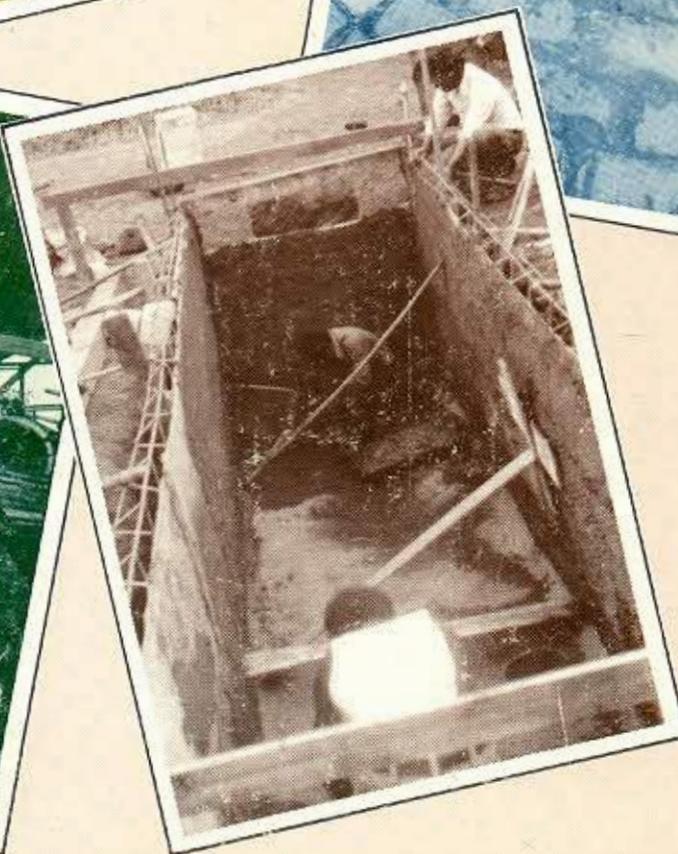
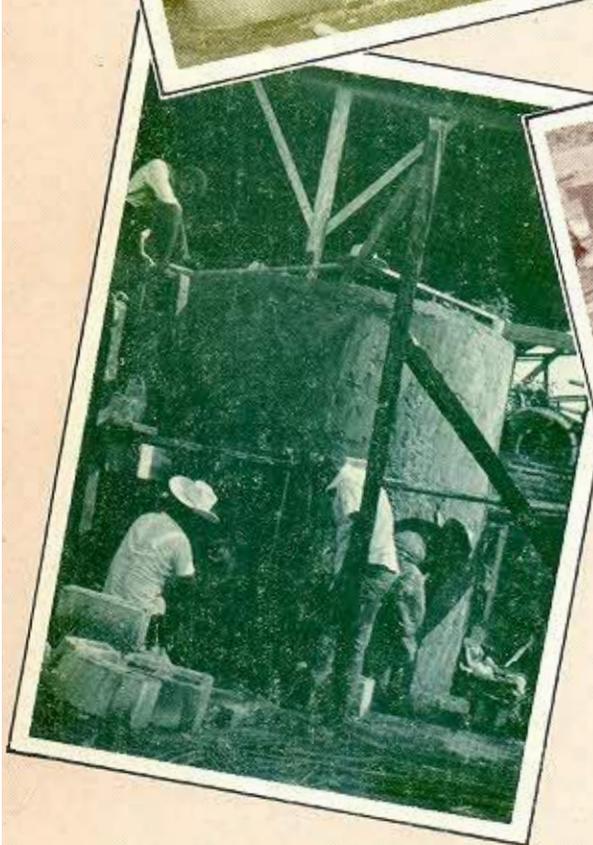
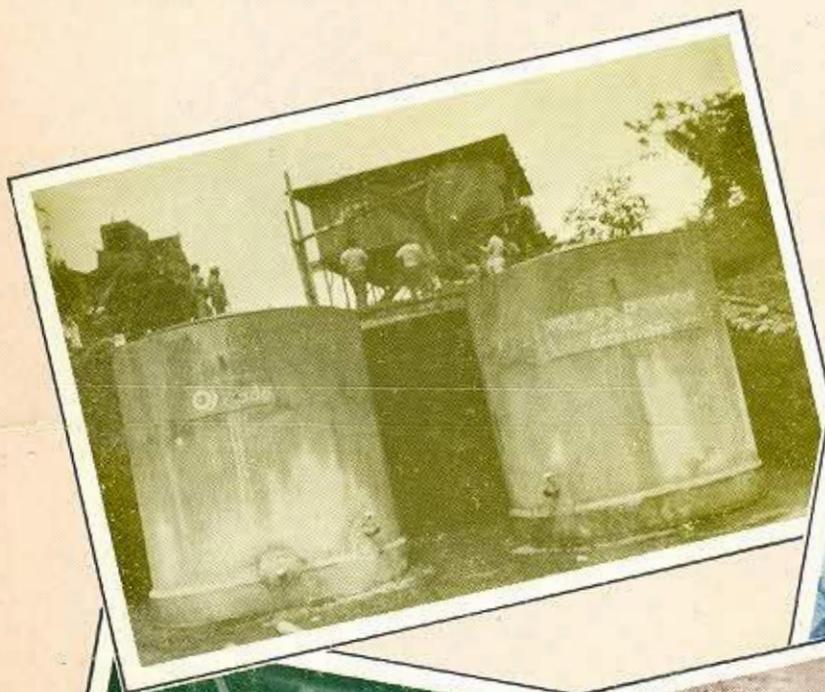


ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

SECRETARIA PERMANENTE

BOLETIN ENERGETICO No. 14

ENERO /MARZO 1980



el biogas como alternativa energética para zonas rurales

La crisis energética en el mundo actual debida fundamentalmente a una secular explotación indiscriminada de combustibles fósiles no renovables (petróleo, gas natural, hulla), que la naturaleza ha tardado milenios en formar, se manifiesta en: una continua elevación de precios y en una desigual distribución de estos y sus derivados lo cual ha ocasionado una aguda escasez de los mismos, particularmente en los países en desarrollo como el nuestro con grave repercusión en la economía nacional.

Particularmente en el Perú, la escasez de combustibles y sus altos costos, sumado a la deficiente infraestructura de transporte y el reducido poder adquisitivo de la población campesina, está limitando cada vez más el uso de combustibles derivados de petróleo en las zonas rurales, predominantes en el país reduciendo la calidad de vida en el agro.

Este hecho ha motivado que en dichas zonas (sobre todo en nuestra serranía) aumente la práctica tradicional, de quemar leña y desperdicios agrícolas (como el estiércol) para satisfacer sus necesidades energéticas. Sin embargo, esta forma de obtener energía no es una solución adecuada porque conduce a la deforestación y al deterioro de los suelos de cultivo al quemarse los desperdicios agrícolas no restituyendo los nutrientes que estos contienen.

Este problema plantea la necesidad de encontrar fuentes de energía alternativa, basada en la mejor utilización de recursos locales que aseguren el suministro de combustible barato y accesible y que a su vez sirva para devolver al suelo los nutrientes que este necesita.

Asimismo, plantea la necesidad de una tecnología apropiada que utilizando recursos locales disponibles, como son los desperdicios, sirvan para: generar energía, incrementar la producción agrícola y preservar el medio ambiente, reforzando la independencia de los agricultores y del mundo rural.

El estudio de tecnologías alternativas que permitan disponer combustibles de carácter renovable o

Javier Verástegui Lazo
Magda Mateo Bruno.
Dirección de Tecnología
ITINTEC

Trabajo presentado al I Simposio Nacional sobre "La Energía y sus Perspectivas" 25 - 28 de junio, 1979. Lima - Perú.

un costo económico constituye un problema mundial. Dichos combustibles pueden ser obtenidos mediante una utilización racional e integral de los recursos biológicos (Biomasa) según los siguientes procesos, entre otros:

1. Fermentación alcohólica de carbohidratos y azúcares. Etanol.
2. Pirólisis y gasificación de compuestos leñosos y celulósicos: carbón vegetal, gas de madera, metanol, metano, hidrógeno y monóxido de carbono.
3. Combustión directa de madera y desechos: bagazo, pellets de basura, etc.
4. Fermentación anaeróbica de Biomasa y Desechos. Biogas (mezcla de metano y dióxido de carbono).

En países atrasados la investigación y desarrollo del proceso de Obtención de Biogas ha logrado avances espectaculares debido a que constituye una de las alternativas más adecuadas para solucionar los problemas anteriormente planteados. En efecto, el Proceso de Fermentación Anaeróbica (en ausencia de aire) convierte la materia orgánica compleja en un gas combustible con alto contenido de metano (Biogas) dejando un residuo de un alto poder fertilizante sin riesgos de contaminación.

Este proceso se puede realizar en Plantas de Biogas de fácil construcción y manejo, utilizando desperdicios disponibles y agua. Así, se puede utilizar:

- Desechos Agrícolas (Rastrojos, etc).
- Desechos Animales (estiércol, etc)
- Desechos Orgánicos Urbanos (basura, desechos)
- Desechos Orgánicos Industriales (de fáb. de alimentos, etc).

Los digestores deben ser adecuados para cada tipo de desecho y para escala familiar, comunal o industrial. Sin embargo, en nuestro país esta tecnología es más apropiada para áreas rurales porque no requiere de mucha inversión ni trabajo altamente especializado y puede ser aplicado con materiales y mano de obra locales.

RESEÑA HISTORICA

La utilización del gas de los pantanos, metano o biogas como combustible no constituye una novedad tecnológica, pues ya a comienzos del presente siglo se

iluminaba ciudades con el biogas proveniente de plantas de tratamiento de desechos municipales. Exeter (1896), Birminaham (1927), Berlin (1929), Baltimore (1936), etc. (1, 2, 3).

Durante y después de la Segunda Guerra Mundial se despertó en Europa un redoblado interés por el metano, a partir de los desechos orgánicos como sustituto de la gasolina debido a la escasez de éste último este gas se empleó para el funcionamiento de automóviles en Alemania, Francia y Argelia. Así, en 1952 había en Francia 1000 plantas de biogas en funcionamiento (2, 4). Posteriormente a partir de la década del 60 y con el regreso a fuentes de energía baratas (petróleo), la mayoría de estas plantas fueron abandonadas.

A diferencia de los países desarrollados, la producción de biogas ha sido cada vez más creciente en los países en desarrollo, siendo India y China los que están a la vanguardia en las aplicaciones a escala familiar y comunal, para el medio rural. En India existían más de 10000 plantas operando en 1976 (5). El desarrollo más espectacular se ha producido en la China, pues en 1972 sólo existían unas 400 plantas de biogas a escala familiar en 1975 ya eran 1.000.000 mientras que en diciembre de 1978 operaban cerca de 7.000.000 de digestores anaeróbicos (6, 7).

Además de India y China, se han construido numerosas plantas a escala familiar en Corea, Taiwan, Hawaii, etc. (4). En América Latina no se han desarrollado hasta la fecha programas estatales de difusión de esta tecnología, aunque se viene experimentando en México, Guatemala, Colombia y Ecuador (8, 9, 10). Sin embargo, organismos internacionales como OLADE, PNUMA y JUNAC, han realizado estudios tendientes a incentivar programas de difusión masivos (11).

En los Estados Unidos, existen numerosas plantas de biogas utilizadas por granjeros; sin embargo, a raíz de la crisis energética, en los últimos años se ha despertado enorme interés en la construcción de grandes plantas industriales de Biogas, como la de Guyton, Oklahoma, que trata el estiércol de 100 000 vacunos y abastece con 1.6 millones de pies cúbicos de metano diarios a una parte de la red de gas de Chicago, mediante gasoducto (12).

DESCRIPCION DEL PROCESO

La materia orgánica puede fermentarse aeróbica (con oxígeno) y anaeróbicamente (sin oxígeno) produciendo, principalmente, dióxido de carbono (CO₂) y amoníaco (NH₃) en el primer caso y dióxido de carbono y metano (CH₄) en el segundo caso.

La fermentación anaeróbica de materia orgánica se realiza en forma natural en los intestinos de animales y debajo de las aguas estancadas o pantanos. Este proceso puede realizarse artificialmente en depósitos cerrados herméticamente llamados digestores.

El método consiste en alimentar el digestor con materiales orgánicos y agua, dejándose un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde el gas se acumula.

Al interior del digestor en un proceso de digestión lenta, los materiales se van estratificando en las siguientes capas, comenzando del fondo (Ver figura 2.1).

- Materiales inorgánicos y arena en el fondo
- Lodo, suspensión de sólidos digeridos. El sólido digerido y seco representa el 30 - 40 o/o del material crudo original con un alto contenido fertilizante.
- Sobrenadante, son líquidos digeridos que aún tienen sólidos disueltos, los cuales una vez secos tienen menor poder fertilizante que el lodo.
- Nata, es una espuma consistente en una mezcla de material fibroso grueso, gas y líquido. La acumulación de estos en la superficie es

un problema porque pueden detener la digestión.

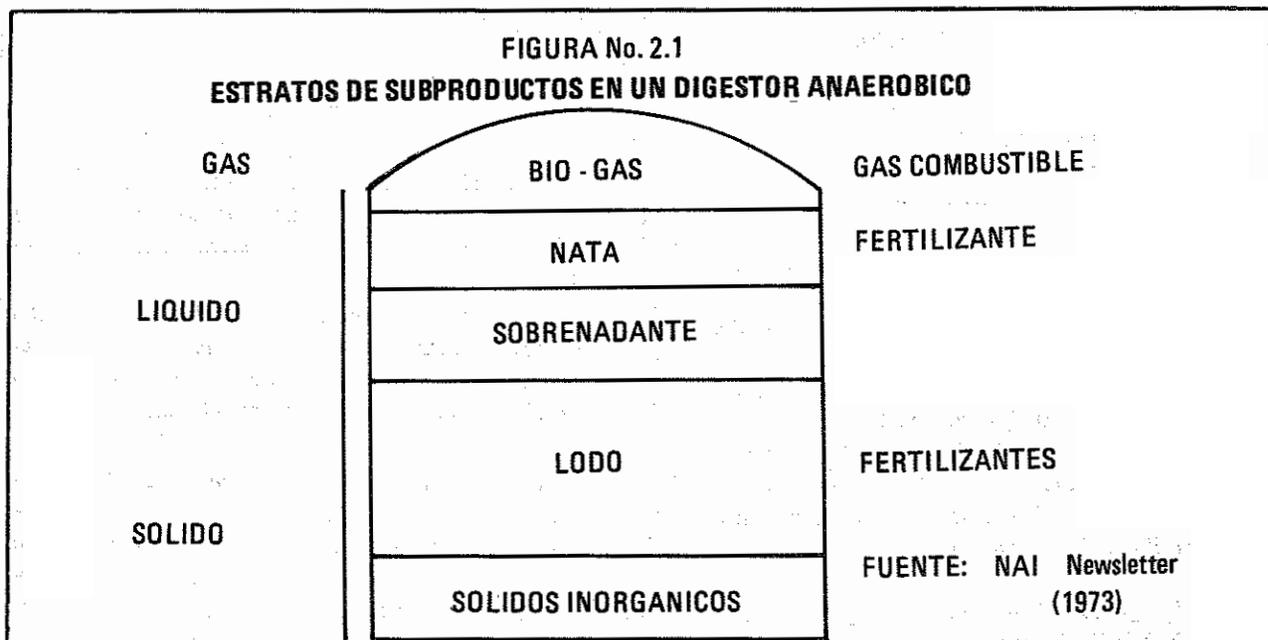
- Biogas, es el gas producto de la digestión, contiene más o menos, 60 o/o de metano, 40 o/o de CO₂ y pequeñas cantidades de N₂, H₂, SH₂. El CH₄ es un combustible directo.

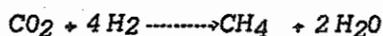
La digestión anaeróbica de la materia orgánica es un proceso bioquímico complejo que se desenvuelve en tres etapas, utilizando en cada una, un grupo específico de microorganismos.

En la primera etapa de "Solubilización", la materia orgánica cruda formada por polímeros (proteínas complejas, grasas y carbohidratos, principalmente) es hidrolizada por la acción de enzimas, descomponiéndose en compuestos simples y solubles.

En la segunda etapa, de "Acidogénesis", los compuestos simples solubles, de la primera etapa, siguen un proceso de fermentación que los convierte por óxido-reducción, en ácidos simples de cadena corta mediante la acción, de bacterias formadoras de ácidos que son anaeróbicas facultativas (viven tanto en presencia como ausencia de aire).

En la tercera etapa, de "Metanogénesis", los ácidos orgánicos simples, producidos en la segunda etapa devienen en substractos para la descomposición, estabilización y producción de metano, mediante la acción de bacterias: metanogénicas, estrictamente anaeróbicas, las cuales producen CH₄ por 2 vías: fermentación de ácido acético y reducción de CO₂ (principalmente), metanol y ácido fórmico por hidrógeno naciente:





El proceso global se muestra en la figura 2.2

Estas bacterias son muy sensibles a los cambios de pH cuyo rango óptimo está entre 7 y 7.2. Asimismo, la descomposición anaeróbica es óptima en dos rangos de temperatura: el rango mesofílico (28° - 38°C) y el rango termofílico (50° - 60°C); por debajo de 20°C la actividad microbiana disminuye hasta casi cesar por completo a menos de 10°C. Sin embargo, como el proceso es exotérmico, se alcanza al interior del digestor temperaturas del rango mesofílico aún cuando la temperatura ambiente es de 20°C (Ver figuras 2.4 y 2.5).

La composición del biogas es variable dependiendo de las materias primas y las condiciones del proceso aunque generalmente tienen la siguiente composición:

	o/o Volumen
Metano (CH ₄)	55 - 65
Dióxido de carbono (CO ₂)	34 - 45
Nitrógeno (N ₂)	0 - 3
Hidrógeno (H ₂)	0 - 1
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	0 - 1

El metano es el constituyente principal del biogas y a la vez el componente energético útil; del contenido de éste depende el valor combustible del biogas (poder calorífico: 5 000 Kcal/m³, aproximadamente).

Los digestores anaeróbicos pueden ser clasificados según el flujo hidráulico en (Ver figura 2.6):

- Digestores Batch.
- Digestores de Flujo "tapón"
- Digestores de Flujo arbitrario
- Digestores de Mezclado complejo.

Los primeros sólo tienen interés experimental y los últimos sólo se justifican para grandes plantas industriales. Para los requerimientos energéticos del medio rural, los digestores de flujo arbitrario son los más adecuados por su simplicidad, economía de construcción y escaso control; entre estos el modelo hindú de Acharya y el modelo chino son los más representativos (Ver figuras 2.8 y 2.10) En ambos modelos, la alimentación y la descarga de lodos se realiza de manera discontinua, diariamente.

En la figura 2.12 se aprecia un esquema de una Planta Industrial de Biogas de mezclado Completo

POTENCIAL NACIONAL DE BIOGAS (13)

En el Perú los principales desechos orgánicos disponibles para esta tecnología son los siguientes:

Desechos Rurales.- Considerando que el estiércol de animales, los desperdicios de cereales, y la excreta humana, son los principales desechos del agro peruano, se ha calculado la cantidad de estos a partir de las estadísticas del Ministerio de Agricultura (OSEI) de 1976 resultando un total de 59 106 TM/año, que se especifica en el cuadro 2.11 multiplicando la cantidad de estos desechos con los datos de su rendimiento de biogas (en otros lugares) se ha estimado el Potencial Nacional de Biogas en 4.9 x 10⁹ m³/año, que corresponde a un valor energético de 23 x 10¹² Kcal/año, como puede apreciarse detalladamente y por zonas del país en el Anexo No. 1 "Potencial del Biogas en el Perú"

Principales Desechos Rurales en el Perú

Desechos	10 ⁶ TM/año
Estiércol de vacunos	25.131
Estiércol de equinos	6.632
Estiércol de porcinos	6.425
Estiércol de ovinos	12.235
Estiércol de caprinos	1.617
Estiércol de aves	0.924
Desperdicios de cultivo de arroz	0.450
Desperdicios de cultivo de trigo	0.450
Desperdicios de cultivo de cebada	0.549
Desperdicios de maíz	5.850
Excreta humana	1.369
Total de Desechos:	59.200

FUENTE: Anexo 1

De los datos del Anexo 1, se ve que los desechos de más rendimiento son el estiércol de ovinos, el estiércol de vacunos y los desperdicios de cultivos de maíz que se encuentran en su mayor parte en la sierra del Perú.

Además tenemos el estiércol de auquénidos, desechos de cultivos de menestras, tallos y hojas de tubérculos, entre otros que también representan un potencial de Biogas que estaría por calcularse.

Desechos Urbanos.- El desagüe de Lima y las principales ciudades del Perú, producen diariamente una gran cantidad de desechos que representan un gran potencial de Biogas que debe evaluarse para considerar su próxima utilización por los organismos competentes.

/año, con una distribución geográfica centrada en los departamentos centroandinos y Lima.

Las pajas de cereales considerados en este estudio (arroz, trigo y cebada), solo representan un potencial de biogas equivalente a 1.3×10^{12} kcal/año distribuidos principalmente en los departamentos de la costa Norte, Ancash y Junín.

El potencial de biogas a partir de excremento aviar es pequeño (0.4×10^{12} kcal/año) y está fuertemente centralizado en Lima.

El excremento humano representa un potencial mínimo (0.27×10^{12} kcal/año).

Si consideramos el consumo energético doméstico (en 1976), observamos que los requerimientos para cocinar en medio rural alcanzaron 42.0×10^{12} kcal/año mientras que los requerimientos para alumbrado en el mismo medio llegaron a 2.4×10^{12} kcal/año; energía obtenida principalmente de la leña y del estiércol. Podemos entonces deducir que el potencial

nacional de biogas obtenible a partir de los desechos considerados en el Anexo 1 (23×10^{12} kcal/año) podrían llegar a satisfacer más del 50 o/o de la demanda para cocina rural, así como la demanda total para alumbrado rural.

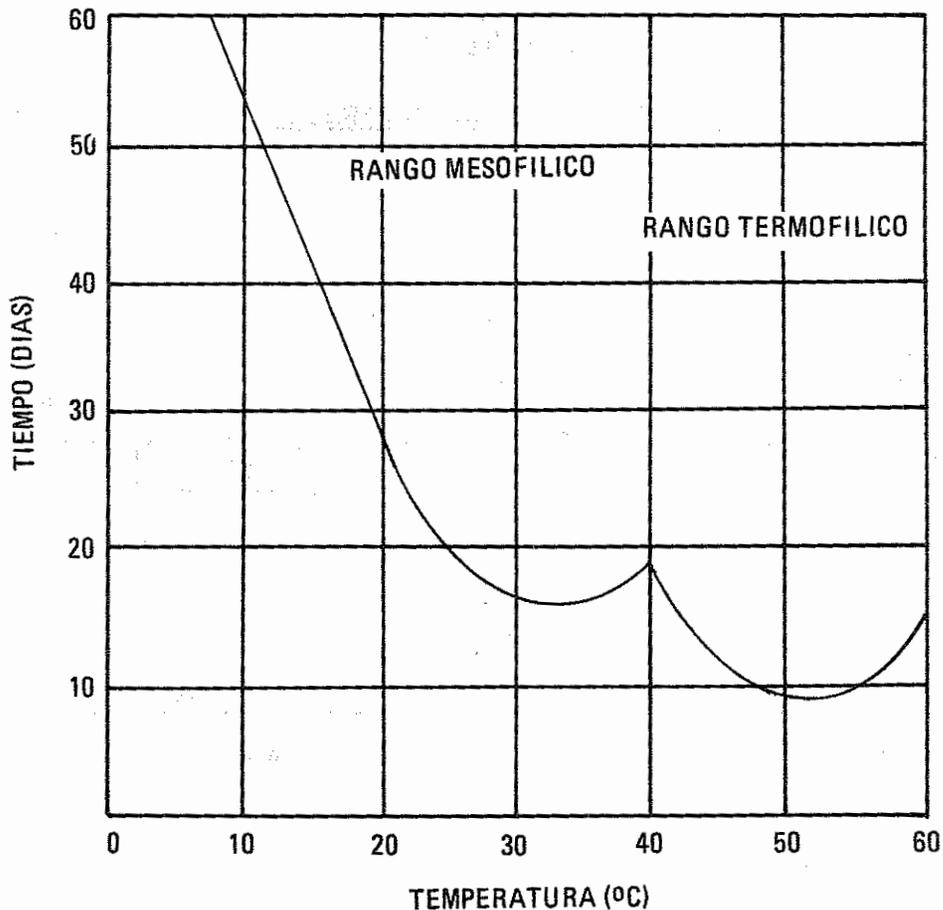
CONCLUSIONES

La difusión de la tecnología de producción del biogas en el Perú es importante, necesaria y urgente pues el país cuenta con los recursos necesarios, existe demanda insatisfecha de energía y la construcción y operación de las plantas de biogas es sencilla y no demanda recursos económicos importantes.

Es conveniente iniciar dicha difusión en el medio rural, utilizando principalmente los desechos animales, particularmente vacuno y ovino, centralizando un programa piloto en los departamentos de Puno y Cajamarca. De esta manera, contando con un combustible barato y un fertilizante natural de alta calidad se logrará incentivar la producción agrícola y mejorar el nivel de vida rural.

FIGURA No. 2.4

TIEMPO DE RETENCION EN FUNCION DE TEMPERATURA DE OPERACION

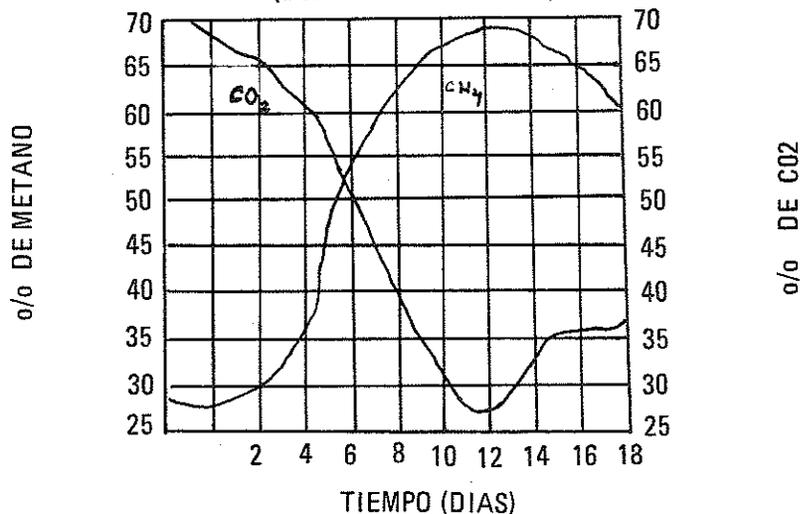


RELACION BIBLIOGRAFICA

- (1) Tai Mei Fien
Usar y Popularizar el Metano en el Campo de nuestro país, China Reconstruye - Mayo 1977
- (2) Ken Smith
Methane: Methane Systems: principles and practice (12 P.) p. 136 -207 "Energy Primer: Solar Water, Wind and Biofuels Edited by Richard Merrill and Thomas Gage (CIT)
- (3) Philip Steadman
Descomposición controlada, tratamiento de residuos y gas metano como combustible. p 229 - 268 de Energía y Medio Ambiente y Edificación.
- (4) National Academy of Sciences "Methane Generation from human, animal, and agricultural wastes" - Washington D.C. 1977, 132 pp.(CIT).
- (5) Mohan Parick
"Caso de estudio No. 6 "Planta de Bio-gas en pequeña escala - India" Bardali, Gujarat. India 19 pp.
- (6) Vacía v Smild
"Energy Solution in China"
Environment, Vol. 19 No. 17.4 pp.
- (7) Chou Chin
"Gas Metano. Fuente de Energía inagotable Pekin Informa No. 50,20 de diciembre de 1978, 4pp.
- (8) Alfonso Félix Almada
(Instituto de Investigaciones Eléctricas, División de Fuentes de Energía) México. "Experimentación con digestores de desechos orgánicos en el I.I.E. Febrero 1978. 15 pp.
- (9) Joris J.C. Voorhoeve
"Tesoros en la basura, una utilización correcta de los desperdicios puede estimular la producción agrícola, crear energías, preservar el medio ambiente y economizar divisas". Ceres Marzo - Abril 1976. 3 pp. (CIT).
- (10) Pat Doherty, Stan Huncilman, Max Kroschel, Paul Warpeha (Peace corps volunteers).
"The Araque Methane gas and fertilizer plant" Project Report No. 1 Ecuador - Mayo 1976
- (11) OLADE, Secretaría Permanente. "Bio-Gas" VII Junta de Expertos, 29 - 31 de mayo de 1978, Quito - Ecuador 1976
- (12) G.W. Meckert, Jr.
"Commercial SNG Production from feedlot wastes". Symposium papers: Energy from Biomass and Wastes, Washington D.C., August 14- 18, 1978. 15pp.
- (13) J. Velástegui Lazo, y M. Mateco Bruno
Proyecto de investigación tecnológica industrial "Producción de biogas a partir de desechos orgánicos. Parte 1: Planta piloto familiar". Dirección de Tecnología - ITINTEC, junio 1979, Lima, Perú.

FIGURA No. 2.5

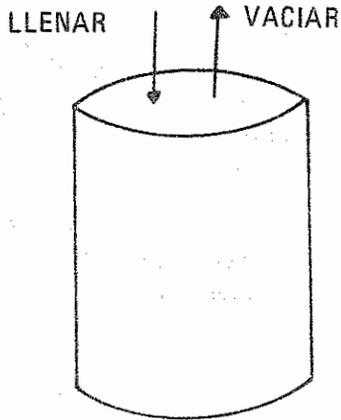
COMPOSICION DEL BIO-GAS EN FUNCION DEL TIEMPO DE RETENCION
(a condiciones mesofílicas)



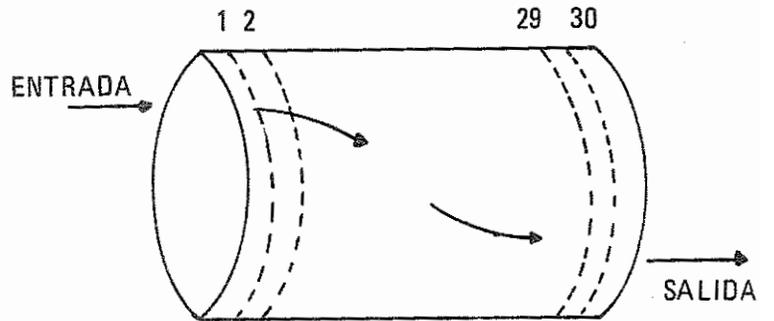
Fuente: IIE (México) - 1978

FIGURA No. 2.6

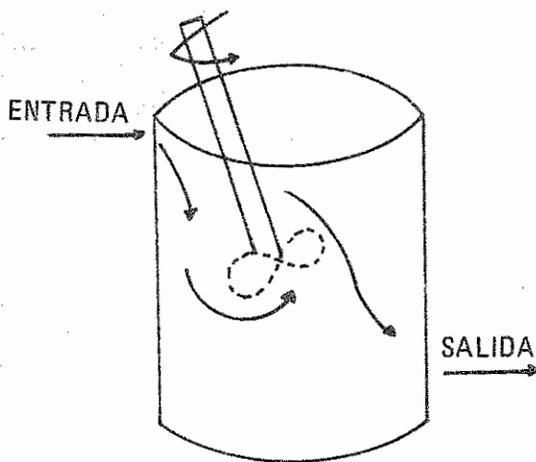
DIGESTORES CLASIFICADOS POR CARACTERISTICAS DE FLUJO HIDRAULICO
(Tipos)



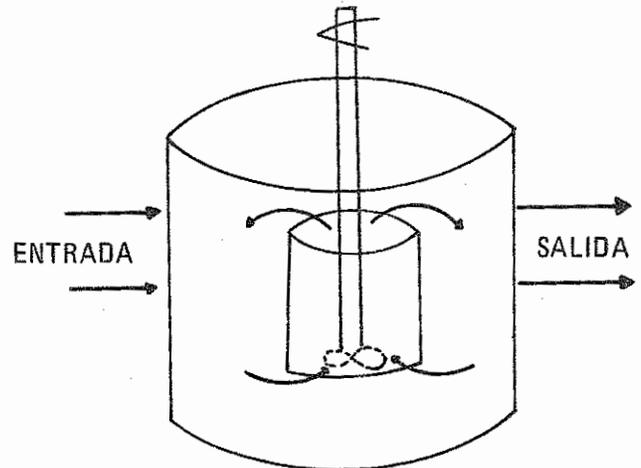
A) DE CARGA POR LOTES (BATCH)



B) DE FLUJO "TAPON"



C) DE FLUJO ARBITRARIO

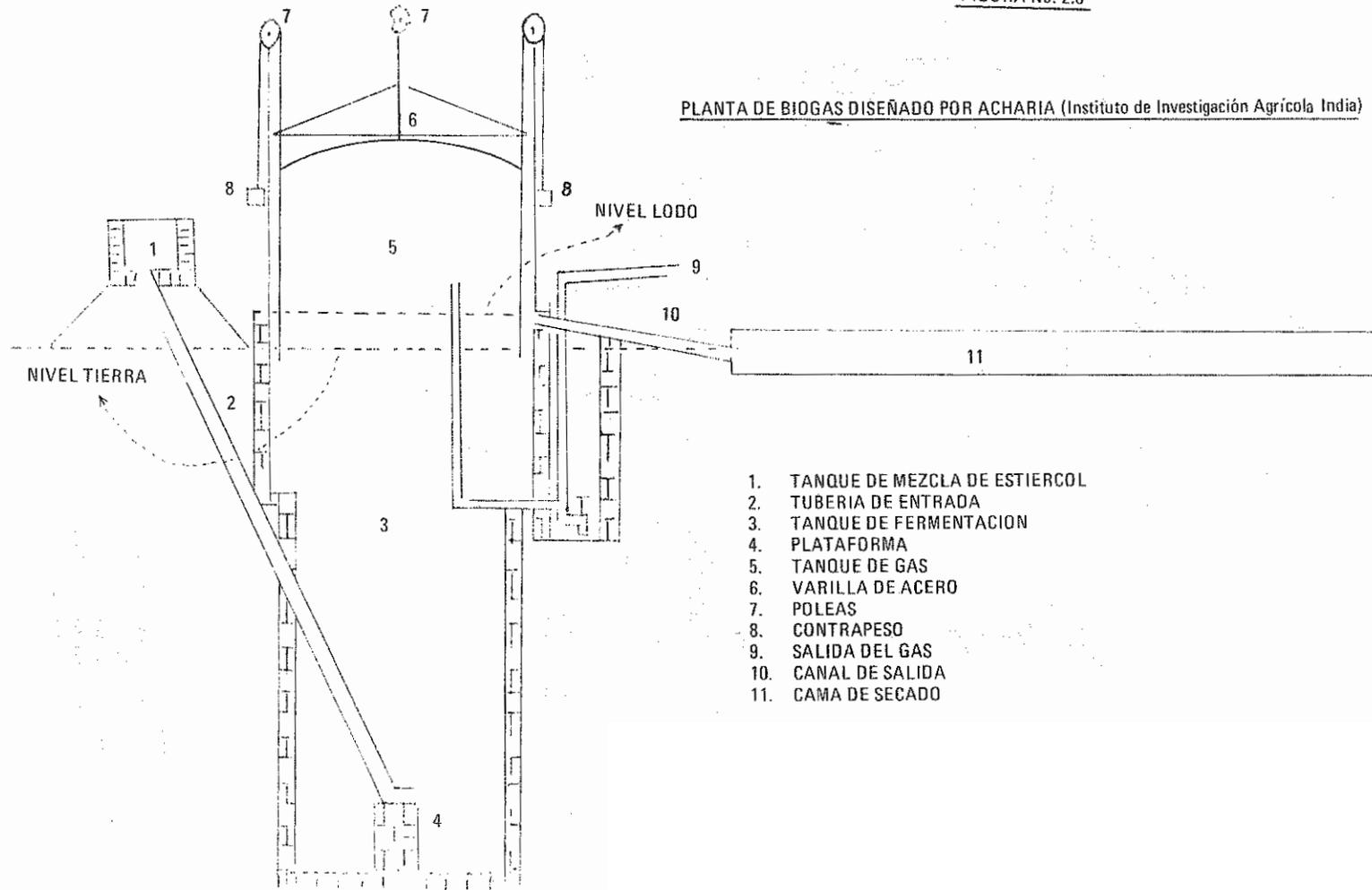


D) DE MEZCLADO COMPLETO

Fuente: Anaerobic Digester Feasability Study, Ecotope Group

FIGURA No. 2.8

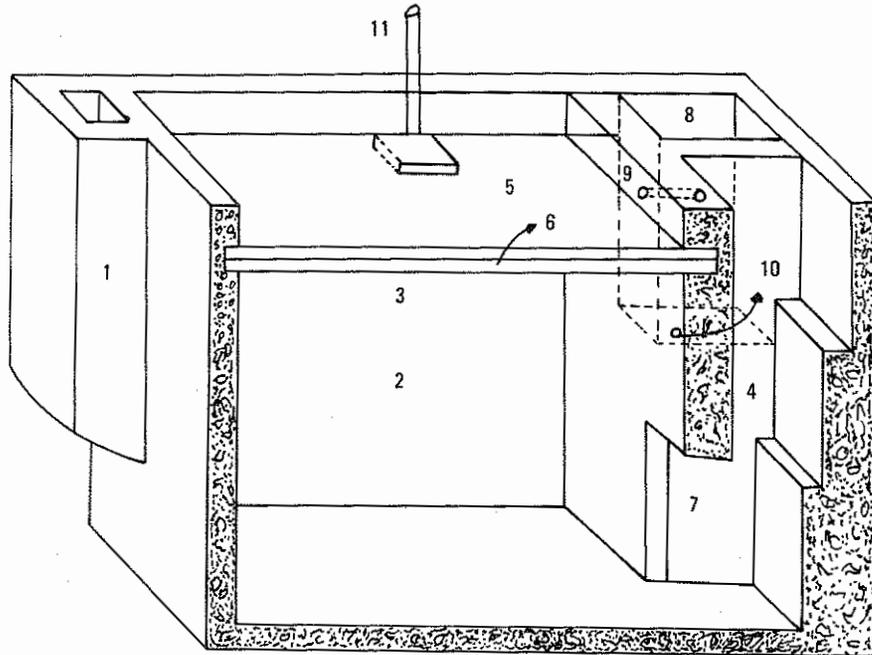
PLANTA DE BIOGAS DISEÑADO POR ACHARIA (Instituto de Investigación Agrícola India)



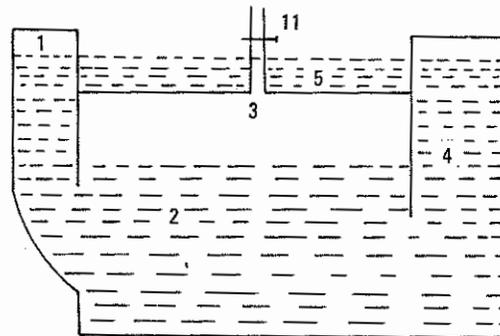
1. TANQUE DE MEZCLA DE ESTIERCOL
2. TUBERIA DE ENTRADA
3. TANQUE DE FERMENTACION
4. PLATAFORMA
5. TANQUE DE GAS
6. VARILLA DE ACERO
7. POLEAS
8. CONTRAPESO
9. SALIDA DEL GAS
10. CANAL DE SALIDA
11. CAMA DE SECADO

FIGURA No. 2.10

PLANTA DE BIOGAS DE TIPO FAMILIAR USADA EN LA R.D. CHINA (10 m³.)



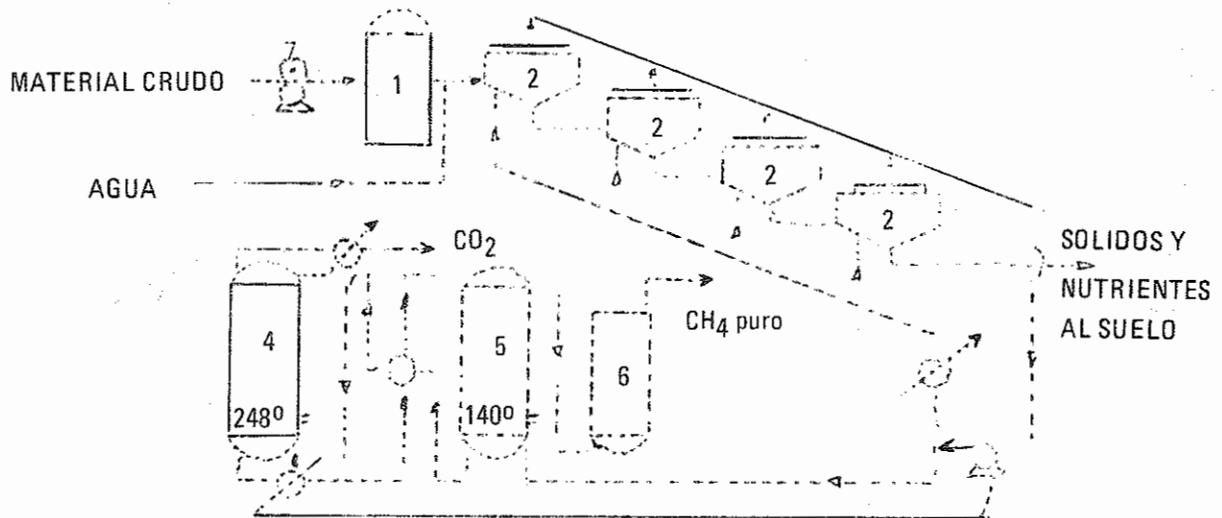
- | | |
|------------------------------|---|
| 1. CAMARA DE ENTRADA | 7. PUERTA DEL TANQUE DE FERMENTACION |
| 2. TANQUE DE FERMENTACION | 8. TANQUE ADAPTADO DE LODO DIGERIDO |
| 3. TANQUE DE GAS | 9. CONEXION ABIERTA |
| 4. CAMARA DE SALIDA | 10. HOYO PARA DESBORDE DE LODO FERTILIZANTE |
| 5. TANQUE DE PRESION DE AGUA | 11. TUBERIA DE SALIDA DE GAS |
| 6. CUBIERTA DEL TANQUE | |



- | |
|------------------------------|
| 1. CAMARA DE ENTRADA |
| 2. TANQUE DE FERMENTACION |
| 3. TANQUE DE GAS |
| 4. CAMARA DE SALIDA |
| 5. TANQUE DE PRESION DE AGUA |
| 11. TUBERIA DE SALIDA DE GAS |

FIGURA No. 2.12

PLANTA INDUSTRIAL DE BIO-GAS (*)
(Con recirculación de gases para agitación y calentamiento)



1. Depósito de materia prima
2. Digestores a 95° F y a 10 o/o de sólidos
3. Compresor
4. Stripper de Monoetanolamina
5. Absorbedores de CO₂ y H₂O con monoetanolamina
6. Secador con glicol
7. Molino

(*) Diseño de Claussen, Sitton y Park

CUADRO I

PRODUCCION DE BIOGAS Y ENERGIA, POR UNIDAD (*) Y POR AÑO (a temperatura ambiente 20oC)

RECURSO BIOLÓGICO	DESECHO (a) Kg / unidad AÑO	BIOGAS m3 / unidad AÑO	PODER CALORIFICO (b) Kcal / Unidad AÑO
Vacuno	6000	223,2	1 063 994
Equino	5000	286,5	1 365 745
Porcino	3000	156	743 651
Ovino	800	121,6	579.667
Caprino	800	121,6	579 667
Aves de corral	25	2,28	10.868
HOMBRE	250	12	57.204
Maíz	9 988.45	1 897,7	9 046 838
Arroz	3 379.26	642,06	3 060 697
Trigo	3 360.08	638,41	3 043 352
Cebada	3 382.74	642.72	3 063 849

(a) Estiércol fresco

(b) Poder calorífico del BIOGAS: 4767 Kcal/m3, Fuente: OLADE

(*) Animales - Estiércol/cabeza

Vegetales - Desecho/hectárea

CUADRO 2

ESTIMADO DEL POTENCIAL NACIONAL DE BIOGAS EN LA ZONA RURAL DEL PERU

MATERIA PRIMA	POBLACION ó Ha. CULTIVADA.	DESECHO (a) TM / año	BIOGAS 10³ m³ / año	ENERGIA 10⁶ Kcal / año	o/o
ESTIERCOL DE ANIMALES	62 653 950	52 966 450	3 848 877	18 299 884	78
Vacuno	4 188 600	25 131 600	944 895	4 456 644	19
Equino	1 326 550	6 632 700	380 053	1 811 716	8
Porcino	2 141 900	6 425 700	334 136	1 592 778	7
Ovino	15 294 200	12 235 300	1 859 720	8 865 285	38
Caprino	2 021 400	1 617 120	245 802	1 171 739	5
Aves	37 681 300	924 030	84 271	401 722	2
DESPERDICIOS DE CULTIVOS	815 125	5 299 867	1 006 974	4 800 256	21
Maíz	385 445	3 850 000	731 500	3 487 070	15
Arroz	133 165	450 000	85 500	407 578	2
Trigo	133.925	449 988	85 497	407 567	2
Cebada	162 590	549 879	104 477	498 041	2
EXCRETA HUMANA	5 479 000	1 369 920	57 262	272 967	1
TOTAL NACIONAL	-----	59 636 237	4 913 113	23 373 107	100

(a) fresco.

CUADRO 3

ZONAS DE OPTIMO POTENCIAL DE BIOGAS POR CADA TIPO DE DESECHOS

TIPO DESECHO	ZONAS	POBLACION ó Ha. CULTIV.	DESECHOS TM.	BIOGAS 10³ m³ / año	ENERGIA 10⁶ Kcal / año	o/o
Estiércol (a) de Vacunos	NACIONAL	4 188 600	25 131 600	934 895	4 456 644	100
	Cajamarca	500 000	3 000 000	111 600	531 997	12
	Puno	430 500	2 583 000	96 087	438 949	10
Estiercol (a) de Equinos	NACIONAL	1 326 550	6 632 750	380 053	1 811 716	100
	Ayacucho	193 000	965 000	55 294	263 586	15
	Apurímac	175 000	875 000	50 137	239 005	13
Estiércol (a) de Porcinos	NACIONAL	2 141 900	6 425 700	334 136	1 592 776	100
	Lima	325 000	975 000	50 700	241 686	15
	Cajamarca	195 100	585 300	30 435	145 066	9
Estiércol (a) de Ovinos	NACIONAL	15 294 200	12 235 360	1 859 720	8 865 285	100
	Puno	4 970 000	3 976 000	604 443	2 881 380	32.5
	Junín	1 756 500	1 405 200	213 590	1 018 135	11.5
Estiércol (a) de Caprinos	NACIONAL	2 021 400	1 617 120	245 802	1 171 739	100
	Piura	438 000	350 400	53 260	253 834	22
	Ayacucho	291 000	232 800	35 385	168 630	14
Estiércol (a) Aves de Corral	NACIONAL	37 681 300	942 030	84 271	401 722	100
	Lima	19 725 000	493 120	44 972	214 384	52
	Ica	2 675 800	66 890	6 100	29 080	7
Desechos de Maíz	NACIONAL	385 445	3 850 000	731 500	3 487 060	100
	Cajamarca	61 300	612 264	116 330	554 547	16
	Ancash	39 001	389 532	74 011	352 810	10
Desechos de Arroz	NACIONAL	133 165	450 000	85 500	407 578	100
	Lambayeque	32 255	119 126	22 634	107 895	26.5
	La Libertad	22 570	79 264	15 060	71 791	18
Desechos de Trigo	NACIONAL	133 925	449 988	85 497	407 567	100
	Ancash	31 665	106 394	20 214	96 364	24
	La Libertad	24 905	83 650	15 893	75 764	19
Desechos de Cebada	NACIONAL	162 590	549 879	104 477	498 041	100
	Ancash	28 115	95 084	18 065	86 120	17
	Junín	20 700	69 800	13 262	63 219	13

(a) Fresco

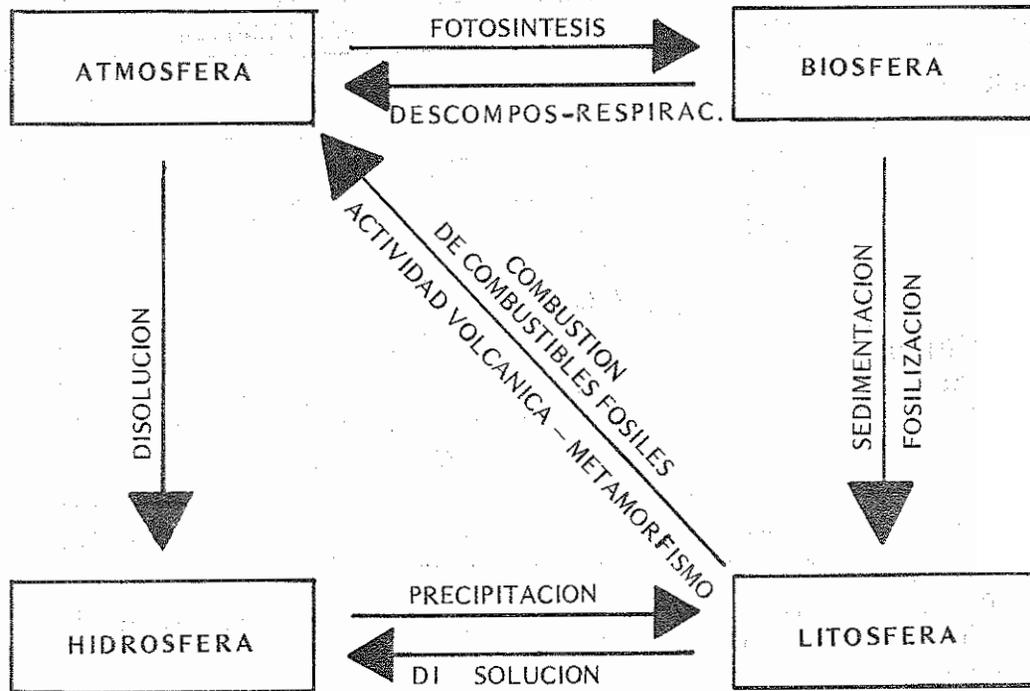
CUADRO No. 4

CONSUMO ENERGETICO DOMESTICO EN 1976 (10¹² kcal)

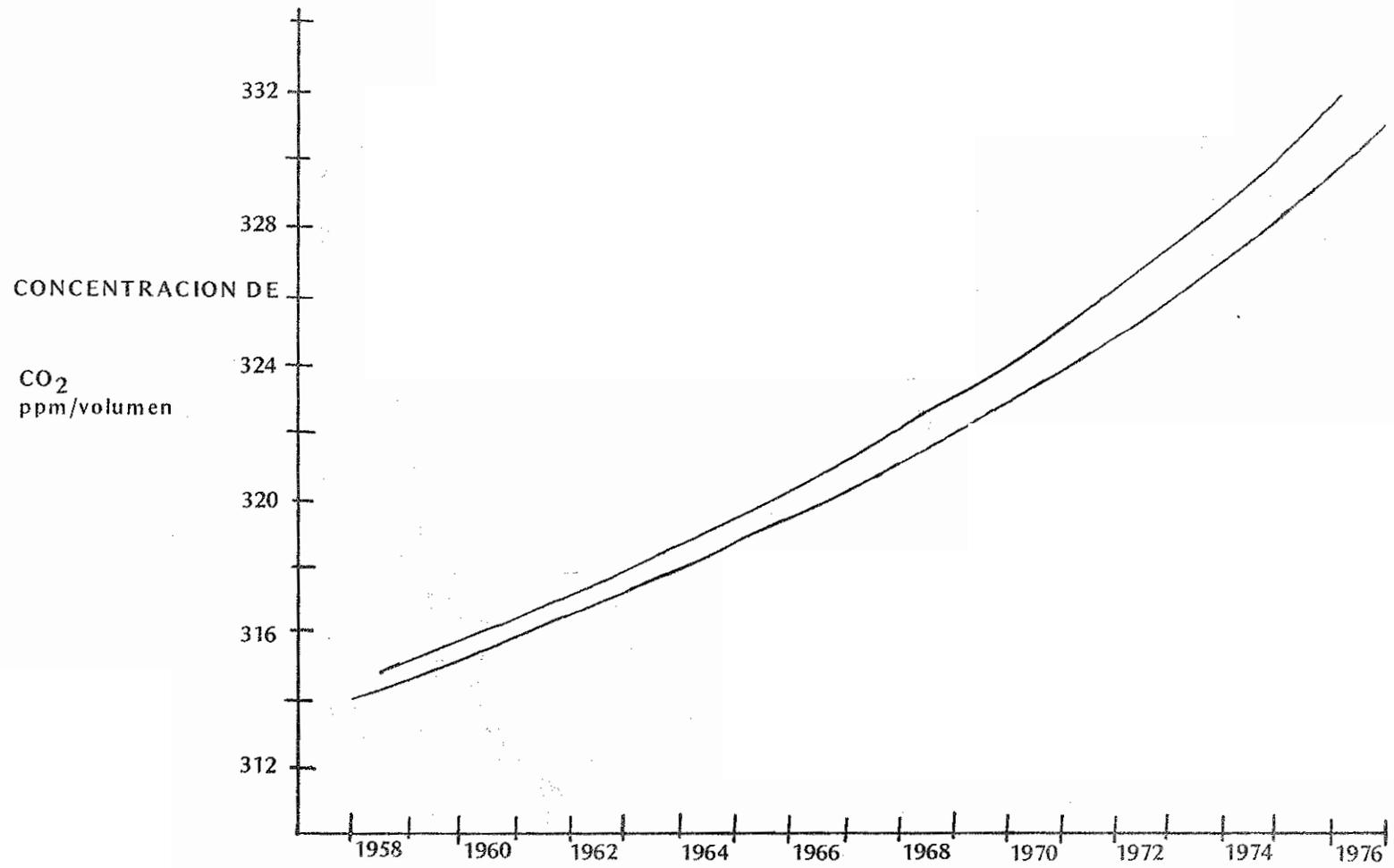
TIPO DE ENERGIA	COCINA URBANO	COCINA RURAL	LUZ	OTRAS APLICACIONES	TOTAL	o/o
ELECTRICIDAD	0.167	—	1.027	0.430	1.625	3.2
KEROSENE	3.919	1.506	1.338	—	6.764	13.5
PROPANO	0.129	—	—	—	1.290	2.6
LEÑA	—	34.656	—	—	34.656	69.0
ESTIERCOL Y OTROS COMBUSTIBLES	—	5.977	—	—	5.977	11.9
TOTALES	5.345	42.065	2.366	0.430	50.191	100.0
o/o	10.6	83.8	4.7	0.8	100.0	

FUENTE: Robert Ellgas; Michael Lesser (META SYTEMS INC. CAMBRIGDE, MASSACHUTTECS, USA)
"Tradicional energy and rural development issnes and recommendations for Perú" 29 september, 1979.

MOVIMIENTO DEL CARBONO EN LA TIERRA

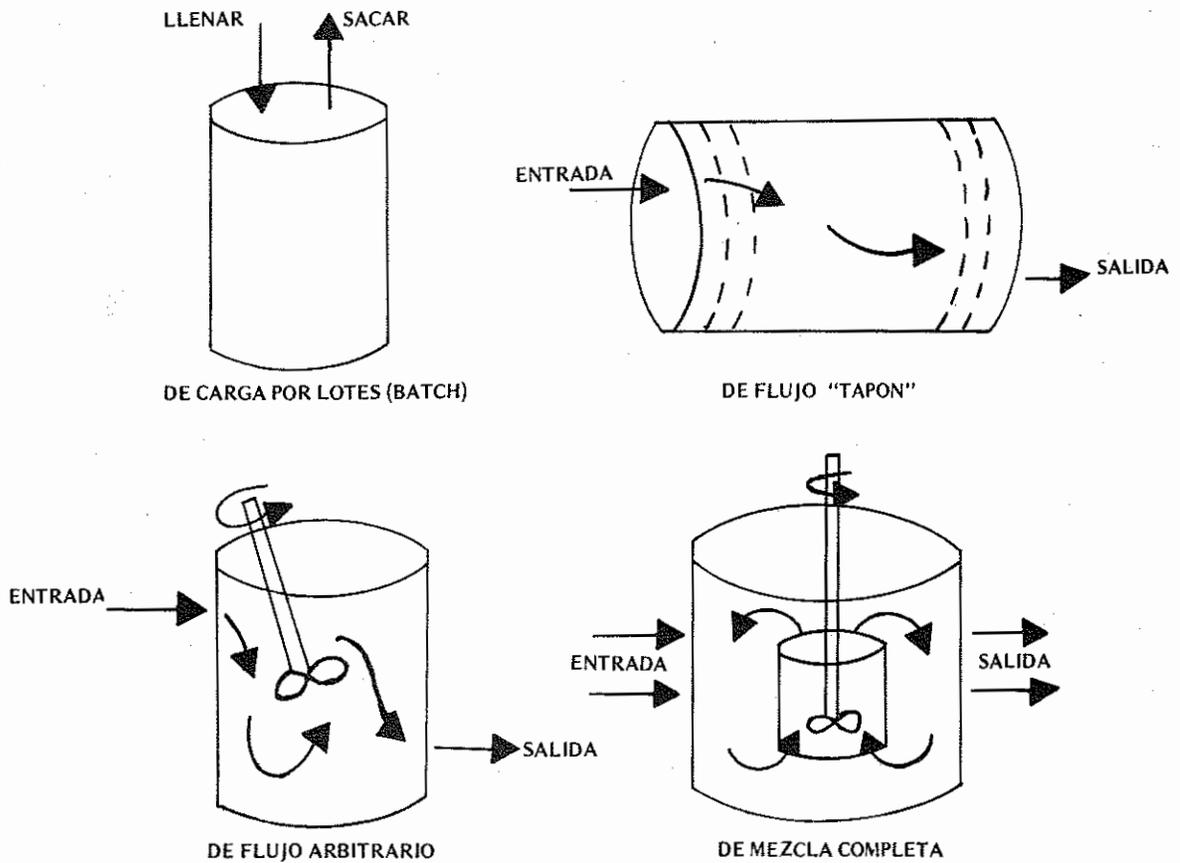


CONCENTRACION DE BIOXIDO DE CARBONO (CO2) EN LA ATMOSFERA



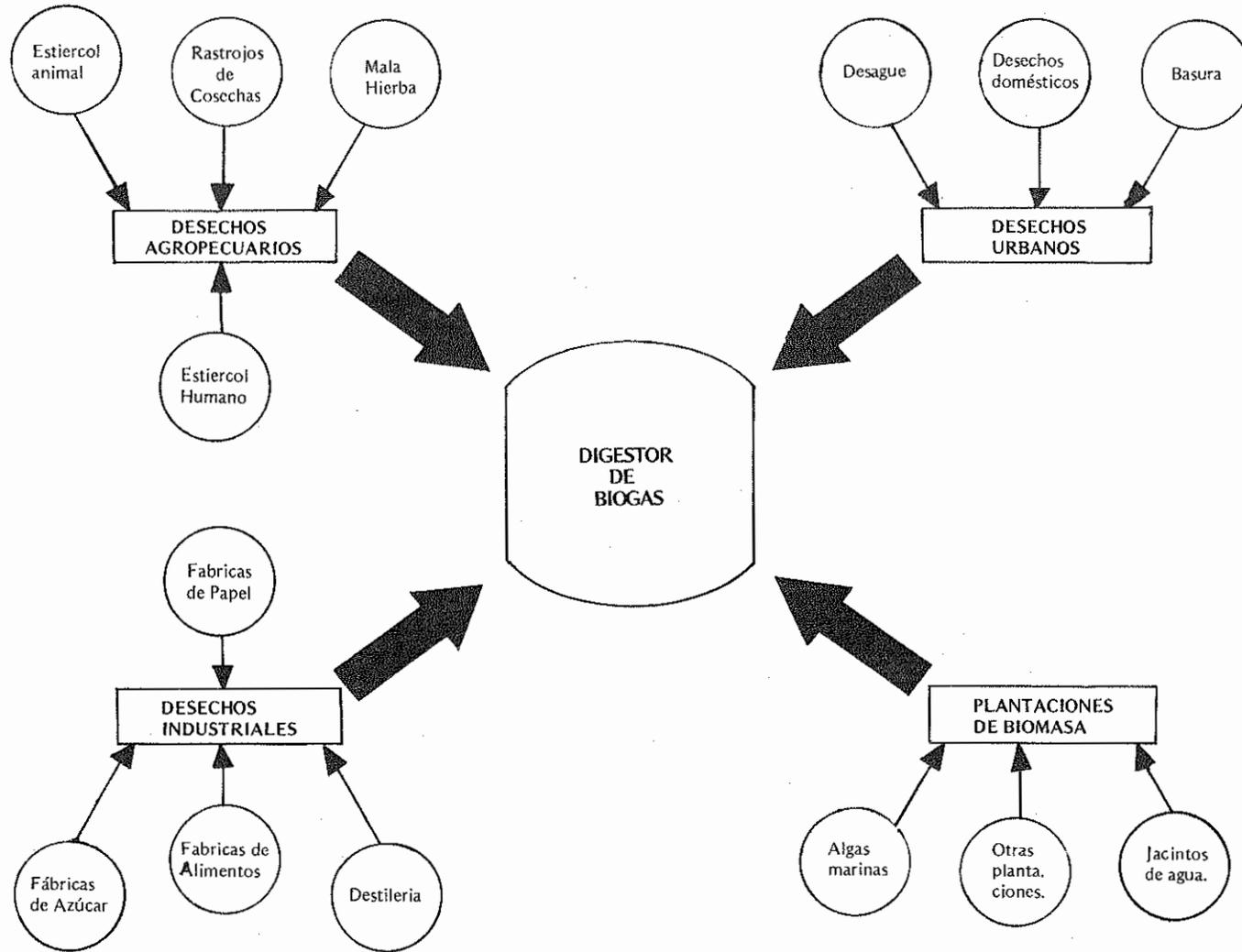
* Datos tomados por el observatorio MAUNA LOA en HAWAII y el POLO SUR

DIGESTORES CLASIFICADOS SEGUN CARACTERISTICAS DE FLUJO HIDRAULICO

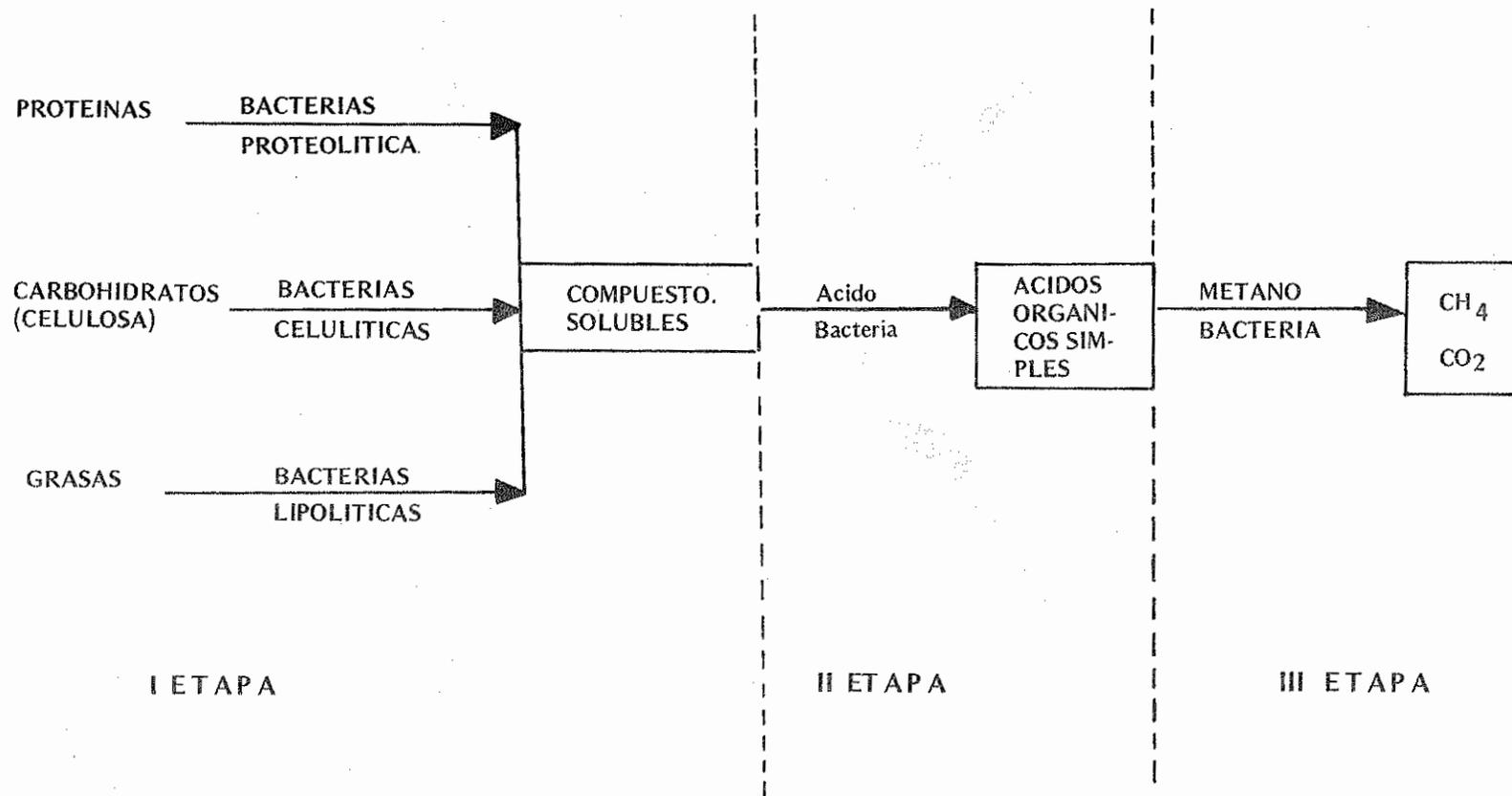


Fuente: Anaerobic digester feasibility study, Ecotope Group

MATERIAL ORGANICO PARA LA DIGESTION

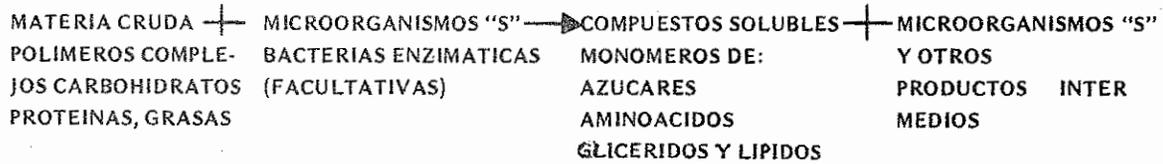


ETAPAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA

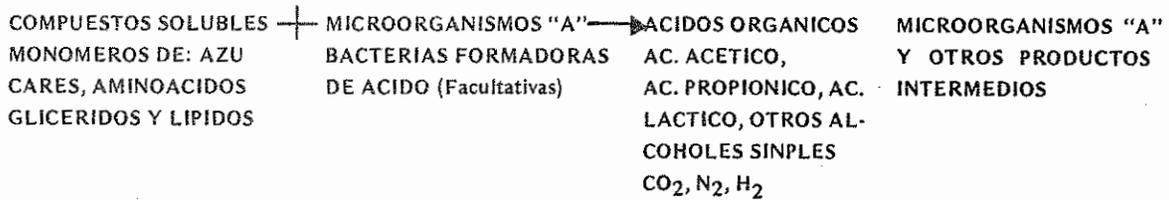


BIOQUIMICA DE LA FERMENTACION ANAEROBICA

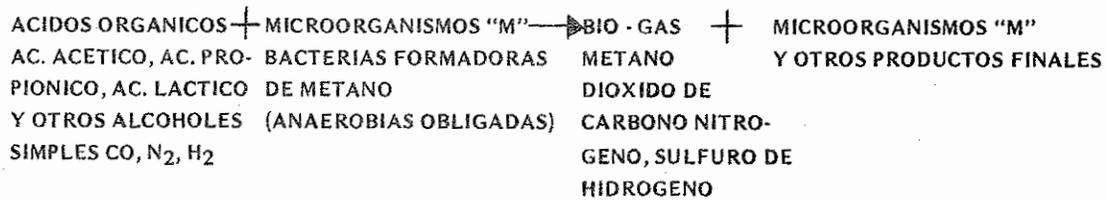
ETAPA I: SOLUBILIZACION



ETAPA II: FORMACION DE ACIDO



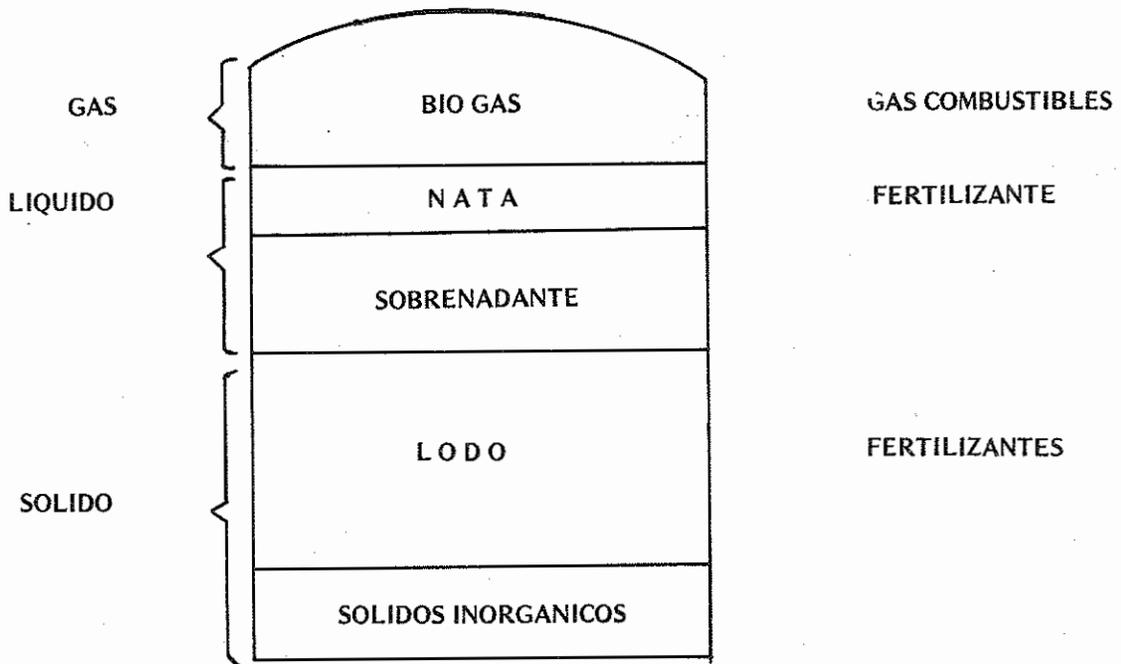
ET A P A III: FORMACION DE METANO



RELACION CARBONO - NITROGENO DE ALGUNOS DESECHOS

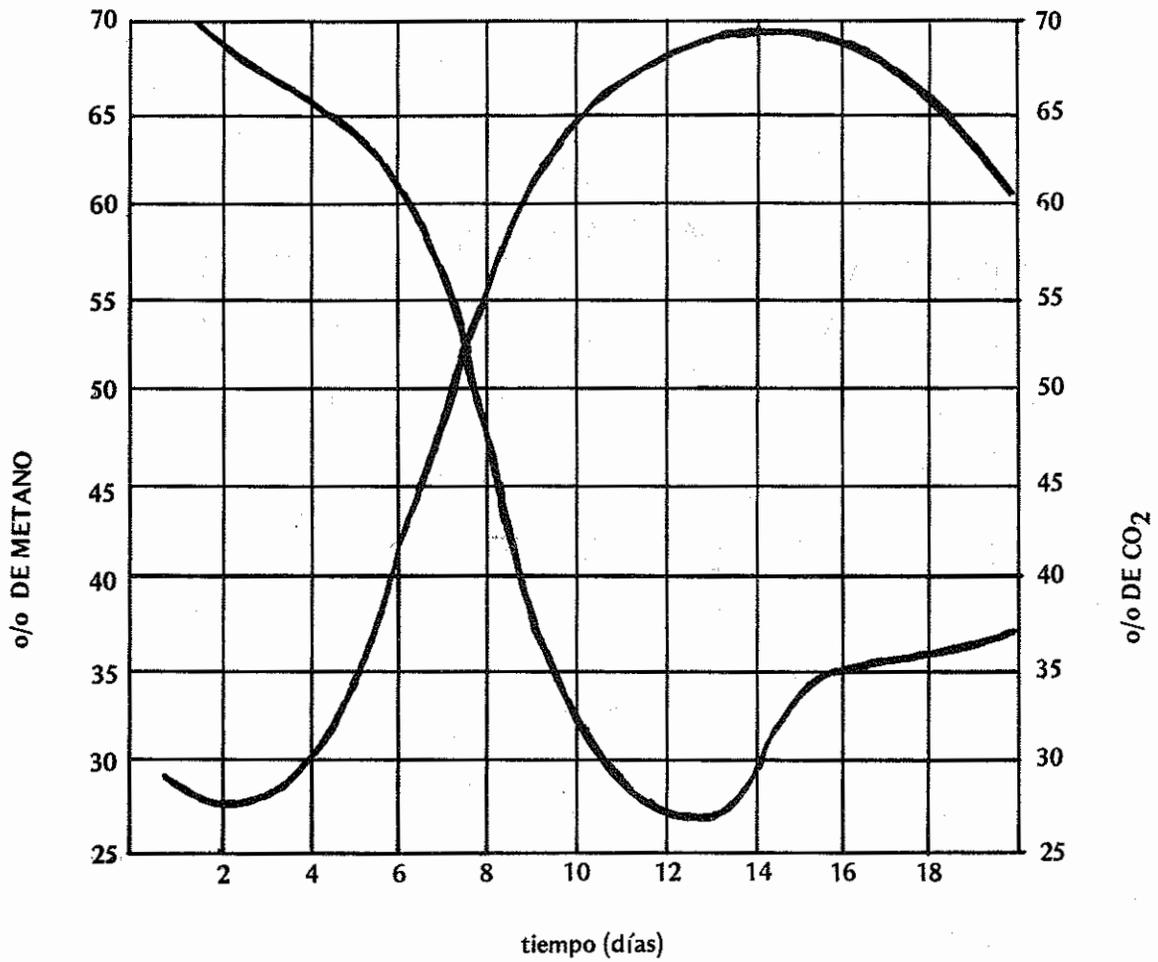
MATERIA PRIMA	C o/o Peso Seco	N o/oPeso Seco	Proporcion C/N
DESECHOS AGRICOLAS			
PAJA DE TRIGO	46	0.53	87
PAJA DE ARROZ	42	0.63	67
TALLOS DE MAIZ	40	0.75	53
HOJARASCA	41	1.00	41
TALLOS DE SOYA	41	1.30	32
MALAS HIERBAS	14	0.54	27
TALLOS Y HOJAS DE MANI	11	0.59	19
HENO DE ALFALFA	—	2.80	17
ESTIERCOL FRESCO			
OVINO	16.0	0.55	29
BOVINO	7.3	0.29	25
EQUINO	10.0	0.42	24
PORCINO	7.8	0.65	13
AVES (Pollos)	—	6.3	15
HUMANO	2.5	0.85	2.9

ESTRATIFICACION DE PRODUCTOS EN UN DIGESTOR ANAEROBICO



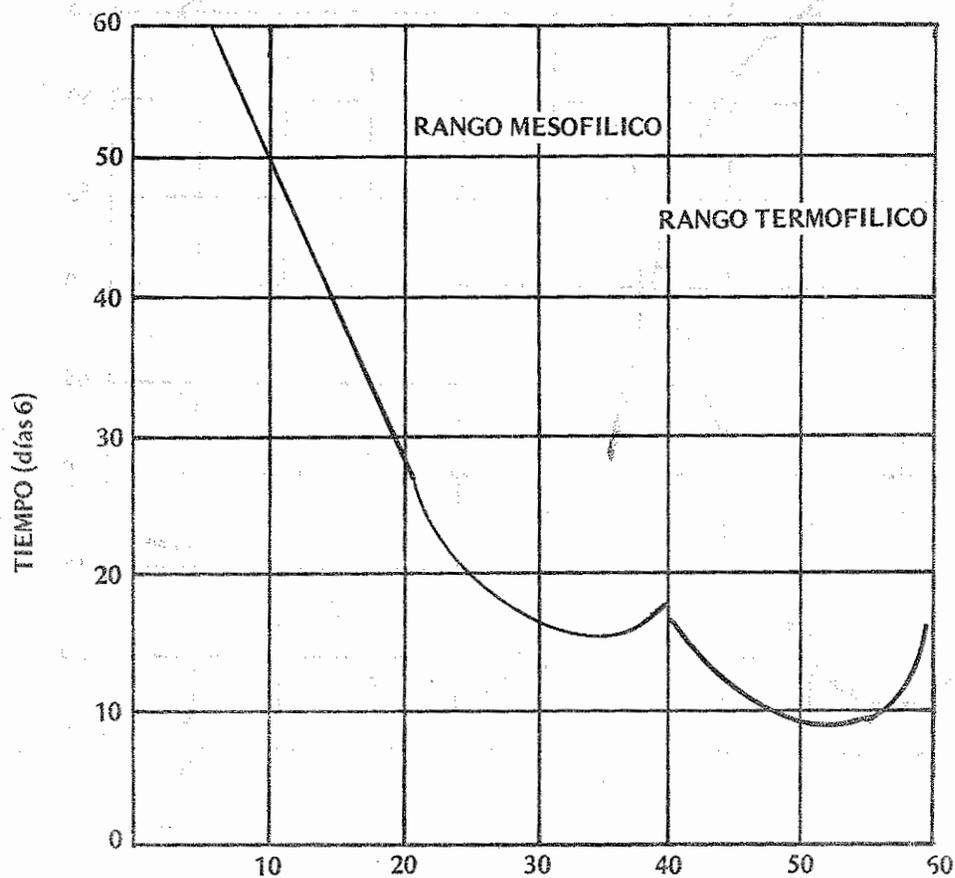
FUENTE: NAI Newsletter No. 3 (1973)

COMPOSICION DE BIOGAS
(a condiciones mesofílicas)

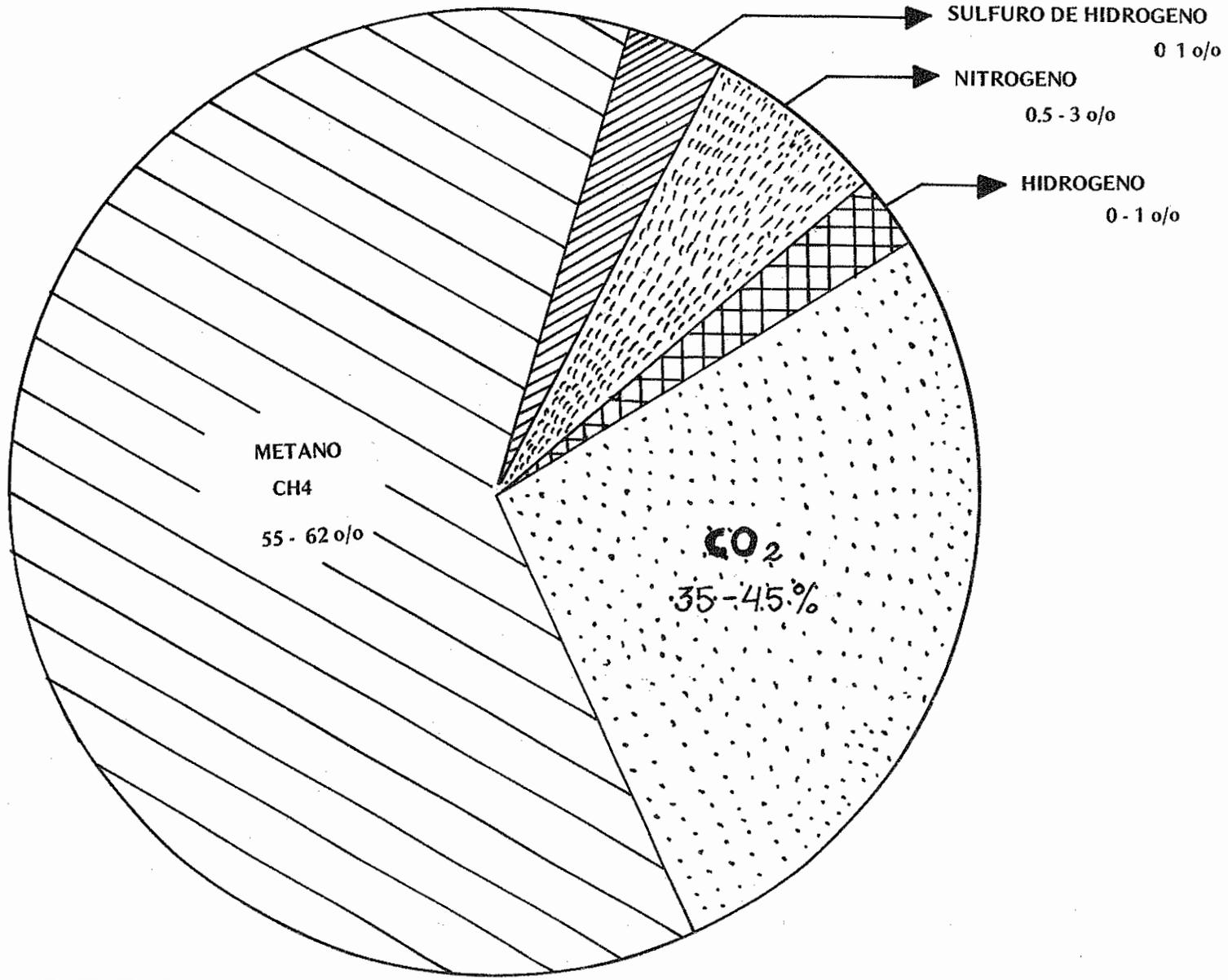


FUENTE: IIE (México 1978)

TIEMPO DE RETENCION
VS.
TEMPERATURA DE DIGESTION



FUENTE: NAI Newsletter No. 3 (1973)

COMPOSICION DEL BIOGAS

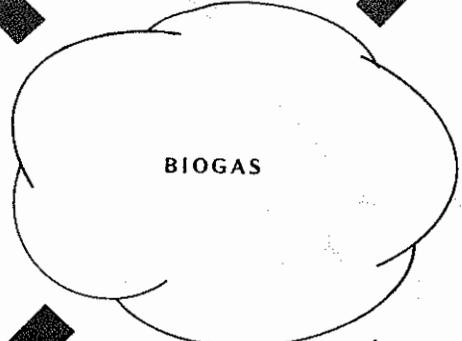
CARACTERISTICAS ENERGETICAS DEL BIOGAS

ELEMENTO COMBUSTIBLE:



PODER CALORIFICO

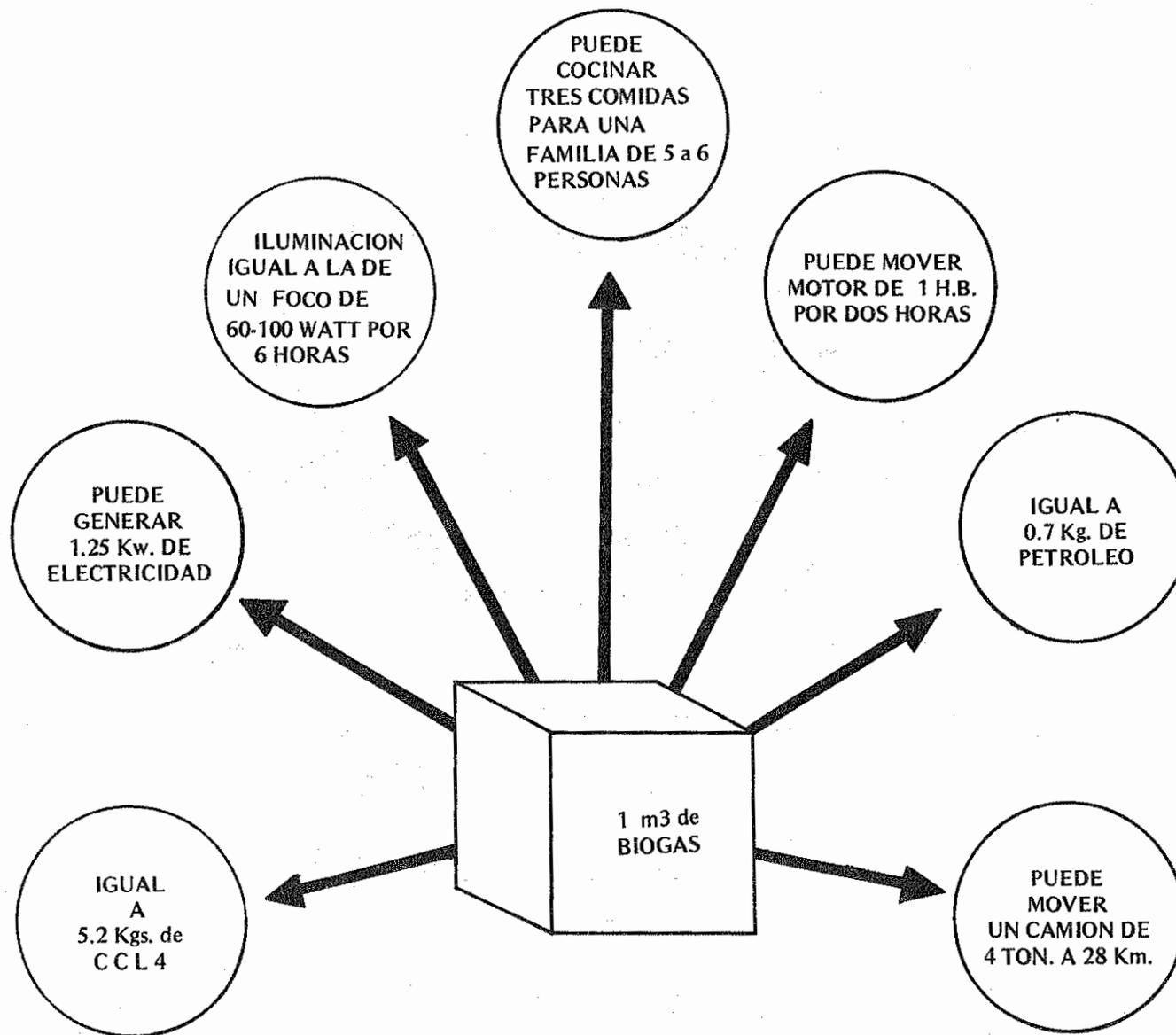
4767
Kcal/m³



RELACION METANO AIRE:

ECUACION DE COMBUSTION

EQUIVALENCIAS DEL BIOGAS



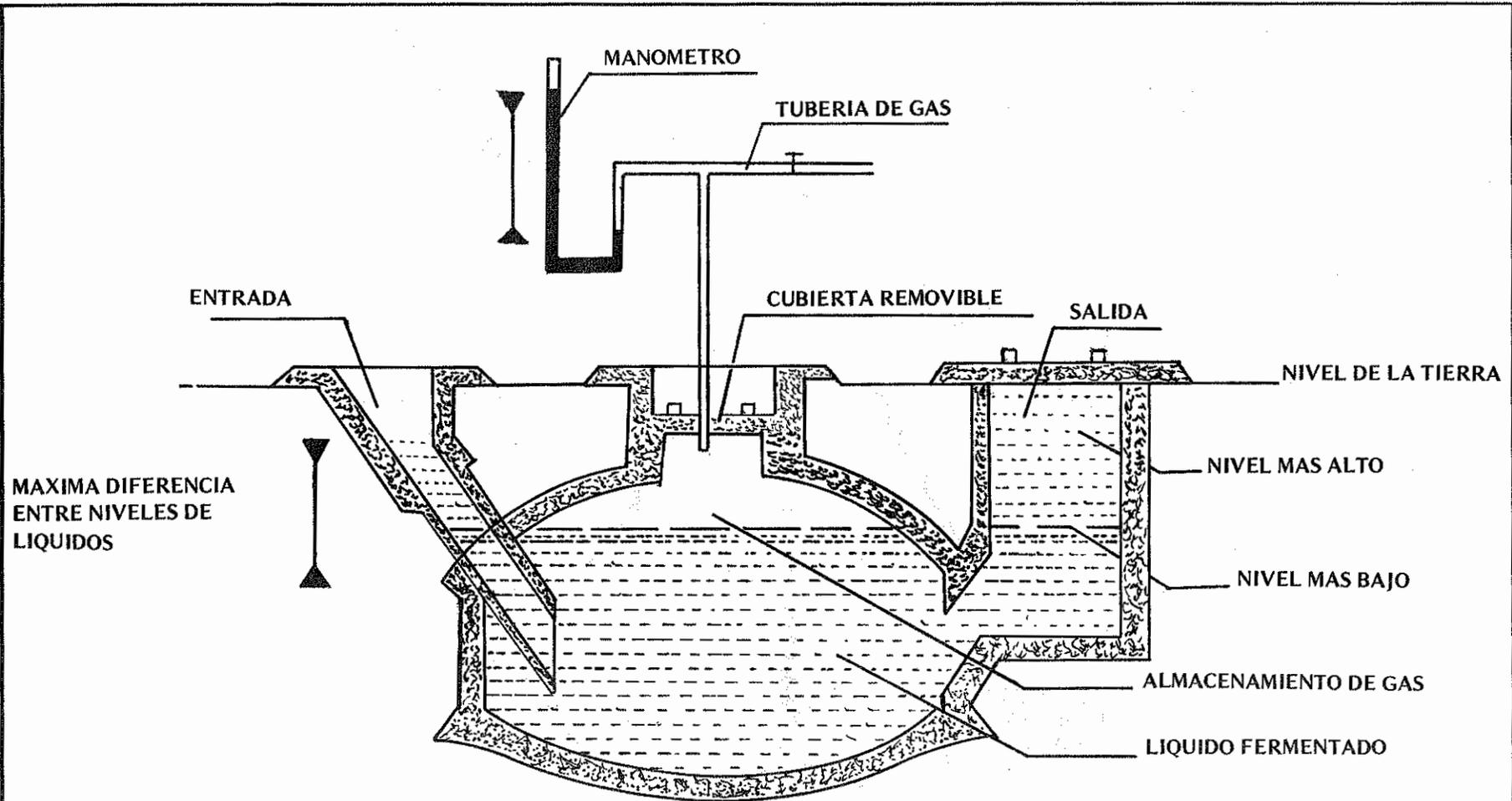
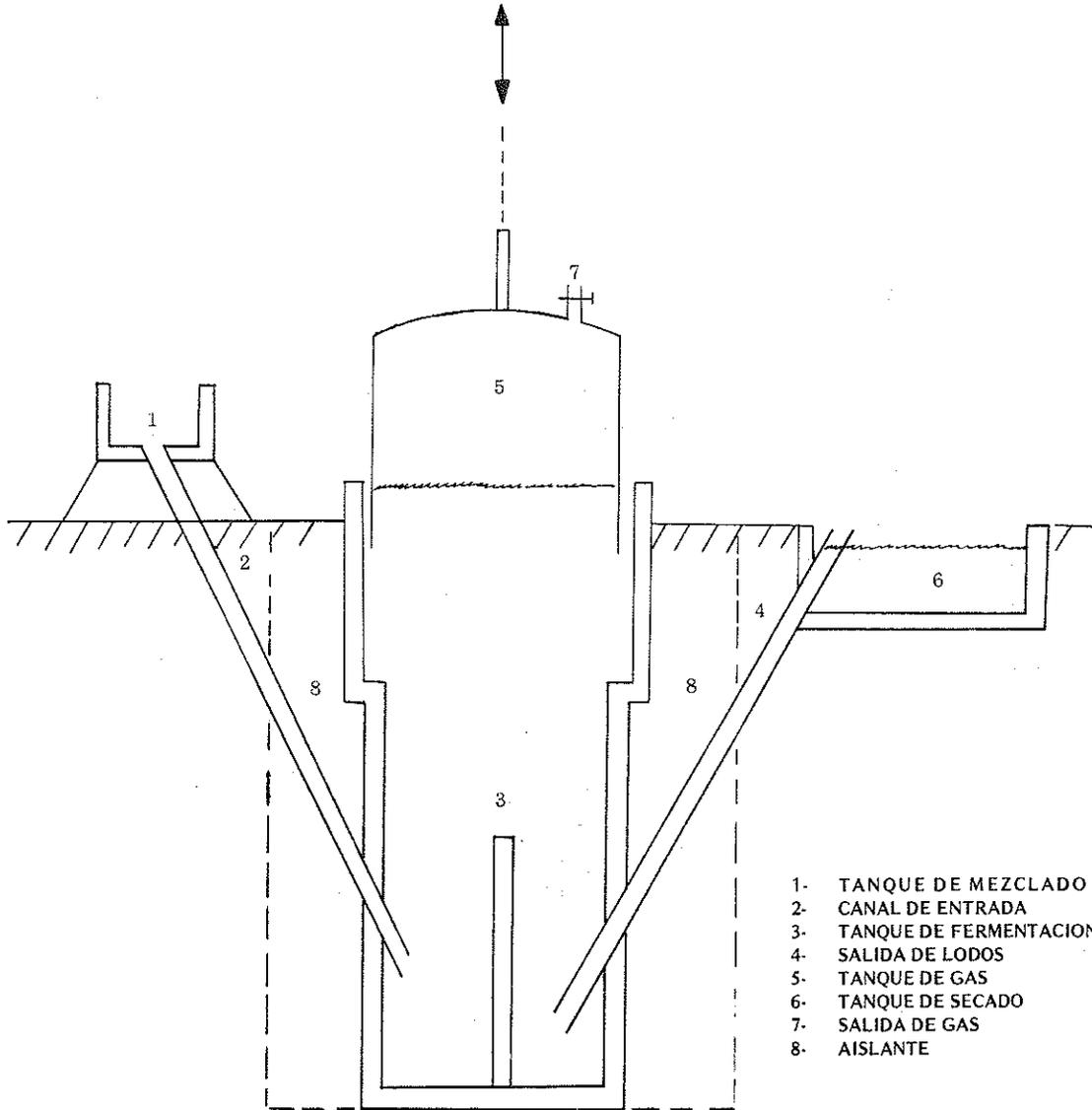


FIG. 210b

PLANTA DE BIOGAS FAMILIAR TIPO "CIRCULAR PEQUEÑO
Y ACHATADO " USADO EN LA REPUBLICA POPULAR CHINA

PLANTA DE BIOGAS USADA EN INDIA

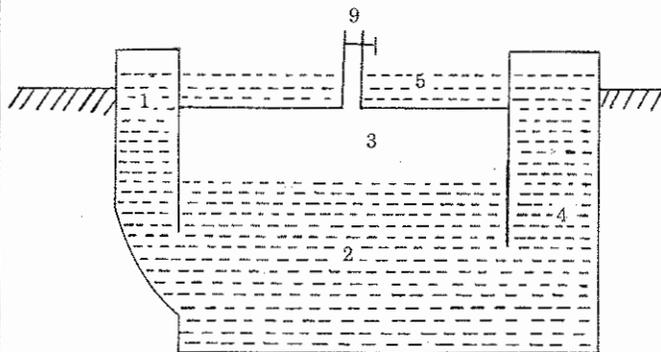
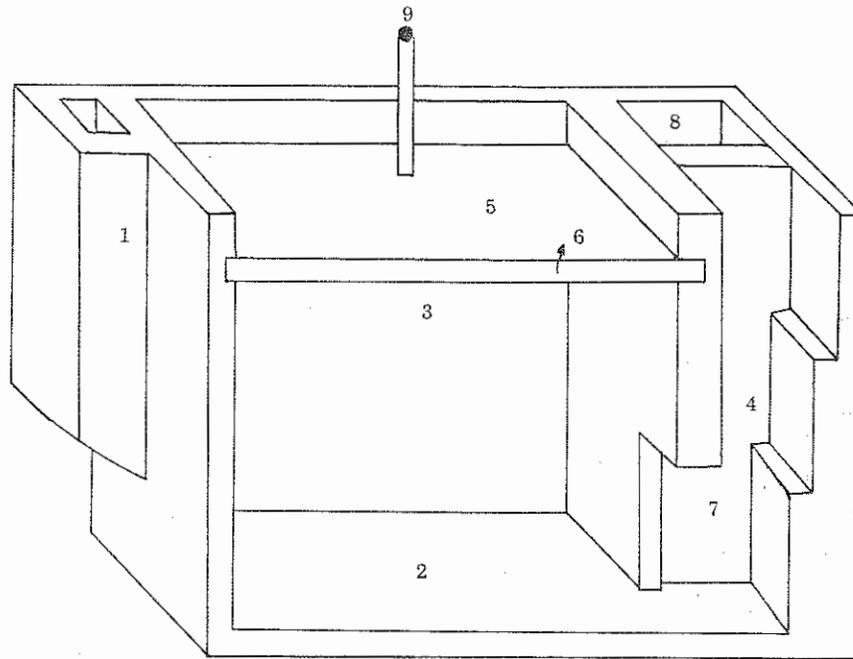


- 1- TANQUE DE MEZCLADO
- 2- CANAL DE ENTRADA
- 3- TANQUE DE FERMENTACION
- 4- SALIDA DE LODOS
- 5- TANQUE DE GAS
- 6- TANQUE DE SECADO
- 7- SALIDA DE GAS
- 8- AISLANTE

PRODUCCION DE ENERGIA A PARTIR DE BIOMASA

TECNOLOGIA	BIOMASA	PRODUCCION	ENERGIA Kcal/Kg. (a)
COMBUSTION DIRECTA	BASURA BIOMASA FORESTAL DESECHOS AGRICOLAS	— — EVENTUALMENTE ELECTRICIDAD	9.35 (CASO OPTIMO)
PIROLISIS Y GASIFICACION	BASURA BIOMASA FORESTAL, DESECHOS AGRICOLAS	CARBON, GAS, ACEITES COMBUSTIBLES ETC.	1,259
FERMENTACION ALCOHOLICA	COSECHAS AZUCARERAS, COSECHAS AMILACEAS	$C_2H_5 OH$	1,477
FERMENTACION ANAEROBICA	ESTIERCOL DE GANADO, DESAGÜES MUNICIPALES DESECHOS AGRICOLAS, DESECHOS DE IND. DE ALIMENTACION	CH_4	784

(a) DE BIOMASA SECA



- 1- ENTRADA
- 2- TANQUE DE FERMENTACION
- 3- GAS
- 4- SALIDA DE LODO
- 5- TANQUE DE PRESION DE AGUA
- 6- CUBIERTA
- 7- PUERTA DE TANQUE
- 8- TANQUE ADAP TADO
- 9- SALIDA DE GAS

PLANTA DE BIOGAS USADA EN LA R.P. CHINA
10 m³

ENERGIA DE BIOGAS A PARTIR DE DESECHOS ANIMALES DIVERSOS

ANIMAL (peso prom.)	ESTIERCOL (Kc/unidad x día)	RENDIMIENTO EN BIOGAS (m ³ /Kg de estiércol fresco)	BIOGAS (m ³ /unidadx día)	EENERGIA * (10 ³ Kcal/ unid.xdía)
VACUNO (300 Kg)	16.50	0.037	0.610	2.90
EQUINO (200 Kg)	13.50	0.057	0.780	3.70
PORCINO (100 Kg.)	8.20	0.052	0.420	2.00
OVINO (50 Kg.)	2.20	0.150	0.330	1.60
CAPRINO (50 Kg.)	2.20	0.150	0.330	1.60
AVES DE CORRAL (2 Kg.)	0.06	0.091	0.006	0.03
HOMBRE (30 Kg.)	0.60	0.042	0.038	0.15

(*) Poder calorífico del Biogás4767 (Kcal/m³ (OLADE) a 20°C)

ENERGIA DE BIOGAS A PARTIR DE DESECHOS AGRICOLAS DIVERSOS

CULTIVO	DESECHOS Kg/Ha x año (a)	BIOGAS (b) m ³ /Ha x año	ENERGIA (c) 10 ³ Kcal/Ha x año
MAIZ	9.980	1897	9047
TRIGO	3.360	638	3043
CEBADA	3.382	643	3063
ARROZ	3.379	642	3061

(a) UNA COSECHA ANUAL

(b) RENDIMIENTO PROMEDIO DE BIOGAS: 0190 m³/Kg DE DESECHOS AGRICOLAS
(pajas, rastrojos, etc.)

(c) PODER CALORIFICO DEL BIOGAS: 4767 Kcal/m³ BIOGAS, A 20°C.

ESTIMADO DE POTENCIAL NACIONAL DE BIOGAS EN ZONAS RURALES

(a)

MATERIA ORGANICA	POBLACION (10 ⁶ unidades ó Ha cultivadas)	DESECHOS 10 ⁶ TH/año (a)	BIOGAS (10 ⁶ m ³ /año)	ENERGIA 10 ¹² Kcal/año	o/o
ESTIERCOL DE VACUNOS	4.19	25.13	945	4.46	19
ESTIERCOL DE EQUINOS	1.33	6.63	380	1.81	8
ESTIERCOL DE PORCINOS	2.14	6.43	334	1.60	7
ESTIERCOL DE OVINOS	15.30	12.23	1.860	8.86	38
ESTIERCOL DE CAPRINOS	2.02	1.62	246	1.17	5
ESTIERCOL DE AVES	37.70	0.92	84	0.40	2
DESECHOS AGRICOLAS(b)	0.81	5.30	1.007	4.80	1
EXCRETA HUMANA	5.48	1.37	57	0.27	20
TOTAL NACIONAL RURAL		59.63	4.913	23.37	100

a) EN 1976

b) DE CULTIVOS DE MAIZ, TRIGO, CEBADA Y MAIZ

c) CONSIDERANDO UNA COSECHA POR AÑO

ESTIMADO DE POTENCIAL NACIONAL DE BIOGAS EN 1976

MATERIA ORGANICA	ENERGIA EN BIOGAS (10 ¹² Kcal/año)	EQUIVALENTE EN KEROSENE 10 ⁶ lt (a) (b)	VALOR ECONOMICO EN MILLONES DE SOLES (c)	o/o
ESTIERCOL DE VACUNO	4.46	526	4.974	19
ESTIERCOL DE EQUINO	1.81	214	1.819	8
ESTIERCOL DE PORCINO	1.60	188	1.599	7
ESTIERCOL DE OVINOS	8.86	1.048	8.900	38
ESTIERCOL DE CAPRINOS	1.17	138	1.176	5
ESTIERCOL DE AVES	0.40	47	403	2
DESECHOS AGRICOLAS	4.80	588	4.819	2
EXCRETA HUMANA	0.27	32	274	1
TOTAL NACIONAL RURAL	23.37	2.760	23.464	100

(a) PODER CALORIFICO DE KEROSENE: 8.476Kcal/lt.

(b) EQUIVALENTE EN KEROSENE ENERGIA EN BIOGAS (Kcal) x $\frac{1}{8.467}$

(c) PRECIO DE UN LITRO DE KEROSENE: S/. 8.50 (en Lima) 8.467(Kcal. lt.)

VALOR ECONOMICO DEL BIOGAS PRODUCIDO POR ANIMALES

ESTIERCOL PRODUCIDO POR UNIDAD ANIMAL:	ENERGIA EN BIOGAS 10 ³ Kcal /unid.		EQUIVALENTE EN KEROSENE litros / unidad		VALOR ECONOMICO SOLES /UNID. (S/.8.50 /litro Keros).	
	DIA	AÑO	DIA	AÑO	DIA	AÑO
VACUNO	2.91	1.064	0.35	126	3	1.068
EQUINO	3.74	1.366	0.45	161	4	1.371
PORCINO	2.04	744	0.24	88	2	747
OVINO	1.58	580	0.20	68.5	1.6	582
CAPRINO	1.58	580	0.20	68.5	1.6	582
AVES	0.03	11	0.01	1.3	0.1	11
HOMBRE	0.15	57	0.02	6.8	0.2	57

CONSUMO ENERGETICO DOMESTICO EN 1976 (EN 10¹² Kcal)

TIPO DE ENERGIA	COCINA URBANO	COCINA RURAL	LUZ	OTRAS APLICACIONES	TOTAL	o/o
ELECTRICIDAD	0.167	---	1.027	0.430	1.625	3.2
KEROSENE	3.919	1.506	1.338	---	6.764	13.5
PROPANO	0.129	---	---	---	1.290	2.6
LEÑA	---	34.656	---	---	34.656	69
ESTIERCOL Y OTROS	---	5.977	---	---	5.977	11.9
TOTAL	5.354	42.063	2.366	0.430	50.191	100
o/o	10.6	83.8	4.7	0.8	100	*

FUENTE: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS - PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO "BALANCE NACIONAL DE ENERGIA"
Diciembre 1978.

(*) EL POTENCIAL NACIONAL DE BIOGAS REPRESENTA EL 47 o/o DEL CONSUMO ENERGETICO DOMESTICO EN 1976.

ESTIMADO DEL POTENCIAL DE BIOGAS EN PUNO

TIPO DE DESECHO	POBLACION O HA. CULTIVADA	DESECHOS TM/AÑO (a)	BIOGAS 10 ³ m ³ /año	ENERGIA 10 ⁶ Kcal/año	o/o
Estiercol de Vacunos	425,000	2'255.000	83.886	399.884	11.0
Estiercol de Equinos	79.800	390.000	22.347	106.528	3.0
Estiercol de Porcinos	104.200	312,600	16.255	77.488	2.0
Estiercol de Ovinos	4'970.000	3'976.000	604.352	2'880.945	80.0
Estiercol Caprinos	1,200	960	146	695	0.01
Estiercol de Aves	558.000	13.960	1.273	6.069	0.2
Desechos de Maiz	2.900	28.965	5.503	26.234	0.7
Desechos de Arroz	145	490	93	443	0.01
Desechos de Trigo	250	840	160	761	0.02
Desechos de Cebada	17.440	58.982	11.206	53.421	1.5
Excreta Humana	590.013	147.502	6.145	29.294	0.8
TOTAL	---	7'185.300	751.366	3'581.762(b)	100.00

(a) ESTADO FRESCO

(b) CORRESPONDE AL 15 % DEL POTENCIAL DE BIOGAS

ESTIMADO DE POTENCIAL DE BIOGAS TOTAL EN CAJAMARCA

TIPO DE DESECHO	POBLACION O HA. CULTIVADA	DESECHOS T.M. (a)	BIOGAS 10 ³ m ³ /año	ENERGIA 10 ⁶ Kcal /año	o/o
Estiercol Vacunos	500,000	3'000.000	111.600	531.997	28
Estiercol Equinos	114,600	573.000	32.833	156.514	8
Estiercol Porcinos	195.100	585.300	30.435	145.086	7.5
Estiercol Caprinos	501.600	401.280	60.994	290.761	15
Estiercol Ovinos	112.100	89.680	13.631	64.980	3
Estiercol Aves	1'365.000	33.870	3.089	14.725	0.7
Desecho Maíz	61.300	612.264	116.330	554.545	20
Desecho Arroz	11.700	39.534	7.511	35.087	2
Desecho Trigo	17,425	58.548	11.124	53.028	3
Desecho Cebada	12,900	43.627	8.289	39.514	2
Excreta Humana	759,095	189.770	7.932	37.813	2
TOTAL	---	---	403.768	1'924.050	100

(a) Estado Fresco

ESTIMADO DEL POTENCIAL DE BIOGAS EN JUNIN

TIPO DE DESECHO	POBLACION O HA. CULTIVADA	DESECHOS (a) TM/AÑO	BIOGAS 10 ³ m ³ /año	ENERGIA 10 ⁶ Kcal / Año	o/o
Estiercol de Vacunos	216.000	1'296.000	48.212	230.000	14
Estiercol de Equinos	74.000	370.000	21.200	101.600	6
Estiercol de Porcos	93.900	281.700	14.650	70.000	4
Estiercol de Ovinos	1'756.000	1'404.800	213.530	1'017.900	62
Estiercol de Caprinos	20.000	16.000	2.430	11.600	0.7
Estiercol de Aves	1'051.000	26.270	2.400	11.420	0.7
Desecho de Maíz	14.450	144.326	27.420	130.720	8
Desecho de Trigo	9.110	30.609	5.810	27.720	2
Desecho de Cebada	20.700	60.800	13.260	63.220	4
Desecho de Arroz	1.220	4.122	780	3.730	0.2
Excreta Humana	101.963	25.490	1.065	5.080	0.3
TOTAL	---	3'670.000	3 50.770	1'610.000(b)	100.00

(a) Estado Seco

(b) Corresponde al 7 o/o del potencial