en un lugar donde las velocidades del viento sean bajas.

Los datos de velocidad del viento son de importancia el determinarlos, para conocer el coeficiente de — pérdidas por convección hacia el medio exterior. Para — se hace uso de un aparato llamado Anemómetro, este es un instrumento que normalmente cuenta de cuatro semiesfera huecas, dispuestas en cruz, con las concavidades — dirigidas siempre en el mismo sentido, las cuales al insidir la corriente de aire sobre ellas, las mueve jun to con el eje en el cual estan fijadas, un cuenta vueltas nos permite medir el número de revoluciones por minutos de donde se deduce la velocidad del viento.

CONSTRUCCION DE UN COLECTOR SOLAR.

La lámina ennegresida que funciona como receptor se coloca en un marco que generalmente es de madera y se le da la inclinación apropiada. Para calentamiento de agua los tubos de conducción se fijan en la parte trasera para asegurar un buen contacto térmico, las hojas receptoras se colocan herméticamente en una caja rectangular de manera que no exista paso del aire por atrás, constituyendo la misma hoja la parte frontal.

También puede colocarse la hoja receptora en la parte de atrás con otra lámina de vidrio como tapa o cubierta en el frente. La estructura del colector en forma de caja rectangular, se construye de madera delgada, plástico o metal muy delgado, aislando esta caja para minimizar las pérdidas de calor al aire exterior.

LA CUBIERTA.

Esta es transparente, puede ser de vidrio o de plástico, para dejar pasar los rayos del sol, y tiene la finalidad de sellar herméticamente el colector en forma de caja y evitar o reducir las pérdidas de calor por radiación y convección, es más eficiente colocar dos o más placas o cubiertas que una, pero cada cubierta reduce la cantidad de radiación solar que pasa por absorción en el vidrio en un 8 % a causa de la reflexión en los dos dioptrios (aire-vidrio).

La fórmula que nos da la cantidad de radiación reflejada en un dioptrio es la siguiente.

$$\frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2 \dots\dots\dots(4)$$

Donde :

I_r = Intensidad de luz reflejada.

I_i = Intensidad de luz incidente.

N = Índice de refracción del vidrio respecto al aire.

El índice de refracción del vidrio ordinario nos da un valor de alrededor de 4 % en cada dioptrio y el índice de refracción de los plástico es muy parecido. Si se usa en lugar de aire, agua u otro líquido cualquiera con índice de refracción similar al vidrio y se coloca en contacto con este, la reflexión en el dioptrio líquido- vidrio, es despreciable.

Existe un número óptimo de cubiertas para cada temperatura dada, que nos proporciona la mayor cantidad de calor al mínimo costo. En él influye lo que se gana con la disminución de las pérdidas de calor, las pérdidas que producen la reflexión y la absorción de las cubiertas transparentes y el costo de materia y mano de obra. Se ha encontrado que una cubierta formada con cuatro laminas de vidrio es óptima para algunas finalidades, pero normalmente se usa una o dos laminas unicamente.

LOS TUBOS

Por ellos circula el flujo, el cual se calienta por contacto con la pared de los mismos, y es de vital-importancia que esten hechos de un material que sea buen conductor térmico, como por ejemplo: cobre. Es muy importante que la superficie de contacto de estos tubos con la lámina receptora sea lo mejor posible, ya que esto permitirá que el calor pase más rapidamente de la lámina receptora a los tubos colectores.

AISLANTE TERMICO.

Esta parte del colector plano, sirve para evitar - las pérdidas de calor por la parte posterior del mismo, y es de vital importancia lograr que el calor obtenido en el colector no se escape a la atmosfera, teniendo de esta forma una mayor eficiencia, este aislante puede ser de fibra de vidrio, espuma sintetica, lana animal u otros,

LA CAJA.

Esta es armada de madera, lamina galvanizada, aluminio, plástico o asbesto, la cual contiene en su interior los elementos integrantes del colector plano ya -- descritos y los protege de las inclemencias del tiempo.

ORIENTACION.

Los colectores pueden colocarse horizontales, verticales o inclinados, la orientación depende del tamaño y peso de los colectores, la latitud y las necesidades arquitectonicas. Los colectores horizontales son más faciles de construir y de montar, pero los colectores inclinados hacia el Ecuador recogen una mayor cantidad de calor solar. En el hemisferio norte, los colectores se colocan mirando hacia el sur y con una inclinación de un angulo igual a la latitud, se recomienda que este angulo con la horizontal aumente 10° ó 15° en invierno y disminuya la misma cantidad en verano. Los colectores - inclinados tienen menos problemas con la nieve, lluvia, o polvo.

Normalmente los colectores planos se montan en una posición fija, aunque si los elementos no son muy grandes, es práctico algunas veces moverlos cada pocos - días para obtener la máxima radiación, a medida que cambia la estación del año.

EFICIENCIA TÉRMICA DEL COLECTOR.

La eficiencia térmica instantánea, es el calor aprovechado por unidad de área con relación a la energía total recibida en un instante determinado y está dada por la ecuación siguiente.

$$\eta = \frac{Q_u}{I A_c} \dots\dots\dots(5)$$

- Q_u = Calor útil = $M C_p \Delta T$ (W)
- A_c = Área del colector (m²)
- I = Insolación. (W/m²)

Eficiencia térmica global, es el calor aprovechado por unidad de área con relación a la energía recibida en un periodo de tiempo de operación del equipo y está dada por la ecuación

$$\eta = \frac{Q_u(\text{diaria})}{A_c I(\text{diaria})} \dots\dots\dots(6)$$

$$\eta = \frac{M C_p \int_{T_1}^{T_2} T dt}{A_c \int_{T_1}^{T_2} I dt}$$

$$Q_u = A_c F_r \left[\int_{T_1}^{T_2} I - U_1 (T_e - T_a) \right] \dots\dots\dots(7)$$

$$Q(\text{total}) = A_c F_r \left[\int_{T_1}^{T_2} I - U_1 \int_{T_1}^{T_2} (T_e - T_a) dt \right] \dots\dots\dots(8)$$

Haciendo un analisisi térmico de los colectores so-
lares, para predecir las variables, de acuerdo al dise-
ño del mismo por medio de las ecuaciones (7) y (8)

F_r = Factor de remoción.

$\mathcal{J}\alpha$ = Producto de la transmitancia de la cubierta por la
absorvancia de la placa.

U_1 = Coeficientes de pérdidas de calor.

T_e = Temperatura de entrada del colector.

T_a = Temperatura ambiente.

FACTORES DE DISEÑO QUE AFECTAN AL COLECTOR.

Los factores que dependen directamente de la cons-
trucción especifica del colector son : F_r y U_1 .

El F_r , que es el factor de remoción, y este nos in-
dica la capacidad que tiene el colector de aprovechar el
calor que entra en la caja del mismo.

El U_1 , este nos indica las pérdidas totales del ca-
lor que entra en el colector y el medio ambiente que
los rodea.

DUFFIE Y BECKMAN, basandose en el analisis térmi-
co de los colectores solares, desarrollaron la relación
siguiente para el cálculo del factor de remoción.

$$F_r = \frac{G C_p}{U_1} (1 - e^{-\frac{U_1 F'}{G C_p}}) \dots\dots(9)$$

G = Gasto másico por unidad de area del colector.

G = M_o/A .

F' = Factor de eficiencia del colector y que depende del diseño del mismo.

$$F' = \frac{1/U_1}{W + \frac{1}{U_1(D+(W-D)F)} + 1/C_B + \frac{1}{D_1 h \pi}} \dots (10)$$

Para cada diseño en particular existe una ecuación en particular, siendo las más estudiadas las siguientes.

TIPO A (TUBOS BAJO LA PLACA.)

$$F' = \frac{1}{\frac{W}{D_1(W-D_1)F} + \frac{U_1 W}{\pi D_1 h} + \frac{U_1 W}{C_B}} \dots (11)$$

Donde.

h = Coeficiente de transferencia de calor ente el fluido y la pared de los tubos.

D_1 = Diámetro interno de los tubos (m)

W = Espacio entre los tubos. (m)

δ = Espesor de la placa receptora. (m)

C_B = Conductividad térmica de la soldadura.

TIPO B (TUBOS SOBRE LA PLACA)

$$F = \frac{1}{\frac{1}{\frac{D_1}{W} + \frac{1}{U_1 - W} + \frac{1}{C_B}} + \frac{U_1 W}{\pi D_1 h}} \dots (12)$$

TIPO C (TUBOS ENTRE DOS PLACAS.)

$$F' = \frac{l}{\frac{W}{D_i} + \frac{U_1 W}{\pi D_i h}} \dots\dots\dots(13)$$

Donde

$$h = \frac{\text{Tan hm}(W - D_i)/2}{m(W - D_i)/2} \dots\dots\dots(14)$$

$$m = \left(\frac{U_1}{k\sigma} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(15)$$

k = Conductividad térmica de la placa (W/m °C.)

h = 1500 W/m °C. Para flujo forzado.

h = 300 W/m °C. Para termosifón.

El coeficiente U_1 es la suma de coeficientes de pérdidas de calor por abajo y por los lados del colector (U_B) más las pérdidas de calor hacia arriba (U_T), o sea.

$$U_1 = U_B + U_T \quad ;;;\dots\dots\dots[16]$$

donde:

$$U_B = K_A/E_A$$

K_A = Conductividad térmica del aislante(W/m °C.)

E_A = Espesor del aislante usado (m)

Las pérdidas hacia arriba del colector, son la combinación de varios factores, que son los siguientes:

Características de la cubierta.

- a).- Emisividad de la cubierta.
- b).- Refracción.
- c).- Reflexión.

El calculo de U_T se simplifica usando la ecuación-empírica desarrollada por KLEIN en 1975 de acuerdo con el tratamiento matemático de las gráficas, 1,2,3,4,5, y 6.

$$U_T = \frac{N}{\frac{C}{T_{mp}} (T_{mp} - T_a) / (N + f) e} + \frac{1}{h_w}^{-1} + \frac{(T_{mp} + T_a) (T_{mp}^2 + T_a^2)}{(E_p + 0.00591Nh_w)^{-1} + ((2N - 1 + 0.133E_p)/E_g) N} \dots(17)$$

DONDE:

N = Número de cubiertas.

f = $(1 + 0.089h_w - 0.1166h_w E_p)(1 + 0.07866N)$

C = $520(1 - 0.00051\beta^2)$

β = Inclinación del colector.

e = $0.43(1 - 100/T_{mp})$

E_p = Emisividad de la placa.

E_g = Emisividad de la cubierta.

T_a = Temperatura del ambiente. ($^{\circ}K.$)

T_{mp} = Temperatura media de la placa. ($^{\circ}K.$)

$$T_{mp} = \frac{(T_e + T_s)}{2}$$

T_e = Temperatura de entrada.

T_s = Temperatura de salida.

h_w = Coeficiente de transferencia por efecto del viento
(W/m^2 oC.), de la literatura se obtiene que:
 $h = 5.7 + 3.8 v$

V = Velocidad del viento m/s.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DEL COLECTOR.

Haciendo un análisis de la ecuación (7) que es;

$$Q_{\text{útil}} = A_c F_r \left[\tau \alpha I - U_1 (T_e - T_a) \right]$$

Se ve que al aumentar el factor de remoción (F_r) aumenta $Q_{\text{útil}}$ ya que F_r es una variable que se puede aumentar, para lograr un buen diseño y así elevar la eficiencia del colector.

El análisis de las ecqs. anteriores muestra que para aumentar (F_r) es conveniente variar los siguientes parámetros.

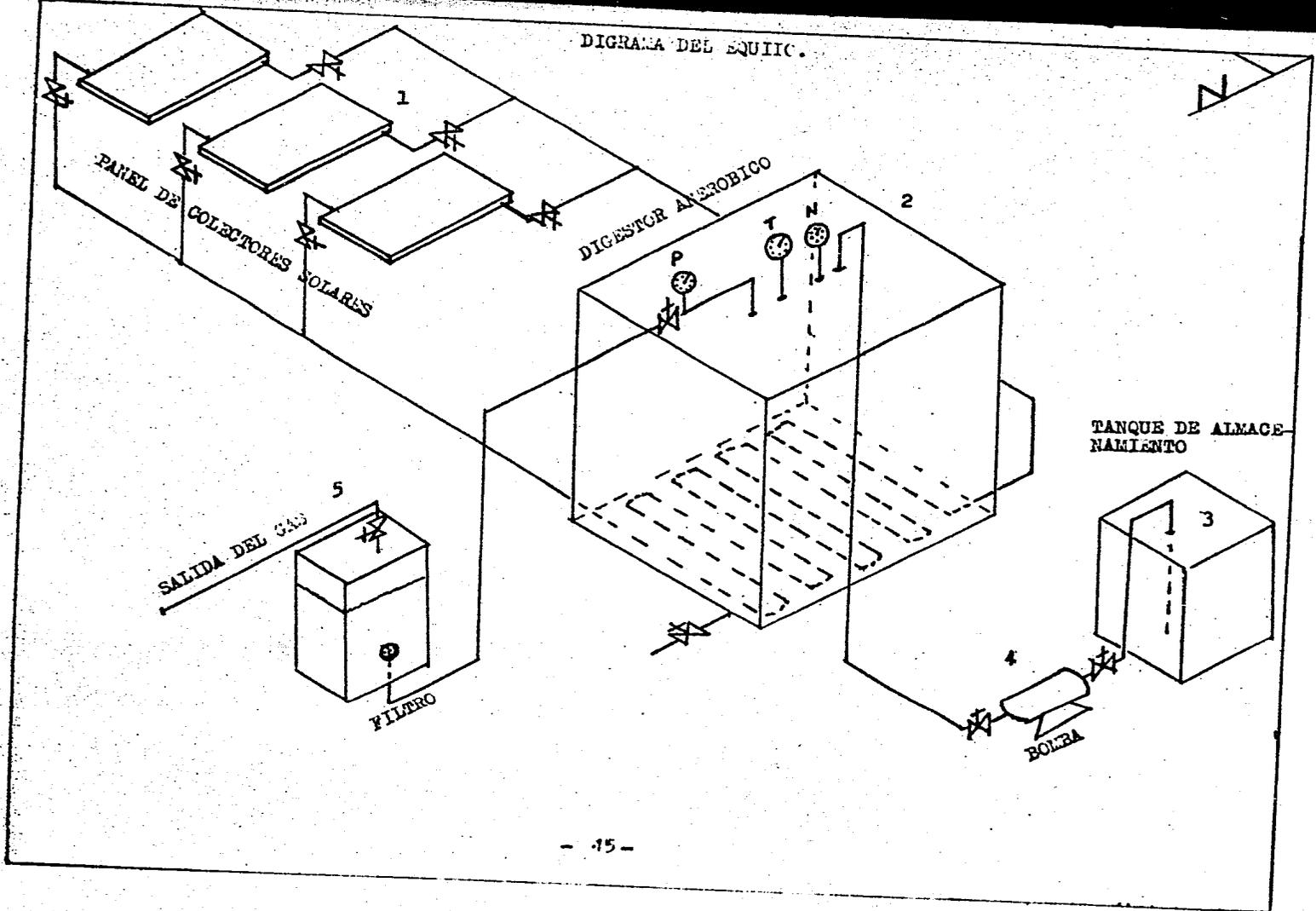
- 1.- Distancia. (Más corta entre tubos para aumentar el número de estos)
- 2.- Mayor diámetro de tubos.
- 3.- Mayor espesor de la placa receptora.

Los diseños más eficientes demuestran las dimensiones siguientes.

- a).- $W = 10$ cm.
- b).- $\phi = 3/8''$ a $3/4''$
- c).- $e = 3$ mm.

El arreglo de tubos que se requiere es del tipo B o sea los tubos sobre la placa, para provocar la transferencia por conducción y radiación, debido a que los otros arreglos tienen los tubos cubiertos de la radiación y solo hay entre ellos y la placa, transferencia de calor por conducción.

DIAGRAMA DEL EQUIPO.



Para mantener constante la temperatura del digestor anaerobico, se usará un colector solar plano, por lo que se procede a evaluar la energía necesaria para elevar la temperatura del digestor de 25 °C. hasta los 54° C. a la cual debe de estar.

T_{id} = Temperatura inicial en el digestor

T_{fd} = Temperatura final que debe de tener el digestor.

T_{id} = 25 ° C. = 77 ° F.

T_{fd} = 54 ° C. = 129.2 ° F

ΔT = 52.2 ° F. Delta de temperatura.

Q = Cantidad de calor.

$Q = m \times C_p \times \Delta T$

m = 8,000 kg. = 17.621 lbs. de solución, suponiendo una densidad de 1

$C_p = 0.96 \text{ BTU/lb. } ^\circ\text{F.}$

$Q = 17,621 \text{ lb} \times (0.96 \text{ BTU/lbs. } ^\circ\text{F.}) (52.2 ^\circ \text{F.} = 883,023 \text{ BTU}$

$Q = 216,109 \text{ kcal.}$

Este será el calor que suministrara el colector solar, para elevar la temperatura del digestor.

Como ya se conoce (Q) y (T) del agua de salida del colector, se procede a calcular la cantidad de la misma.

$$Q = 883023 \text{ BTU.}$$

$$T_c = 80^\circ\text{C.} = 176^\circ \text{ F. Temperatura del agua del colect.}$$

$$C_p = 1 \text{ BTU/lib.}$$

$$Q = m \times C_p \times T$$

$$m = \frac{Q}{C_p \times T}$$

$$m = \frac{883023 \text{ BTU}}{1 \text{ BTU/lib.} \times 176^\circ \text{ F.}} = 5,017 \text{ lb. de agua.}$$

$$m = 2,228 \text{ kg. de agua.}$$

DATOS DEL COLECTOR.

$$N = 2 \text{ (número de cubiertas.)}$$

$$V = 3 \text{ m/s. (velocidad del viento.)}$$

$$E_p = 0.95 \text{ (emisividad de la placa receptora.)}$$

$$T_c = 80^\circ\text{C.} = 176^\circ \text{ F. (temperatura de agua de salida del-colector.)}$$

$$T_a = 30^\circ\text{C.} = 86^\circ \text{ F. (temperatura del medio ambiente.)}$$

$$T_{ec} = 50^\circ\text{C.} = 90^\circ \text{ F. (temperatura de agua de entrada al colector.)}$$

$$T_{mp} = \text{(temperatura promedio)}$$

$$T_{pm} = \frac{50 + 80}{2} = 65^\circ\text{C.}$$

De las gráficas número 1, 2, ..., 6 obtenemos el valor de el coeficiente de pérdidas totales (U_t) interpolando entre los valores de $h_w = 10$ m/s. y $h_w = 20$ m/s. para obtener el U_t referente a $h_w = 17$ m/s. el cual se calcula con la ecuación siguiente.

$$h_w = 5.7 + 3.8 V \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$V = 30 \text{ m./S.}$$

$$h_w = 17.1 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Con los valores de $E_p = 95$, $N = 2$, $T_a = 30^\circ\text{C.}$ y $T_{pm} = 65^\circ\text{C.}$ nos vamos a las graficas y con el valor de $h_w = 10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$ obtenemos el primer valor para U_T .

$U_T = 3.30 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$ y para $h_w = 20 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$ tenemos.

$$U_T = 3.60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Interpolando para $h_w = 17.1 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$ nos da.

$$\frac{20 - 10}{3.3 - 3.6} = \frac{17.1 - 10}{X - 3.6}$$

$$X = \frac{17.1 - 10(3.3 - 3.6)}{20 - 10} + 3.6$$

$$X = 3.387$$

$$U_T = 3.387 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C. para } h_w = 17.1 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Usando como aislante del colector, lana mineral - para temperaturas moderadas (110°C) datos tomados del Perry pagina 3-220 tabla 3-297.

$$K = 0.046 \text{ W/m}^\circ\text{C.}$$

$$E_a = 0.0508 \text{ m,}$$

$$U_B = \frac{K_a}{E_a} = \frac{0.046}{0.0508} = 0.91 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$U_B = 0.91 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$ que es las pérdidas a través del aislante.

Haciendo las sumas de las pérdidas, nos queda

$$U_1 = U_T + U_B = 3.39 + 0.91 = 4.20 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Utilizando un arreglo de tubos tipo (B) o sea los tubos sobre la placa según la ecuación no. (12)

$$F' = \frac{1}{\frac{W U_1}{W d h} + \frac{1}{\frac{d}{W} + \frac{1}{\frac{W U_1}{C_B} + \frac{1}{(W-d)F}}}} \quad \text{donde.}$$

$$W = 0.1\text{m.}$$

$$d = 0.0095\text{m.}$$

$$h = 1500 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.} \quad \text{para flujo forzado.}$$

$$h = 300 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.} \quad \text{para termosifon que es el que se usara en este estudio.}$$

$$C_B = 407 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.} \quad \text{del Perry pag. 3-220 tabla 3-294}$$

como sabemos que :

$$m = \left(\frac{U_1}{K \delta} \right)^{1/2}$$

$$K = 384.0 \text{ W/m } ^\circ\text{C.} \quad \text{de la misma tabla del perry.}$$

$$\delta = 0.001 \text{ m.} \quad \text{Espesor de la placa.}$$

$$m = \frac{4.20 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}}{384 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.} \times 0.001 \text{ m.}} = (10.94)^{1/2}$$

$$m = 3.31$$

De la ecuación (14) tenemos lo siguiente:

$$F = \frac{\tanh m(W - d)/2}{m(W - d)/2}$$

$$F = \frac{\tanh 3.31(0.1 - 0.0095)/2}{3.31(0.1 - 0.0095)/2}$$

$$F = 99.0 \quad \text{Sustituyendo este valor en la ec.} \\ (12)$$

$$F' = \frac{1}{\frac{0.1 \text{ m} (4.2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.})}{3.14 (0.0095 \text{ m}) 300 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}} + \frac{1}{\frac{0.0095 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} + \frac{1}{\frac{0.1 \text{ m} (4.2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.})}{407 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.}}}} + \frac{1}{0.1 \text{ m} (0.0095 \text{ m}) 0.99}}$$

$F' = 0.963$ Ahora se sustituye este valor en la Ec. 7 para calcular el factor de remoción.

$$F_R = \frac{G C_p}{U_1} \left(1 - e^{-\frac{U_1 F'}{G C_p}} \right)$$

$$G = \frac{R_o}{L_o}$$

Como $m_o = 2228$ kg. de agua que provienen del modulo solar, y que es la necesaria para elevar la temperatura hasta 54°C . del digestor.

Si trabajamos el colector un periodo de 10 horas diarias, nos dara por hora, $m_o = 2228\text{kg}/10$ horas = 222.8 kg/hr. y se supone un area del colector de 20 m², o sea

$$A_c = 20 \text{ m}^2$$

$G = \frac{222.8 \text{ kg./hr.}}{20 \text{ m}^2} = 11.14 \text{ kg./m}^2 \text{ hr.}$ de agua proveniente del colector. Sustituyendo este valor en la ecu. no. (9) nos da.

$$\frac{G C_p}{U_1} = \frac{11.14 \text{ kg./m}^2 \text{ hr.} (1.5 \text{ Whr./kg.}^\circ\text{C.})}{4.20 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C.}}$$

$$\frac{G C_p}{U_1} = 3.98$$

$$F_R = 3.98 (1 - e^{-\frac{1}{3.98}(0.96)})$$

$$F_R = 0.88$$

Considerando una absorptividad de la placa del colector de 0.90, asi como una transmitancia de la cubierta del colector de 0.90, entonces tenemos lo siguiente.

$$\alpha = (0.90)^2$$

$$\gamma = 0.90$$

$$\gamma\alpha = 0.90(0.90)^2 = 0.73$$

$$F_R \gamma\alpha = 0.88 \times 0.73 = 0.64$$

$$F_R U_1 = 0.88 \times 4.2 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C.} = 3.7 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Tomando un promedio de radiación total diaria en el estado de Tabasco donde se pretende ubicar este estudio de 400 cal./cm² y un tiempo de operación de 10 horas diarias nos queda.

$I = 465.11 \text{ KW/m}^2$, sustituyendo estos valores en la ecc. no. (8) nos queda.

$$Q_{\text{total}} = A_c F_R (\gamma \alpha I - U_1 (T_e - T_a))$$

$$\gamma \alpha I = 376.6 \text{ KW/m}^2$$

$$Q_{\text{total}} = 17.6 \text{ m}^2 (376.6 \text{ KW/m}^2 - 0.0042 \text{ KW/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.} (50^\circ\text{C.} - 30^\circ\text{C.}))$$

$$= 5149.8 \text{ KW}$$

Con este valor se recalcula el area del colector.

$$A_c = \frac{5149.8 \text{ KW}}{0.64(465.11 \text{ KW/m}^2) - 0.0042 \text{ KW/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.} (20^\circ\text{C.})}$$

$$A_c = \frac{5149.8 \text{ KW}}{257.5 \text{ KW/m}^2}$$

$$A_c = 19.9$$

Considerando una area unitaria del colector de 6 m² tenemos que:

$$N_{\text{col.}} = \frac{20 \text{ m}^2}{6} = 3.3$$

$$N_{\text{col.}} = 3 \text{ Colectores.}$$

Estos colectores tendran un arreglo en paralelo, para mandar la misma cantidad de agua y a la misma temperatura.

NUMERO DE TUBOS DE CADA COLECTOR

Considerando un arreglo del colector con las siguientes dimensiones.

$$L = 3.0 \text{ m. (largo)}$$

$$A = 2.0 \text{ M. (ancho)}$$

$$w = 0.1 \text{ m. (separación entre tubos.)}$$

La separación entre tubos, más el diámetro de los mismos es la siguiente. Utilizando tubos de cobre de $3/8''$ calibre 20 resulta un espesor de:

$$e = 0.035 \text{ pul.} \times 2 = 0.070 \text{ pul.}$$

$$e = 0.070 \text{ pul.} \times 2.54 \text{ cm./pul. (1 m/100cm.)}$$

$$e = 0.00178 \text{ m.}$$

Diámetro externo de tubo es : 0.0095 m.

$$D_{\text{ex.}} = \text{Diámetro ext.}$$

$$D_{\text{ex.}} + e = 0.0095 + 0.00178 = 0.0112 \text{ m.}$$

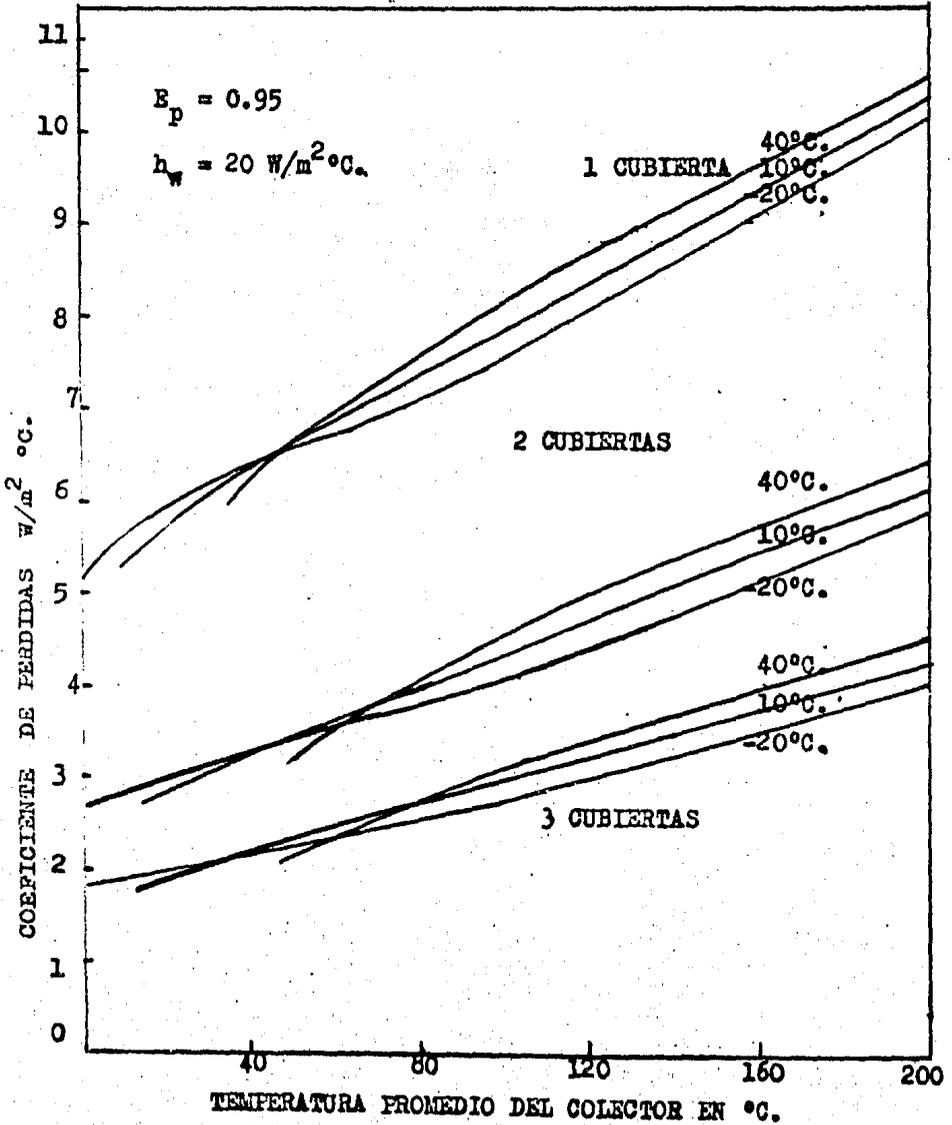
Como la separación es de 0.10 m. a esto le agregamos el diámetro del tubo. para darnos la separación total.

Sep. Total = 0.10 m. + 0.0112 = 0.1112 m. con este dato calculamos en número total de tubos.

$$N_{\text{t}} = \text{total de tubos} = N_{\text{t}}$$

$$N_{\text{t}} = \frac{3 \text{ mt. tub.}}{0.1112 \text{ m.}} = 26.97 = 27 \text{ Tubos. Por lo tanto se necesitan 27 tubos por colector de 1.80 m. largo.}$$

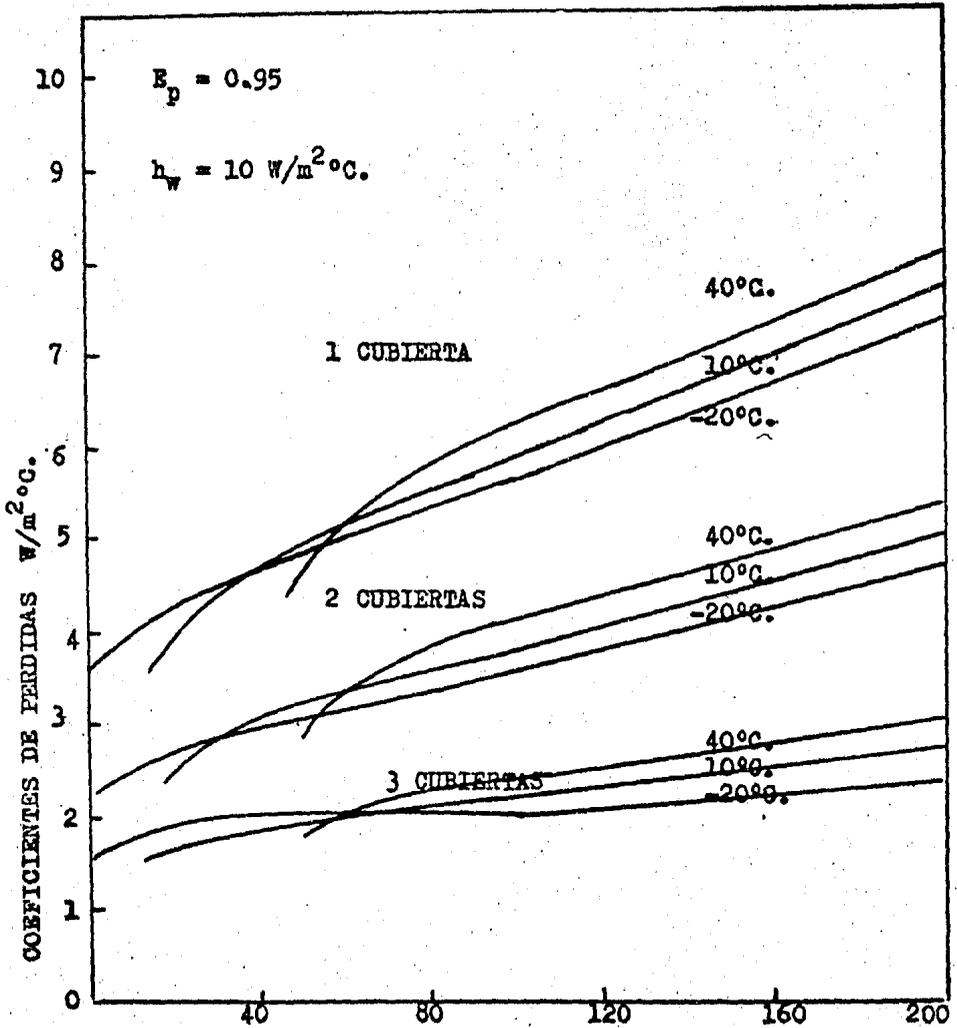
GRAFICA NO. I



DATOS TOMADOS DE SOLAR INGENIERING OF TERMAL

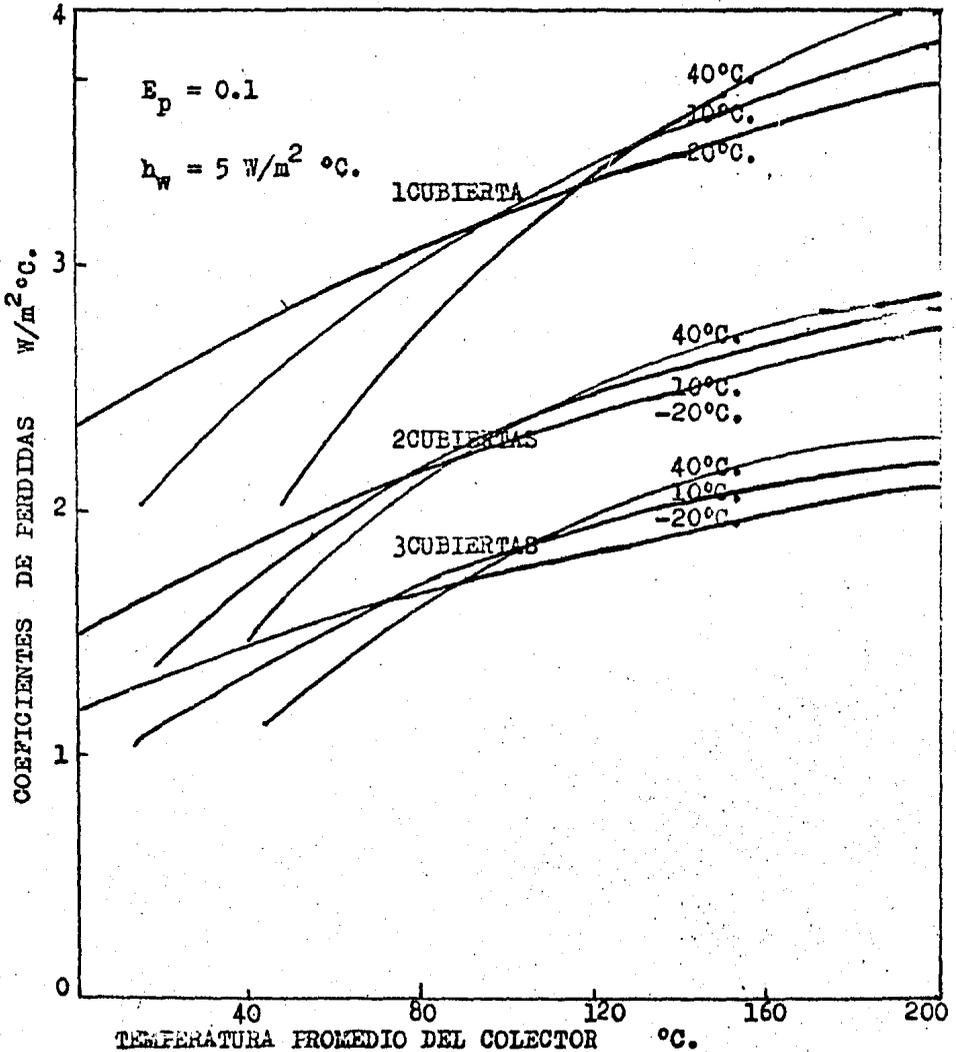
Ph . . PAG. 207

GRAFICA NO. 2



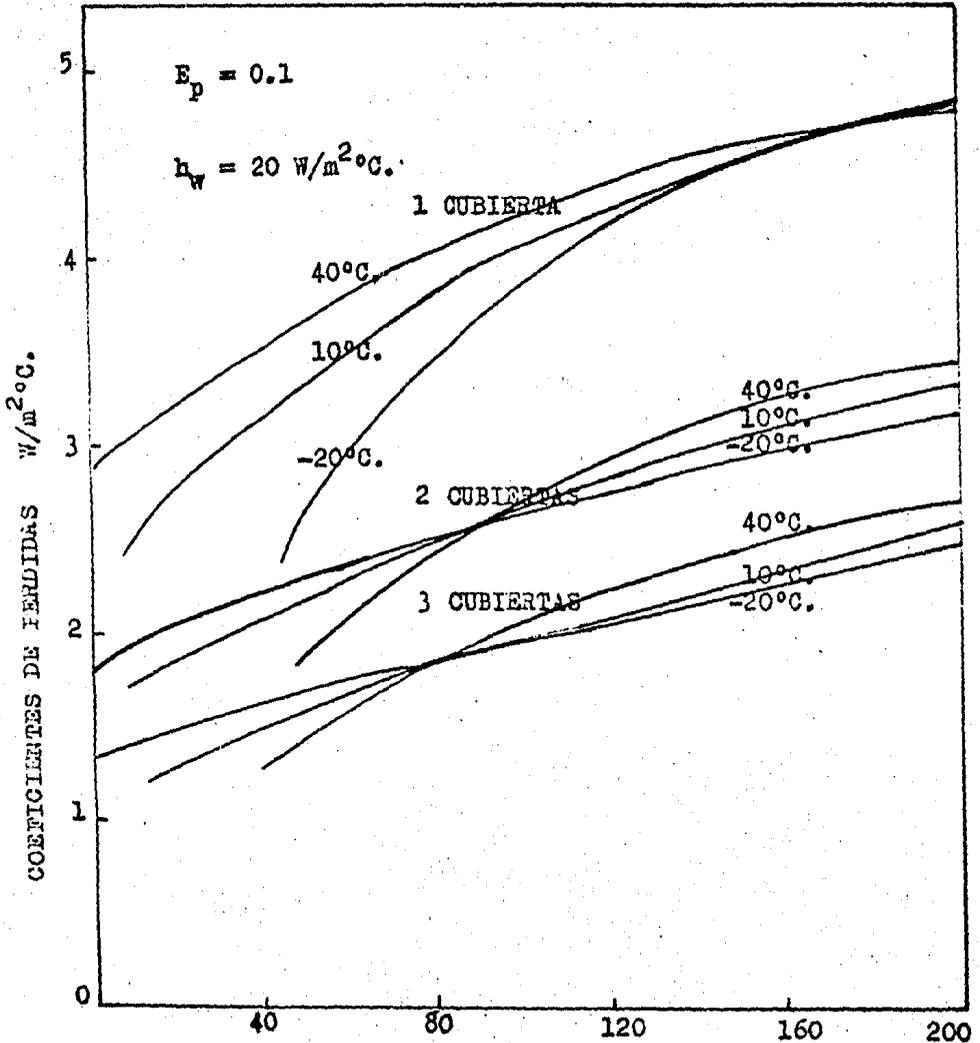
TEMPERATURA PROMEDIO DEL COLECTOR
DATOS TOMADOS DE SOLAR INGENIERING OF THERMAL
PROCESO PAG. 207

GRAFICA NO 3



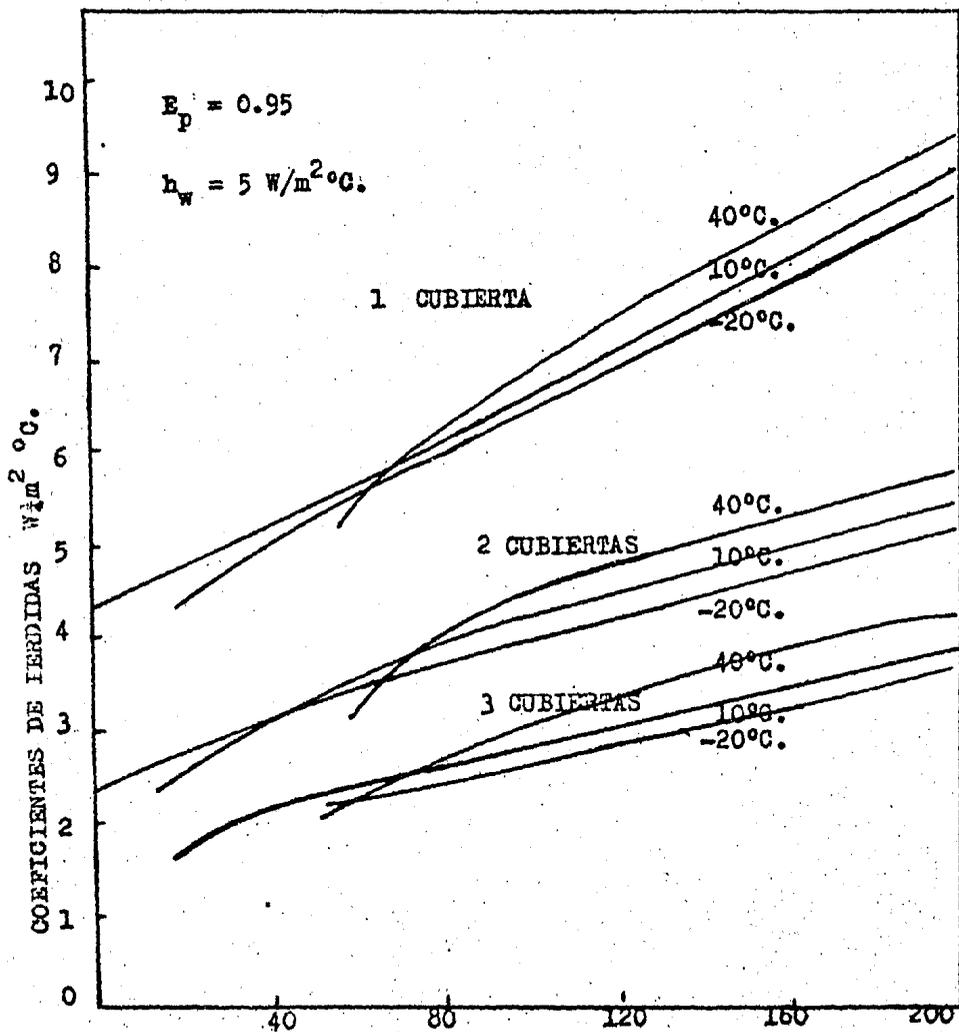
DATOS TOMADOS DE SOLAR INGENIERING OF THERMAL
 PROCESO PAG. 208

GRAFICA NO 4



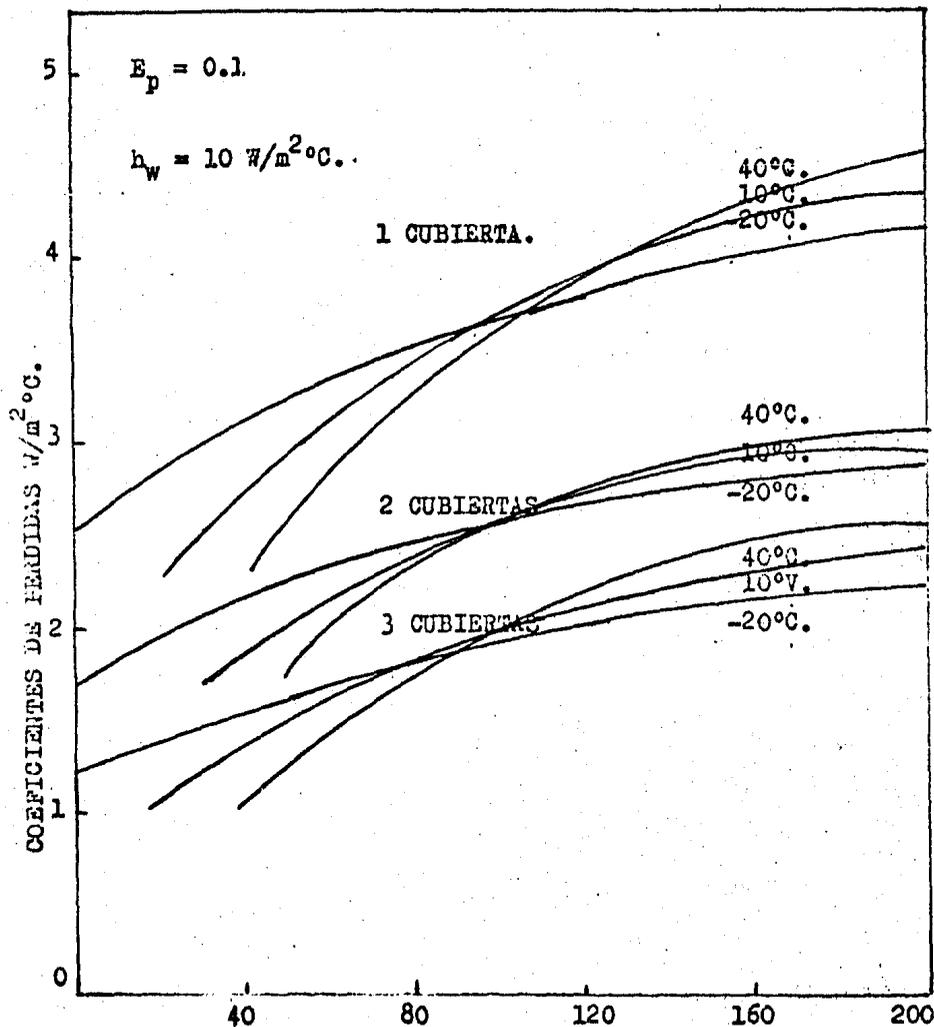
DATOS TOMADOS DE SOLAR INGENIERING OF THERMAL
 PROCESO PAG/ 208

GRAFICA NO. 5



TEMPERATURA PROMEDIO DEL COLECTOR °C.
 DATOS TOMADOS DE SOLAR INGENIERING OF TERNAL
 PROCESO PAG. 209

GRAFICA NO. 6



TEMPERATURA PROMEDIO DEL COLECTOR. °C.
 DATOS TOMADOS DE SOLAR INGENIERING OF THERMAL
 PROCESO PAG. 209

CALCULO DE LA BOMBA

Para seleccionar la bomba los factores que se deben tener en cuenta son los siguientes:

- a).- Capacidad (gasto) cantidad de liquido que va a manejar la bomba, que en este caso es $G = 8,000$ lts./hr.
- b).- Columna o carga estática (nivel de succión y descarga.)
- c).- Carga dinámica (fricción producida por los codos, valvulas y el tubo.)
- d).- Liquido bombiado (viscosidad y densidad,)
- e).- Temperatura del liquido.

Haciendo un analisis de la ecc. de Bernoulli se tiene lo siguiente.

$$\frac{0}{\rho} + P_1 V_1 + Z_1 g / \epsilon_c + \frac{0}{\rho} + \frac{0}{2g_c} + Q = \frac{0}{\rho} + P_2 V_2 + Z_2 g / \epsilon_c + \frac{0}{\rho} + \frac{0}{2g_c} + W + Zf$$

Nos queda.

$$P_1 V_1 + Z_1 g / \epsilon_c = P_2 V_2 + W + Zf$$

$$P_1 = 14.7 \text{ Libs./pul.}^2$$

$$P_2 = 29.4 \text{ Libs./pul.}^2$$

$$V_1 = 1/\rho_1$$

$$V_2 = 1/\rho_2$$

$\rho = \rho$ ya que la temperatura en la misma en la succión y el la descarga.

$$Z_1 = 1.20 \text{ m.} = 3.94 \text{ pies.}$$

$$z_2 = 2.55\text{m.} = 8.37 \text{ pie.}$$

$$L = 8 \text{ m.} = 26.26 \text{ pie.}$$

2 Valvulas de globo de 2" de ϕ

6 codos de 90° grados de 2" de ϕ

$\rho = 62.4 \text{ lb./pie}^3$ densidad del agua 30°C.

$$V_1 = V_2 = 1/\rho = 1/62.4 \text{ lb./pie}^3 = 0.016 \text{ pie}^3/\text{lb.}$$

$$\begin{aligned} P_1 V_1 &= (14.7 \text{ lb.f./pul.}^2) (144 \text{ pul.}^2/\text{pie}^2) (0.016 \text{ pie}^3/\text{lb.}) = \\ &= 33.87 \text{ lb.f.-pie/lb.m.} \end{aligned}$$

$$z_1 g/g_c = 3.94 \text{ pie} \left(\frac{32.2 \text{ pie/seg.}}{32.2 \text{ lb.m.-pie}^2/\text{lb.f.-seg.}} \right) = 3.94 \text{ lb.f.pie/lb.m.}$$

$$\begin{aligned} P_2 V_2 &= 29.4 \text{ lb.f./pul.}^2 (144 \text{ pul.}^2/\text{pie}^2) (0.016 \text{ pie}^3/\text{lb.m.}) = \\ &= 68 \text{ lb.f.-pie/lb.m.} \end{aligned}$$

$$z_2 g/g_c = 8.37 \text{ pie } g/g_c = 8.37 \text{ lb.f.-pie/lb.m.}$$

Suma de fricciones.

2 valvulas de globo completamente abiertas de 2" ϕ

$$L/D = (340/2)(2) = 340 \text{ pie.}$$

6 codos de 90° grado $L/D = (30/2)(6) = 90 \text{ pies.}$

$$L = 26.26 \text{ pies.}$$

$$\Sigma L = 456.26 \text{ pie.}$$

La aspereza relativa del tubo de acero al carbon cedula 40 de 2" ϕ $E/D = 0.0009$

Datos sacados del apendice C del libro de principios de operaciones unitaria de A. S. Foust.

Para calcular suma de fricciones es necesario calcular la velocidad del fluido, por lo tanto tambien se debe calcular el área transversal del tubo.

$$A_t = (2 \text{ pul.}/12 \text{ pul./pie.})^2 (3.1416/4) = 0.0218 \text{ pie}^2$$

$v = \text{GASTO} / \text{AREA-DENSIDAD.}$

$$v = \frac{(8,000 \text{ kg./hr.})(2.21 \text{ lb./kg.})(1 \text{ hr./3600 seg.})}{(0.0218 \text{ pie}^2) 62.4 \text{ lb./pie}^3} = 3.59 \text{ pie/seg.}$$

$$v^2 = 12.89 \text{ pie}^2/\text{seg.}^2$$

$$\Sigma F = \frac{f v^2 \Sigma L}{2g_c \phi}$$

Para calcular (f) es necesario calcular el número de reynolds, conociendo ya aspereza relativa (E/D)

$$N_{Re.} = \frac{D v \rho}{\mu} \quad \mu = 0.00076 \text{ lb.m/pie-seg.}$$

$$N_{Re.} = \frac{(2''(1 \text{ pie}/12''))(3.59 \text{ pie/seg.})(62.415 \text{ lb.m./pie}^3)}{0.00076}$$

$$N_{Re.} = 49,126.3$$

Determinado ya el $N_{Re.}$ y E/D se obtiene $f = 0.024$ del apendice C-3

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \frac{0.024(12.89 \text{ pie}^2/\text{seg.}^2)(456.26 \text{ pie})}{2(32.21 \text{ lb.m.-pie/lb.f-seg})(2 \text{ pul.} \times 1 \text{ pie}/12 \text{ pul.})} \\ &= 15.15 \text{ lb.f.-pie/lbm.} \end{aligned}$$

$$W = P_1 V_1 + Z_1 \varepsilon / g_c - P_2 V_2 - Z_2 \varepsilon / g_c - \Sigma F$$

$$W = (33.87 + 3.94) \text{Lb.f-pie/lb.m.} - (68 + 8.37 + 15.15) \text{lb.f.-pie/lb.m.}$$

$$W = -51.75 \text{ lb.f.-pie/lb.m.}$$

$$G = 8,000 \text{ kg./hr.} = 4.89 \text{ lb.m/seg.}$$

$$\text{Potencia} = G W$$

$$G W = 4.89 \text{ lb.m/seg.} (51.75 \text{ Lb.f-pie/lb.m.}) = 253 \text{ lb.f-pie/seg.}$$

$$1 \text{ HP.} = 550 \text{ lb.f-pie/seg.}$$

$$\text{HP}_{\text{bomba}} = \frac{253 \text{ lb.f.-pie/seg}}{550 \text{ lb.f.-pie/seg.}} = 0.460 \text{ HP.} = 1/2 \text{ HP}$$

Se ajusta a medio caballo por que no hay bombas de -
0.460 HP.

CONSTRUCCION Y COSTO DEL DIGESTOR

El digestor puede tener la forma del recipiente que se deese o del cual se disponga, el material puede ser metal, ferroconcreto, plastico, etc.

En este caso se propone de ferroconcreto de forma de un cubo de 2.4 mts. por lado, de acuerdo a lo siguiente.

La base, estara formada de por 4 varillas corrugadas de $\frac{1}{2}$ " por cadena las cuales serán 8 con anillos de alambres de $\frac{1}{2}$ " de 0.20 mt. por lado cada 0.20 mt., lo mismo para los castillos.

Como las dimensiones del digestor son pequeñas (tipo-piloto.), solo se le pondran 4 castillos, uno en cada esquina y 8 cadenas de 2.4 mts. (4 abajo y 4 arriba.), por lo que nos queda, para las cadenas:

4 varillas de $\frac{1}{2}$ " / cadena (2.4 mts. / varilla) (8 cadenas) = 76.8 mts. de varilla, y como se tiene que por cada mt. de varilla hay 1.04 kg. esto nos da

76.8 mts. (1.04 kg. / mt. de varilla) = 80 kgs. de varilla.

Castillos

4 varillas / castillo (4 castillos) (2.9 mts. / varilla) = 47 mts.

47 mts. (1.04 kg. / mt. de varilla) = 49 kgs. de varilla

La losa será de 0.10 mt. de espesor de varilla corrugada de $\frac{1}{2}$ " las cuales se colocarán cada 0.20 mts. en forma de parrilla, la cual tendrá 12 varilla de 2.4 mt. por metro. esto nos da.

12 varillas / mt. (2.4 mt.) (2.4 mts. de largo) = 70 mts. de var. esto nos da en kilos :

70 mts. (1.04 kgs. / mt.) = 73 kgs. de varilla, que sumada a la de las cadenas y de los castillos nos da

80 kgs. + 47 kgs. + 73 kgs. = 200 kgs. de varilla.

Como la tonelada de varilla corrugada está a \$100,000
10s 200 kgs. que se necesitan nos importan un total de \$ 20,
000.00

Cálculo de la cantidad y costo del alambren, se necesi-
tan 7 anillos por métropara la 8 cadenas de 2.4 mts. de
largo por lo que nos da lo siguiente.

7 anillos/mt. (2.4 mts.) (8 cadenas) = 134 anillos.

Para los castillos nos da:

4 anillos/mt. de castil (2.9 mts.) (4 castillo) = 82 anillos.
que sumados a los anteriores nos dan un total de 216 anillos
de 0.20 mts. de lado, o sea una longitud de alambren por ani-
llo de 0.80 mts. más 0.10 mts. para el amarre nos da 0.90mt.
de alambren por anillo.

216 anillos (0.90 mts./anillo) = 195.2 mts. l. de alambren,
el cual pesa 0.4 kgs./mt. l. esto nos da.

195.2 mts. l. (0.4 kgs./mt.) = 78 kgs. de alambren y como el-
kg. está a \$ 30.00 esto nos importa un total de :

78 kgs. (\$ 30.00/kg.) = \$ 2,340.00

Alambre recocido para amarrar, como entre las cadenas
y castillos se tienen 216 anillos, que para ser amarrado se-
necesitan 0.40mts. de alambre por cada esquina (4) esto nos -
da un total de :

216 anillos (4 esquina/anillo) (0.40mts/esquina) = 340 mts. y
como un mt. pesa 0.075 kgs./mt. nos da:

340 mts. (0.075 kgs./mt.) = 25.5 kgs. de alambre.

Alambre para amarrar el emparrillado para la losa, --
que es de 5.76 m² y como se lleva 36 alambres de 0.40 mts. -
por m². esto nos da

5.76m² (36 alambres/m²) (0.40 mts.) = 83 mts. de alambre r.--
que sumados a los anteriores nos dan un total de 423 mts. l.
83 mts. (0.075 kgs./mt.) = 6.22 que sumado a los anteriores-
nos dan = 31,72 kgs.

Como el kg. de alambre recocido vale \$ 50.00, nos da
un total de :

31.72 kgs. de alambre R. (\$ 50.00/kg. alambre R.) = \$1586.00

Paredes, estas son 4 en total de 2.4 mts. de ancho - por 2.4 mts. de largo por lo que nos dan un total de:

$$4 \text{ paredes}(2.4 \text{ mts})(2.4 \text{ mts.}) = 23.04 \text{ m}^2 \text{ de pared.}$$

Se necesitan aproximadamente 50 ladrillos por mt^2 - esto nos da un total de ladrillos de :

$$50 \text{ ladrillos}/\text{mt}^2(23.04 \text{ mts}^2) = 1152 \text{ ladrillos de}(0.10 \times 0.20 \times .05) \text{ mt.}, \text{ como el millar esta a } \$ 15,000.00 \text{ esto nos da:}$$
$$1152 \text{ ladrillos}(15.00/\text{ladrillo}) = \$ 17,280.00$$

Serpentin, este será de tubo de cobre de $\frac{1}{2}$ " de diámetro por $\frac{1}{8}$ de pulgada de espesor, el cual tendrá 10 pasos por metro de digestor, lo que nos da la siguiente longitud del tubo.

$$10 \text{ vuelta}/\text{mt.}(2.4 \text{ mts.})(2.4 \text{ mts de ancho.}) = 57.8 \text{ mts. l.},$$

como el metro de este tubo es a \$ 100.00 esto nos da:

$$57.8 \text{ mts. de tubo } (\$ 100.00 /\text{mt. de tubo}) = \$ 5780.00$$

Aislante , este ya colocado sale a razón de \$ 1,000.00 mt^2 , como la superficie a aislar son todas las caras menos una se tiene :

$$2.4 \text{ mts}(2.4\text{mts.}) = 5.76 \text{ mts}^2 \text{ por lado}$$
$$5.76 \text{ mts}^2/\text{lado } (5 \text{ lados}) = 28. 8 \text{ mts}^2 \text{ que nos da un total, de } \$ 28,800.00$$

Este aislante será de colchoneta mineral.

Grava, la grava necesaria para la losa es la sig.:

$$2.4 \text{ mts.}(2.4\text{mts.}) = 5.76 \text{ mts.}^2 \text{ por } 0.10 \text{ mts. de espesor, --}$$

nos da $5.76 \text{ mts.}^2(0.10 \text{ mts. espesor}) = 0.576 \text{ mts.}^3$, de los cuales 40 % es arena, 35 % es grava y 25 % es cemento.

$$\text{Arena} = 0.576(0.40) = 0.2304 \text{ mts.}^3$$

$$\text{grava} = 0.576(0.35) = 0.2016 \text{ mts.}^3$$

$$\text{cemento} = 0.576(0.25) = 0.1440 \text{ mts.}^3$$

Materiales para los castillos, los cuales tienen 2.9 mts. de largo por 0.20 mts. de espesor.

$$4 \text{ castillos } (0.20 \text{ mts.})^2 \text{ de espesor}(2.90 \text{ mts. de largo}) =$$
$$= 0.464 \text{ mts.}^3 \text{ de los cuales se tiene lo sig.}$$

$$\text{Arena} = 0.464(0.40) = .1856 \text{ mts.}^3$$

$$\text{grava} = 0.464(0.35) = .1624 \text{ "}$$

$$\text{cemento} = 0.464(0.25) = .116 \text{ "}$$

$$\text{Material para las cadenas } 8 \text{ cad.}(0.20\text{m.})^2(2.4 \text{ m.}) =$$
$$0.768 \text{ m}^3.$$

Arena = 0.3072 m^3 , Grava = 0.2688 m^3 y Cemento 0.192 m^3

Materiales para el piso del digestor, que tiene las siguientes dimensiones.

$(2.4 \text{ m.})(2.4 \text{ m.})(0.10 \text{ m. espesor}) = 0.576 \text{ m}^3$ de material, que está distribuido como sigue.

Arena $0.40(0.576) = 0.2304 \text{ m}^3$

Grava $0.35(0.576) = 0.2016 \text{ m}^3$

Cemento $0.25(0.576) = 0.1440 \text{ m}^3$

Repello de las paredes al cepillo para que haya adhesividad del aislante. Son en total cuatro costados de 5.76 m^2 que nos dan $4 (5.76 \text{ m}^2) = 23.04 \text{ m}^2$ y como es por dentro y por fuera nos da un total de 46.08 m^2 de 1.5 cm. de espesor, esto nos da lo siguiente.

$46.08 \text{ m}^2 (0.015 \text{ m. espesor}) = 0.6912 \text{ m}^3$

Arena 70% $(0.6912) = 0.4838 \text{ m}^3$

Cemento 30% $(0.6912) = 0.2074 \text{ m}^3$

Material necesario para unir los tabiques que forman las paredes, por experiencia se ha visto que se necesitan 10 kg. de cemento y 0.068 m^3 de arena por metro cuadrado de pared y como se tienen 23.04 m^2 de pared.

$23.04 \text{ m}^2 (0.06833 \text{ m}^3 \text{ de arena / m}^2 \text{ de pared}) = 1.57 \text{ m}^3$ arena

$23.04 \text{ m}^2 (10 \text{ kg. cemento / m}^2 \text{ de pared}) = 230.4 \text{ Kg.}$ como la densidad del cemento es de 2000 kg / m^3 nos da en m^3

$230.4 \text{ kg / } 2000 \text{ kg / m}^3 = 0.1152 \text{ m}^3$

Suma total de arena.

$(0.2304 + 0.1856 + 0.3072 + 0.4838 + 1.57) \text{ m}^3 = 2.776 \text{ m}^3$

Con un precio de \$ 700 nos da $2.776 \text{ m}^3 (\$700/\text{m}^3) = \$ 1,944$

Suma total de grava.

($0.2016 + 0.1624 + 0.2688 + 0.2016 = 0.8344 \text{ m}^3$ con un -
precio de \$ 4,000 nos da $(0.8344 \text{ m}^3 \text{ Grava})(\$ 4,000.00/\text{m}^3) =$
\$ 3,338.00

Suma total de cemento.

$0.144 + 0.116 + 0.192 + 0.144 + 0.247 + 0.115 = 0.7746 \text{ m}^3$
como la densidad del cemento es aproximadamente $2000 \text{ kg}/\text{m}^3$
esto nos da 1.55 ton. y como la ton. es a \$ 12,000.00-
no queda 1.55 Ton($\$ 12,000.00/\text{ton.}$) = \$ 18,590.00

COSTO DEL DIGESTOR.

MATERIAL Y DESC.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
		\$	\$
Varilla corrugada de			
½ pulgada de espesor.	0.200 ton	100,000	20,000
Alambre de ¼ de Pulgada.	78 Kg.	30	2,340
Alambre recocido	31.7"	50	1,586
Tabique rojo	1152 pzas.	15	17,280
Tubo de cobre para el -			
serpentin de ½ pulg.	57.8 m.	100	5,780
Aislante de lana mineral	28.8 m ²	1000	28,800
Arena	2.776 m ³	700	1,944
Grava	0.8344m ³	4000	3,338
Cemento	1.55 Ton	12,000	18,590
Manómetro de 50 #	1 pza.	3000	3,000
Termómetro con caratula			
indicadora.	1 pza.	3500	3,500
Indicador de nivel	1 pza.	4000	4,000
Valvula de globo ½ pulgada			
acero al carbon	1 Pza.	1000	1,000
Tubo de 2.5 pulg. Ø. acero			
al carbon cedula 40	6 m.	80	480
TOTAL		\$	111638
Mano de obra 50 % del costo del material		\$	55819
TOTAL INCLUYENDO MANO DE OBRA		\$	167,457

COSTO DEL PANEL DE COLECTORES SOLARES?

Los colectores solares, se propone se adquieran ya -
 contruidos e instalados, para tener la certeza de que fun-
 cionaran bien y se sugiere sean de dos cubiertas, ya que
 segun experiencias se obtiene el mejor aprovechamiento de
 la energía solar.

MATERIAL Y DESC.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO \$	TOTAL \$
Colector solar de 2 cubierta de 2 X 3 mts.	4	70,000.00	280,000.00
Valvulas globo de 1"Ø a.c. de 50 libras.	6	1,500.00	9,000.00
Tubo de a.c. de 1" Ø cedula 40	10	150.00	1,500.00
Reducciones concentri- cas A.C. de 1 x ½"	2	500.00	1,000.00
TOTAL (incluyendo instalación)			\$ 291,500.00

Costo de la bomba, esta según los cálculos es de $\frac{1}{2}$ caballo de fuerza de acero al carbón para un gasto de 8000 lts./H. no corrosivo, su valor según cotización es \$ 35,000.00

Se necesitan 8 mts. de tubo de 2 pulg. de \emptyset acero al carbon cedula 40 el cual tiene un precio por metro de \$ 200/m.

8 mts. (\$ 200.00/m.) = \$ 1,600.00

2 valvulas de globo de 2 pulg. de \emptyset acero al carbon de --
\$ 2,000.00 c/u = \$ 4,000.00 lo que nos da un total de :
\$ 40,600.00

Costo del tanque de preparación de carga. Este tiene un --
costo aproximado del 10 % del digester, ya que es un 10 %
de su volumen. = \$ 16,000.00

Costo del filtro, este a igual que el tanque anterior ten-
dra un valor de 10 % del costo del digester \$ 16,000.00

COSTO DE TODO EL SISTEMA.

COLECTOR SOLAR.	\$ 297,500
DIGESTOR ANEROBICO.	\$ 167,457
BOMBA CENTRIFUGA.	\$ 40,600
TANQUE DE PREPARACION DE CARGA.	\$ 16,000
TANQUE QUE SIRVE DE FILTRO.	\$ <u>16,000</u>
TOTAL	\$ 537,557

CONCLUSIONES

1.- Se propone el proceso de digestión anaerobica del bagazo de caña para producir gas metano y usarse como fuente de energía a las calderas. Sustituyendo al proceso de combustión directa que se usa con este fin en los Ingenios Azucareros.

2.- Haciendo una comparación de lo que en energía produce un Kgr. de bagazo de caña por combustión directa que es de 3,219 Kcal./Kgr. y un Kgr. del mismo bagazo por digestión anaerobica que es de 7,355 Kcal./Kgr. como se puede ver ofrece un mejor aprovechamiento de la materia prima, lo cual repercutirá favorablemente en la economía de la empresa.

Además se tiene como ventaja adicional que el residuo de la digestión anaerobica podrá ser usado como fertilizante en los plantíos de la misma industria, haciendo más atractivo el proceso de digestión anaerobica.

3.- Este proceso también ofrece la ventaja de eliminar fuentes contaminantes del medio ambiente originados por desechos orgánicos.

RECOMENDACIONES

1.- Al optimizar el proceso de digestión anaeróbica, se justifica el de colectores solares, pero si se desea abatir costos, estos no son absolutamente necesarios, puesto que un digestor puede operar sin ellos.

En pequeñas granjas o fábricas donde se requiera eliminar desperdicios orgánicos, puede eliminarse los colectores solares y el aislante térmico del digestor.

2.- Se recomienda que los lodos que se obtienen al finalizar el proceso de digestión anaeróbica y que serán usados como fertilizantes, se expongan al aire libre por un tiempo mínimo de 30 días para evitar contaminaciones, puesto que el aire provoca la muerte de los microorganismos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- LOS DIGESTORES, ENERGIA Y FERTILIZANTE PARA EL DESARROLLO RURAL.
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES SOBRE RECURSOS BIOLÓGICOS.
XALAPA VERACRUZ 1979.
- 2.- SOLAR ENERGY FUNDAMENTALS IN BUILDING DESIGN.
BROCE ANDERSON. PAG. 146 - 209
EDITORIA MC. GRAM HILL. 1977
- 3.- SOLAR INGENIERING OF THERMAL PROCESO, JOHN A DUFFIE
WILLIAM A BECKMAN
AWILEK INTERSCIENCE PUBLICATION
JOHN WKEY & SOW NEW YORK
- 4.- SERIE DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.
RAFAEL ALMANZA.
NO/ 357 OCTUBRE DE 1975
- 5.- SOLAR THERMAL ENGENERING.
SPACE HEATINGIND HOT WATHER SYSTEMS.
PETER J. LUNDE PAG 120 - 152
- 6.- ESTUDIO DE UN SISTEMA DE DESALACION PARA SERVICIO, OPERANDO CON ENERGIA SOLAR.
TESIS 1982. PAG. 66 - 76
ROBERTOM. RAMOS RIVERA.