

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

SEMINARIO DE GRADUACION

INDUSTRIALIZACION DE LA BASURA RECOLECTADA EN EL
AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE SAN SALVADOR

DONADO A LA
UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA
POR *Ing. Mario Ruiz*

PRESENTADO POR

ANA LILLIAN GUERRA LINARES
ANA ISSA MARIA HERNANDEZ FLORES
EDGAR ROBERTO TREJO ESCALANTE

PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

ABRIL DE 1979

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : DR. EDUARDO BADÍA SERRA
SECRETARIO GENERAL : DR. JORGE FERRER DENIS

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : ING. EDUARDO CASTILLO URRUTIA
SECRETARIO : ING. JUAN MIGUEL IGLESIAS CARRANZA

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE ESCUELA : LIC. JOSÉ ANTONIO SILVA TREJO

INDUSTRIALIZACION DE LA BASURA RECOLECTADA EN EL
AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE SAN SALVADOR

TRABAJO DESARROLLADO POR:

ANA LILLIAN GUERRA LINARES

ANA ISSA MARIA HERNANDEZ FLORES

EDGAR ROBERTO TREJO ESCALANTE

DIRECTOR : DR. RODOLFO GUARDADO

ASESORES : ING. ROBERTO OCHOA

LIC. JOSE ANTONIO SILVA

RECONOCIMIENTO

Patentizamos nuestro agradecimiento a:

Ing. Hugo Guerra y Guerra,

Alcalde Municipal de San Salvador.

Ing. Rigoberto Arévalo Caridad

Señor Vicente Buiza Calderón,

Alcaldía Municipal de San Salvador.

Dr. Mauricio Hernández,

Profesor de la Facultad de Química y Farmacia.

Lic. Víctor Manuel Segura,

Profesor del Departamento de Ingeniería Química.

Ing. Francisco Zepeda,

Ing. Juan Manuel Ríos,

Miembros de la O.P.S.

Ing. German Cortez Andrino,

Ministerio de Salud Pública.

Y a todos los que en una u otra forma nos dieron su colaboración para la realización de este trabajo.

Ana Lillian Guerra L.

Ana Issa María Hernández

Edgar Roberto Trejo E.

DEDICATORIA

- A MI MADRE : Graciela Linares de Guerra
Por su apoyo para que lograra mi superación
intelectual.
- A MI PADRE : Jesús Guerra R.
Con cariño y respeto.
- A MIS HIJOS : Ana Ivette
Ileana María
José Alejandro
Por ser la causa que me llevó a terminar mis
estudios.
- A MI HERMANO : Jorge Arturo
Que me brindó su apoyo moral y estímulo en
los momentos difíciles.
- A MIS DEMAS FAMILIARES: Que supieron comprender mi esfuerzo.
- A MIS MAESTROS, AMIGOS Y TODAS LAS PERSONAS QUE ME DIERON SU AYUDA EN
ALGUN MOMENTO.

Ana Lillian Guerra L.

DEDICATORIA

A MIS QUERIDOS PADRES : Br. Héctor David Hernández Oliva y
Prof. Emilia Flores de Hernández (Q.E.P.D.)

Con profundo cariño y agradecimiento que nace del corazón de una hija agradecida por toda la ayuda que me brindaron para hacer de su séptima y última hija, una profesional más, en la familia.

En el fondo de mi alma estoy lamentando la ausencia de mi madrecita, pero estoy segura que desde el cielo, ella me estará acompañando y gozará conmigo.

A MIS HERMANOS : Dr. Héctor Antonio Hernández Flores
Dra. Graciela Emilia Hernández Flores
Dr. Héctor David Hernández Flores
Arq. Jorge Luis Hernández Flores
Dra. Rhina Violeta Hernández Flores
Dr. José Franklin Hernández Flores

A MI ESOSO : Ing. Roberto Bran Giralt

A MI HIJITA QUERIDA : Emilia María Bran Hernández

A MI DEMAS FAMILIA

AMIGOS Y A

: Todas aquellas personas que en una u otra forma hayan contribuido a la realización de mis anhelos.

Ana Issa María Hernández F.

DEDICATORIA

- A MIS PADRES : Quienes con dedicación y cariño me forjaron
Raúl Adolfo hasta lograr darme el arma más poderosa de
Lucía Laura todas: la educación.
- A MI QUERIDA ESPOSA : Quien con sus sacrificios y desvelos supo -
Zoila Esperanza darme aliento para culminar mis esfuerzos.
- A MIS HIJITOS : Joyas preciosas que me cedió el Todopoderoso
Edgar Roberto para poder seguir el sendero de mi vida, sir
Ronald Alberto viéndome de luz y fuerza.
- A MIS HERMANOS Y :
DEMÁS FAMILIA : A todos ellos que han logrado darme momentos
felicis, acompañándome en mis alegrías y --
tristezas.
- A MIS MAESTROS Y :
AMIGOS : Especialmente aquellos que me alentaron en -
mis momentos más difíciles y también me ayu-
daron con su presencia a ver lo más preciado
de la vida que es la amistad y el cariño de
alguien que lo aprecia como un hermano.
- A TODOS ELLOS : Les dedico este trabajo que es la culminación
de mi vida estudiantil y de los desvelos, así
como de la satisfacción del deber cumplido.

Gracias, Dios mío, por todo ello.

Edgar R. Trejo E.

CONTENIDO

PÁGINA

Introducción

1

CAPITULO 1

- 1.1. Factores Incidentes en la Búsqueda de alternativas para la reutilización de los desechos municipales 3
- 1.1.1. Disposición Final de la Basura 3
- 1.1.2. Escasez de Energéticos 4
- 1.1.3. Agotamiento de las Tierras Productivas 4
- 1.2. Disposiciones dadas a la Basura 5
- 1.3. Clasificación de las Basuras 7
- 1.4. Selección y Análisis de Muestras de Basura 10

CAPITULO 2

FABRICACION DE COMPOST

- 2.1. Obtención de Compost por transformación Zimotérmica 12
- 2.2.1. Fábrica de Abono de la Ciudad de Sta. Ana 14
- 2.2.2. Factores que influyeron en su paralización 15
- 2.3. Métodos para Fabricación de Compost más conocidos en Latinoamerica 16
- 2.3.1. Sistema Van Maanen 16
- 2.3.2. Sistema Fuji 19
- 2.3.3. Cantidad de Basura Recolectada 20
- 2.4. Rendimiento del Proceso 21
- 2.5. Importancia del Compost 22
- 2.6. Variables Involucradas en el Proceso 22
- 2.7. Determinación del Contenido de Humedad 24
- 2.7.1. Pruebas Realizadas 25
- 2.8. Evaluación del PH 26

2.8.1.	Método seguido	
2.8.2.	Pruebas realizadas	
2.9.	Efectos de la Temperatura	26
CAPITULO 3: FABRICACION DE METANO		
3.1.	Necesidad de Recursos Energéticos en el País	32
3.2.	Procesos de Producción de gas Metano	33
3.3.	Reacciones Químicas-Orgánicas involucradas	34
3.4.	Aspectos Generales de la materia a degradar	41
3.5.	Características de la Digestión	43
	A - Relación C/N	44
	B - pH	45
	C - Temperatura	46
3.6.	Consideraciones sobre diseño de un Digestor	48
3.7.	Composición del Gas	51
3.8.	Valor Energético	51
3.9.	Equipo para Planta Piloto	54
3.10.	Rendimiento del Proceso	58
CAPITULO 4. PRODUCCION DE VAPOR		
4.1.	Uso de la Basura como Combustible	59
4.2.	Evaluación del Poder Calorífico	59
4.2.1.	Métodos y Equipo en general	59
4.2.2.	La Bomba Calorimétrica	61
4.3.	Parte Experimental	63
4.3.1.	Preparación de las Muestras y Determinación de su calor de combustión	63
4.3.2.	Equipo Utilizado	64
4.4.	Calibración	70
4.5.	Correcciones Termoquímicas	72
4.6.	Correcciones Termométricas	74
4.7.	Determinación de Azufre en sólidos	75

4.8.	Azufre en Combustibles sólidos	76
4.9.	Calibración de Calorímetro	78
4.10.	Poder Calorífico de la Basura	81
4.11.	Comparación del Poder Calorífico de la Basura con otros materiales	85
4.12.	Estudios y Conclusiones efectuados en Brasil	86
CAPITULO 5.	ANALISIS ECONOMICO	87
	CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	89
	RECOMENDACIONES	91
	GLOSARIO	92
	ANEXO 1	
	ANEXO 2	
	REFERENCIAS	

INTRODUCCION

Desde la antigüedad, el hombre asoció recuperar material de desechos orgánicos que pudieran ser útiles a la fertilidad de los suelos, como una solución al problema de obtención de alimentos, es así como en varias partes de la tierra, numerosas poblaciones han podido subsistir en suelos, que en otra forma se hubieran agotado hace varias generaciones. (2)

Puede interpretarse los "requerimientos metabólicos de la ciudad" como las necesidades del hombre por los materiales y comodidades necesarias para sostener su vida en las ciudades. Esos requerimientos son aplicados al hogar, al trabajo o a la recreación e incluyen los materiales necesarios para construir, también para mantener y reconstruir secciones de la ciudad. El ciclo no es, por supuesto, completado hasta que los desperdicios o residuos de las actividades diarias de la comunidad, han sido incorporados de nuevo al sistema ecológico. (1)

Las ciudades poseen abundante evidencia del hecho de que el ambiente no tiene una capacidad ilimitada para asimilar los desperdicios del hombre. Ingenieros y Científicos que están directamente relacionados con los problemas municipales de abastecimiento de agua y recuperación de desperdicios, están familiarizados con las cantidades de flujo de materia prima e interesados en la recuperación de materiales útiles, los cuales al ser procesados serán capaces de rendir beneficios a sus comunidades.

En cada proceso, el flujo de materia prima va generando desechos, los cuales deben ser analizados para su recuperación. Esquemáticamente se pueden representar de la siguiente manera: (10)



Como se puede observar, son muy variadas las formas de reutilización de desperdicios. Para el uso de los desechos se tienen dos corrientes bien definidas: una que pugna por reusar esos desechos y otra que trata de que no se produzcan materiales innecesarios. El técnico lo que hace es buscar la cantidad de desechos sólidos en cada una de las partes del esquema anterior.

El parámetro más importante es determinar la cantidad de desechos por habitante por día.

Se tienen dos clases de desechos: los putrecibles y los no putrecibles, para ambos se debe diseñar los métodos de almacenamiento, los cuales deben cumplir ciertos requisitos: ser sanitarios y facilitar el servicio de aseo, además debe de establecerse un sistema de recolección.

1.1. FACTORES INCIDENTES EN LA BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS PARA LA REUTILIZACION DE LOS DESECHOS MUNICIPALES.

Para países en desarrollo como el nuestro, es de mayor importancia la investigación de la reutilización de sus desechos, tanto industriales como municipales, es una necesidad y un deber de cada persona el de colaborar con la conservación de los recursos naturales del país y para el profesional es una obligación encontrar los métodos y caminos para la transformación de los desechos en productos útiles, que contribuyan en alguna forma al bienestar de la comunidad. Los factores principales que inciden en la búsqueda de alternativas para la industrialización de la basura son los siguientes:

1.1.1. DISPOSICION FINAL DE LA BASURA.

La basura por su naturaleza, presenta un problema grande, tal cual es la disposición final de ella; ¿a qué sitio se lleva esa cantidad de desperdicios? la cual cada día aumenta, conforme aumenta la población y por ende el problema se hace mayor. La buena salud del pueblo es primordial, pues si se encuentra sano, producirá más que si se encuentra enfermo, pero llegará un momento en que no se encuentren botaderos que satisfagan las necesidades de desahogo del país, ni que cumplan con los requisitos sanitarios, provocándose así, contaminación ambiental y formación de focos infecto-contagiosos; si la solución aplicada es la pirólisis de la basura, tampoco es adecuada porque también contaminaría el ambiente, con la generación de gases tóxicos, además de la formación de cenizas que lógicamente necesitan un sitio donde acondicionarlas.

1.1.2. ESCASEZ DE ENERGETICOS.

A nivel mundial, se observa cada día más la escasez de energéticos, pues el petróleo, fuente principal de ellos, es un recurso tendiente a desaparecer, además, es frecuentemente empleado por los países productores como un arma político-económica de gran repercusión mundial.

Nuestro país por carecer de reservas petrolíferas, ha tenido que buscar otras fuentes de energía, siempre usando sus recursos naturales, tales como el agua en presas hidroeléctricas y pozos geotérmicos, para emplear las -- fuerzas endógenas, pero esto sólo contribuye en parte a satisfacer la demanda de energía, porque siempre se necesita la importación de petróleo, cuyo alto costo no sólo afecta de inmediato el nivel de vida de la población, si no que incide como un recargo en las obras que se realizan en el país, para el suministro de energía en el futuro, por lo que es urgente buscar nuevas formas de energéticos que ayuden a satisfacer la demanda y a aliviar en parte, la fuga de divisas, ya que no se puede totalmente y de esta manera nivelar la balanza de pagos nacional.

1.1.3. AGOTAMIENTO DE LAS TIERRAS PRODUCTIVAS.

Este es un factor muy importante para un país cuya producción agrícola es la mayor fuente de divisas, tal como lo es El Salvador, por lo que el abuso y/o descuido de las tierras debe ser legislado a fin de conservar e incrementar su productividad, de manera que pueda cumplir con las demandas -- internas de productos agrícolas a la vez de mantener su nivel de exporta--ción, pero mientras las autoridades pertinentes no actúen fructíferamente en este aspecto, las tierras cada vez se agotan más y más, contribuyendo a esto, el abuso de fertilizantes químicos y la deforestación.

Los factores anteriores inciden fuertemente en la búsqueda de alternativas para la industrialización de la basura, que representa una materia prima - barata y a la vez muy versátil para su utilización, pero se tiene que pensar también en que los procesos sean prácticos y posibles de llevarse a cabo en este país.

1.2. DISPOSICIONES DADAS A LA BASURA

La disposición de desperdicios sólidos puede ser efectuada por muchos caminos, tales como: incineración, relleno sanitario, evacuación al mar, extracción y recuperación de materiales útiles, fabricación de metano, fabricación de Compost (abono orgánico); producción de vapor, etc. (4.7)

La incineración es sólo una forma intermedia en la disposición de desperdicios sólidos, ya que las cenizas deben ser removidas y se descargan grandes cantidades de gases.

La mayoría de los procesos industriales que intentan recuperar los desechos orgánicos, para transformarlos en materiales útiles, requieren energía, pero si se utiliza el sistema de producción de metano, no sólo se está produciendo energía sino que además los residuos pueden utilizarse como abono orgánico o utilizarse para fabricar tablas del tipo de madera prensada (panel board) que puede ser convertida luego en muchísimos productos. (Ver Anexo 1)

1.2.1. CONVERSION QUIMICA DE DESPERDICIOS SOLIDOS A PRODUCTOS UTILES.

El uso de los desperdicios sólidos como materia prima para la obtención de productos útiles depende primordialmente de las posteriores aplicaciones - de la Ingeniería Química y Tecnológica para los problemas de disposición - de desperdicios.

Los objetivos de este estudio son:

1. Identificación de la naturaleza química de los constituyentes de los desperdicios sólidos.
2. Identificación de los procesos de transformación.
3. Ingeniería de procesos y evaluación económica de las operaciones en una Planta Piloto.

Los resultados de este estudio serán útiles en el desarrollo de una fácil transformación química en los desperdicios sólidos, la cual será capaz de recuperar de la basura generada por los recursos municipales, comerciales y agrícolas, por medio de procesos de reutilización. Entre algunos procesos de reutilización podemos mencionar:

1. Obtención de productos de vidrio a partir de los desperdicios de dicho material.

De esto podemos obtener papel de lija, filtros para remover sólidos suspendidos en el agua, vidrio ornamental, figuras de decoración y como medio de protección en las viviendas al ser instalado en las bardas, etc.

2. Recuperación de Desperdicios de Plástico.

Los plásticos presentan un problema especial en los procesos de disposición final de la basura, en los cuales no se descomponen realmente cuando se hacen los rellenos sanitarios y algunos contribuyen a la contaminación del aire por incineración, por esta razón es que se ha investigado la utilización de dichos desperdicios. Algunos de ellos son: calzado, accesorios de maletines, valijas y similares, mangueras domésticas y recuperación de resinas; además, en la fabricación de tubería de P.V.C. en la cual se utiliza la materia prima en forma virgen, considerándose que podría utilizarse un pequeño porcentaje de desperdicio de P.V.C. siempre y cuando se haga una clasificación adecuada de los diferentes tipos de plásticos que se tenga.

3. Utilización de Envases Metálicos.

Se hará mención en este apartado, a los envases metálicos formados por re cipientes que poseen una capacidad mayor de 50 galones, debido a que los de menor capacidad, a pesar de encontrarse en cantidades apreciables, el proceso de reutilización no es factible debido al alto costo del mismo.

Entre los usos dados a los recipientes de capacidad mayor de 50 galones - están: recolectar basura, almacenar miel de purga, almacenar miel de abeja (previo revestimiento con cera), almacenamiento de agua para usos domés ticos, almacenamiento de aceites comestibles, granos básicos, para la cons trucción de hornos caseros, etc.

1.3. CLASIFICACION DE LAS BASURAS.

Se entiende por basuras, las materias desechadas o sobrantes que tienen un carácter sólido o semisólido, pero las cuales no fluyen sino se les ha agre gado ningún líquido; están compuestas de las siguientes materias: desperdi cios, desechos, cenizas, productos de barrido de calles, animales muertos, residuos industriales, residuos provenientes de residencias, tiendas, hote les, restaurantes, mercados, etc. (4)

Se entiende por desperdicios "aquellos residuos sólidos o semisólidos prove nientes de las cocinas, los cuales están sujetos a descomposición y putre facción y los sobrantes o despojos de los mercados, mataderos, etc. de ori gen animal o vegetal". (Ver Tabla 1-2)

Los desechos "son los materiales de carácter no putrecible". Se dividen a-- sí:

- a) desechos combustibles, tales como papeles, pedazos de madera, etc.
- b) desechos no combustibles: son los materiales y objetos de tierra, a-- rena, piedra, ladrillo, metales, vidrio, etc.

Las cenizas son el producto final de la combustión de elementos como el carbón y otros que se usan en las industrias y en las casas.

Basuras del barrido de las calles son las que proceden del barrido de las calles, plazas, parques y se componen especialmente de polvo, hojarascas, pasto y otros desechos.

Basuras especiales son las provenientes de hospitales, clínicas, sitios en donde puedan existir individuos enfermos y de las industrias en que por su composición son tóxicas o peligrosas.

Con respecto a la calidad podemos decir que se refiere⁽¹¹⁾ principalmente a la susceptibilidad de las basuras de contener ciertos materiales que -- son aprovechables, pero técnicamente es ver qué contienen las basuras, su contenido y de qué elementos, con sus proporciones. Para todo esto se necesitan tomar muestras representativas de las basuras generadas por la comunidad y analizar su composición típica, haciendo para ello una clasificación de los componentes o grupo de ellos presentes en la basura.

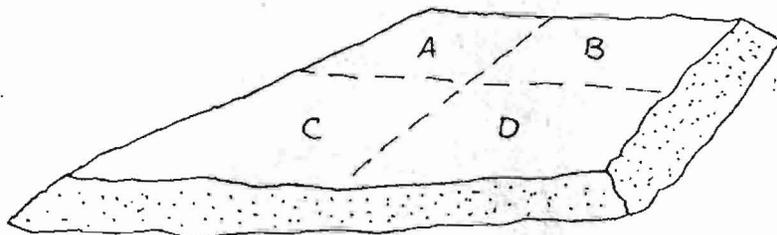
Para hacer la composición típica de las basuras de San Salvador y alrededores, se tomaron muestras directamente de los camiones recolectores. La tabla 1.1. muestra la clasificación de ellas.

1.4.1. SELECCION Y ANALISIS DE MUESTRAS DE BASURA TOMADAS EN LA CIUDAD -
DE SAN SALVADOR.

Procedimiento de Selección: (8)

1. Cuarteo

1.1. La basura (aproximadamente de 150 a 200 Kgs) se vacía en una zona techada, se mezcla bien y se distribuye en un área cuadrada, como se indica en la figura. El lado del cuadrado puede ser de 2 a 3 metros.



- 1.2. Se seleccionan dos porciones encontradas, ya sean A y D, o bien B y C y las otras dos se desechan.
- 1.3. La basura que resta se mezcla perfectamente y se repite la operación otra vez, obteniéndose así una muestra de 40 a 50 Kgs.
- 1.4. Cuando se va a efectuar una prueba de humedad se toman de la muestra anterior de 2 a 3 Kgs. para llevar al laboratorio.

1.4.2. Análisis

- i. La muestra obtenida se pone en bolsas de plástico y se pesa

- ii. En una mesa grande, o en el suelo si ésta no existe, se colocan las bandejas cada una de las cuales se dedicará a uno de los materiales por analizar.
- iii. Se vacía una pequeña cantidad (5 Kgs. aproximadamente) de la muestra en el centro de la mesa y se empieza a hacer la selección de acuerdo con la lista del formulario que se anexa.
Se continúa la operación hasta terminar con la muestra.
- iv. Se pesan y se anotan los pesos de cada material seleccionado.
- v. Se suman los pesos y se calculan los porcentajes.
- vi. Se regresan los materiales a una bolsa de plástico grande y se pesa la muestra. La suma de pesos debe coincidir con esta pesada dentro de cierta tolerancia.
- vii. La diferencia entre el peso inicial de la muestra y el final puede atribuirse a pérdidas por humedad y manipulación.

CAPITULO 2

2.1. OBTENCION DEL COMPOST POR TRANSFORMACION ZIMOTERMICA.

En forma general, la transformación zimotérmica es considerada como la descomposición biológica de la materia orgánica hasta obtener un humus estabilizado y que puede ser utilizado para mejorar los terrenos dedicados a la agricultura⁽⁴⁾.

El Compost es un abono obtenido de la degradación de los desperdicios orgánicos existentes en la basura, el proceso se efectúa por medio de un agente conocido como bacterias, puede llevarse a cabo por dos métodos: aeróbico y anaeróbico, dependiendo de la disponibilidad de oxígeno. El método aeróbico elimina la posibilidad de malos olores, el aumento de temperatura dentro de los promontorios en descomposición evita la reproducción de moscas, las larvas de éstas, que pueden presentarse en la superficie se destruyen cuando la basura se voltea, por lo que cuando la transformación se ha completado, el producto resultante puede ser manejado sin cuidados especiales. El proceso aeróbico necesita menor tiempo que el anaeróbico, es por esta razón que se le ha dado mayor importancia. El producto final es un material tipo Humus, constituido de materia orgánica libre de bacterias patógenas.

El primer intento de sistematizar los antiguos procedimientos fue hecho en la localidad de Indore, en la India, método conocido con el nombre de "Sistema Indore" y que consiste en amontonar sobre el terreno o colocar en zanjas, capas sucesivas de materia fácilmente putrecible y materia relativamente estable y esperar su descomposición natural.

Esta masa se voltea generalmente dos veces durante el período de trans--

formación.

En Florencia, Italia, Di Giovanni Beccari desarrolló un sistema que consiste en una digestión parcialmente anaeróbica de las basuras en celdas cerradas provistas con aberturas de ventilación.

Posteriormente Verdi en Francia, modificó el sistema Beccari, introduciéndole recirculación de los líquidos y gases.

Jean Bordas introdujo una segunda modificación con la inyección de aire a presión al silo o celda de fermentación.

En Holanda se estableció la entidad semioficial denominada "VAN MAANEN", Compañía de disposición de basuras, que establecieron un sistema similar al Indore⁽⁵⁾.

La casa Dano de Dinamarca introdujo un sistema que es altamente mecanizado, consiste en mezclar bien las basuras y luego molerlas o reducirlas a partículas pequeñas y en ese estado colocarlas en montones al aire libre, en donde sufren su fermentación.

Proceso Fuji: Este proceso utiliza dos clases de digestores, uno de ellos es rotativo con Tromel y el otro es de multipisos, poseyendo además, un separador magnético, filtro Boden y separadores mecánicos. Con este sistema se obtiene Compost en 24 horas aproximadamente, con un rendimiento del 40%.

En Estados Unidos se han introducido varios métodos, entre ellos están: Frazer Ewenson que consiste en la digestión de las basuras en torres, en las cuales las basuras tienen un movimiento vertical. La cantidad de aire en cada etapa se controla por medio de inyectores mecánicos. El proceso requiere 7 días pero se aplica casi exclusivamente a la transformación

de materia orgánica; otro método es el desarrollado por la Compost Corporation of America, sistema con fermentación al aire libre. En el año de 1950 el Laboratorio de Investigaciones de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de California, estableció un programa de estudio e investigación sobre la transformación zimotérmica y dió como resultado el método conocido como el de la Universidad de California.

2.2.1. FABRICA DE ABONO DE LA CIUDAD DE SANTA ANA.

Dicha fábrica estaba situada a una distancia de 1 Km. de la ciudad, teniendo las siguientes características:⁽²⁾

La recolección de basura era efectuada por la misma empresa productora del abono, pagándole la Alcalcía Municipal por dichos servicios prestados a la comuna (1948)..

La parte de la planta que correspondía a la producción estaba formada por 6 galeras con techo de lámina galvanizada, cada una de las cuales constaba de 50 mts. de largo por 10 m. de ancho, colocadas todas en línea y con un espacio de 4 mt entre cada una de ellas. De ellas, 5 tienen 14 pilas - de 10 m. de largo por 3 m de ancho y con una profundidad de 0.9 m., haciendo un total de 70 pilas.

La última galera se empleaba como bodega para almacen del producto final. En un tanque abierto de mampostería de 24 m³ de capacidad, se almacenaba aguas cloacales crudas, bombeadas desde la cloaca madre que pasaba a unos 50 m. de distancia.

Los camiones llevaban la basura y se descargaba en una plataforma de hormigón, siendo clasificada por 4 hombres, colocándola a la vez en una banda sin fin, removiendo a mano todo aquello que no era digerido durante el

proceso de transformación como hierro, latas, vidrio, cuernos, loza, estopas de coco, garrotes de racimo de guineos, ramas de árboles, cajas de cartón, zapatos viejos, trapos, petates, canastos, artículos plásticos y de hule, etc. Todo ello en conjunto representaba un 7% del peso total de la basura, seguidamente se pasaba por un electroimán, para eliminarle todos los componentes ferrosos que podían haber quedado todavía después de la clasificación inicial.

La basura así seleccionada se llevaba a un molino de martillos, el cual estaba formado por un tambor de 61 m. de diámetro, conteniendo 44 martillos de 990 g. cada uno, en el instante de estarse desmenuzando se le agregaba suficiente agua cloacal para saturar la masa. El material ya desmenuzado se llevaba a cualquiera de las 14 pilas de la galera # 1, haciéndosele 4 volteos, siendo trasladada dicha basura a la siguiente galera después de cada volteo.

El producto ya digerido se llevaba por medio de una banda sin fin a otro molino igual al que estaba situado en la galera # 1, en donde, después de habersele extraído algunos desechos que no se habían transformado durante el proceso, se molían hasta obtener un material liviano de color café oscuro, que se vendía en el mercado a ¢ 1.50 el quintal, éste fue el mayor precio que alcanzó. Cuando la fábrica se cerró, llegó a venderse a ¢ 0.75 a fin de deshacerse de él.

2.2.2. FACTORES QUE INFLUYERON EN SU PARALIZACION.

Los factores determinantes que se dieron para que dicha fábrica dejase de operar fueron básicamente dos.⁽¹¹⁾

- 1o) Los beneficios que se obtenían en una tierra que se estaba abonando con este abono eran observados a largo plazo (4 años aproximadamente),

por lo cual la mayoría de los propietarios de terreno prefirió adquirir otra clase de abono, con el cual se obtenían beneficios inmediatos. Además, hay que tomar en cuenta que la planta de abonos "FERTICA" iniciaba sus operaciones por esa misma fecha, lo cual influyó en el cambio de producto.

- 2o) La situación política de esa época se podía considerar como un tanto difícil debido a que habían especulaciones de una Reforma Agraria, la cual traería como consecuencia la expropiación de tierras a los propietarios de grandes extensiones de terreno, quedando así perdida toda inversión de parte del dueño de esas tierras y como en esa zona los principales consumidores de Compost eran los cafetaleros, estos temían por sus propiedades, en consecuencia, dejaron de adquirir esa clase de abono, que involucraba un tiempo mayor para obtener beneficios.

2.3. METODOS MAS CONOCIDOS EN LATINOAMERICA.

2.3.1. SISTEMA VAN MAANEN ⁽¹³⁾

Este sistema es un proceso aeróbico para fabricación de Compost. Debido a que la basura fresca es fermentada sin preselección, aire es más fácilmente introducido a la pila.

La basura descargada es directamente apilada, añadiéndole una cantidad de agua. Si existe un contenido alto de materia orgánica en la basura y ésta es compactada, poseerá un contenido alto de humedad. Debido a esto hay -- que tener precauciones especiales para asegurar un medio de degradación apropiado, después es pasada a una serie de tarimas (5 máx.).

Por las anteriores observaciones se considera que la altura de la tarima es de 3 a 6 metros, mientras que la velocidad de dosificación de agua es -

estimada entre cero y 200 lts/ton. de basura (lluviosa/estacion seca). Después de que se ha añadido poca agua, la basura es trasladada a la primera tarima y la temperatura llega a 70-80°C. Debido a esta temperatura alta, el poder germinativo de las semillas y todos los organismos que -- causan enfermedades son exterminados.

Después de unas pocas semanas, la temperatura se reduce a cerca de 55°C, lo cual indica que el oxígeno se ha consumido, entonces la basura coloca da en las tarimas es volteada comenzando después el mismo proceso. Generalmente el volteo se hace por tres veces, sin embargo, fluctuaciones -- son posibles dependiendo de la humedad relativa del aire y de la composición de la basura.

Se estima que bajo condiciones favorables la materia orgánica es degradada después de 4 a 5 meses. La relación C/N tiene un valor entre 10 y 20, y el producto degradado está ahora listo para el tamizado y molido en la fábrica. En la fábrica es posible separar hierro del compost en el producto degradado, mientras que plástico puede ser recolectado manualmente cuando fuese rentable.

El Sistema VAN MAANEN presenta dos métodos de procesamiento: sistema no mecánico y sistema mecánico, la selección del sistema deseado dependerá de las características y composición de la basura y además de las condiciones climáticas.

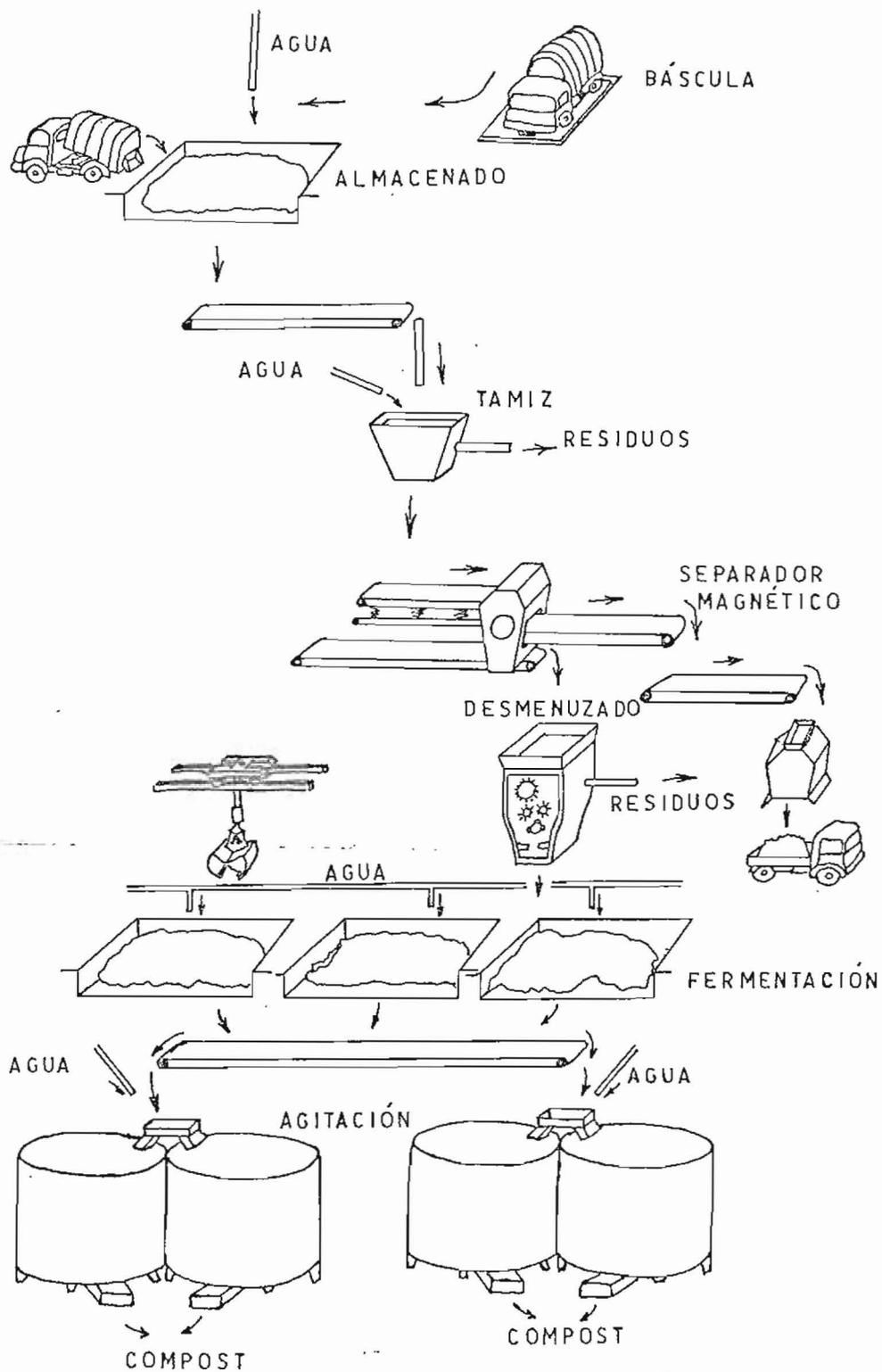
- a) Sistema No Mecánico.: La basura es transportada a la planta de procesamiento por una vagoneta diseñada especialmente para el transporte, (tren). Después de pesar la basura es descargada en una pileta junto a una rampa de concreto mientras es humedecida con agua. Cada 6 o 7

semanas la basura es volteada y transportada lejos de la rampa, -- creando espacio para la nueva basura que llega.

Durante el proceso de volteo se le agrega agua. Este tratamiento - calienta la pila de basura y se alcanza una temperatura interna de 70-80°C destruyéndose los gérmenes patógenos. Los elementos orgánicos en la basura como papel, vegetales, desperdicios de jardín y - cocina son transformados en compost bruto.

Después de 6 meses, el material es transportado a la fábrica para el procesamiento del producto de compost final. La bibliografía menciona algunas ventajas de este sistema: inversión baja de capital, costos bajos de operación, alta calidad del producto final, fácil - de incorporar a un sistema de recicló total.

- b) Sistema Mecánico: Antes de la fermentación, la basura es primero desmenuzada en partículas pequeñas, favoreciendo el proceso del compost por presentar la materia prima desmenuzada, una mayor susceptibilidad a la penetración bacteriana. Durante el desmenuzado el material es homogenizado y aereado mientras que se le agrega agua para una mezcla completa. Después de este tratamiento la basura ha llegado a ser inodora y está lista para fabricar compost en pilas (cúmulos al aire libre), de la misma manera descrita anteriormente. Fig. 2-1
- Según la bibliografía, las ventajas de este sistema son: período - corto para la fabricación del compost, área pequeña de fermentación, fácil de incorporar a un sistema de recicló total.



SISTEMA VAN MAANEN

MÉTODO MECÁNICO

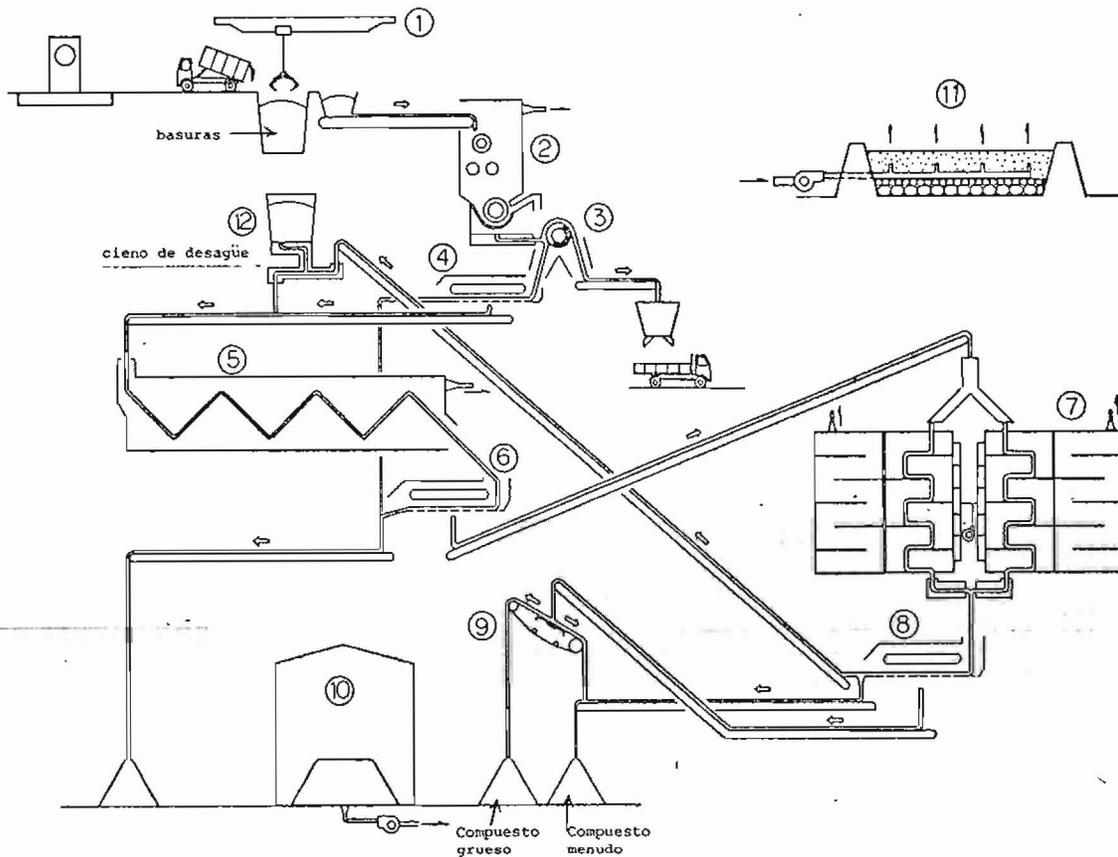
FIG. 2-1

2.3.2. SISTEMA FUJI. (Fig.2-2)

Se deposita la basura transportada por el carro a la pileta de basura o al transportador. La basura de la pileta se lleva al transportador por medio de una grúa y luego se envía al equipo de destrucción. Este consiste en un predesmenizador y de un triturador de martillo. La basura enviada se destroza rudamente con la máquina predesmenizadora, la cual suministra la basura desmenuzada al triturador de martillos, en donde se le desmenuza de una manera minuciosa. La basura desmenuzada pasa al seleccionador magnético que selecciona metales ferrosos, los cuales se envían a la tolva de desechos de hierro para utilizarlos nuevamente como material para acero. La basura desmenuzada, menos los desechos de hierro, se envía por medio del transportador al seleccionador vibratorio primario. Este seleccionador excluye el 60-70% de los plásticos, tejidos, etc.

Luego se envía al tanque de fermentación primaria, al cual llega con un peso total disminuido en un 10%-20%. Este tanque es del tipo horno rotativo horizontal y gira a baja velocidad enviando aire al interior del tanque.

La basura fermentada en este tanque primario se llama basura viva, y se envía por medio del transportador al seleccionador vibratorio secundario, el cual hace la división en dos tipos de basura; basura viva fermentada y destrozada, y basura no fermentada (plásticos, etc.), el 70-80% de la basura total es conducido como basura viva al tanque de fermentación secundaria que está formado de varias secciones.



Método Fuji

Fig.2-2 Diagrama de procedimiento de la Planta de Saga, JAPON.

- | | |
|---|--|
| 1. Pozo y grúa con pala de doble concha | 7. Segundo digester |
| 2. Moledor | 8. Tercer separador |
| 3. Separador magnético | 9. Separador de vidrios |
| 4. Primer separador | 10. Cuarto de amontonamiento para maduración |
| 5. Primer digester | 11. Equipo desodorante |
| 6. Segundo separador | 12. Mezclador de cieno de desagüe |

Este tanque es utilizado principalmente para la fermentación y es del tipo vertical, tiene un eje rotativo en el centro y conduce la basura viva desde la sección superior hasta la sección inferior fermentándola por medio de agitación rotativa de baja velocidad. Se envía aire fresco a cada sección del tanque y se mantiene la condición apropiada.

La basura viva se descompone (oxida) rápidamente debido a los microbios y bajo buenas condiciones de ventilación se transforma en basura bioquímicamente estable. La basura expulsada por este tanque de fermentación de varias secciones, se llama basura madura, la cual se envía al separador vibratorio terciario para seleccionar de acuerdo a las dimensiones del grano. La basura bien seleccionada (granos pequeños) es usada como abono orgánico y material para mejorar el suelo.

2.3.3. CANTIDAD DE BASURA RECOLECTADA EN SAN SALVADOR Y MUNICIPIOS ALEDANOS.

La Alcaldía Municipal de San Salvador recolecta diariamente unas 400 toneladas de basura⁽¹⁰⁾, las cuales son descargadas al relleno sanitario ubicado en el Boulevard del Ejército, esta cantidad de basura se ve incrementada en 150 toneladas provenientes de municipios cercanos a la capital y de empresas privadas con permiso de depositar su basura en dicho relleno. Actualmente se estima que la cantidad de basura generada por habitante-día es de 0.75 Kg., su composición típica evaluada en los meses de julio y agosto del presente año se detalla en la tabla # 1, como se puede observar, el 80.87% (cocina, jardín, cartón, papel y varios) es material aprovechable para la fabricación de compost y metano, lo que deja sólo 19.13% formado por vidrio, metales, cuero, plásticos, los cuales podrían también, a su vez, ser reprocesados después de un estudio pertinente.

La Alcaldía Municipal de San Salvador recolecta aproximadamente 400 Toneladas de basura por día, de la cual el 81% es material degradable. Tabla (1-2), por lo que:

$$400 \frac{\text{Ton. Basura}}{\text{día}} \times 0,81 = 324 \text{ Ton/día de material degradable}$$

2.4.1. RENDIMIENTO DEL PROCESO Y COSTO APROXIMADO POR QUINTAL DE COMPOST.

El Compost obtenido de la basura representa un promedio de 50% del peso inicial de ella; entonces:

$$324 \text{ Ton.Mat.Degrad./día} \times 0.5 = 162 \text{ Ton.Compost/día}$$

$$162 \text{ Ton.Compost/día} \times 365 \text{ días/año} = 59130 \text{ Ton.Compost/año}$$

$$59130 \text{ Ton.Compost/año} \times 1000 \text{ Kgs/Ton} \times 2,2 \text{ Lbs/kg} \times \text{qq}/100 \text{ lbs} = 268772 \text{ qq.}$$

Recordando precio de venta en el mercado*

$$268772 \text{ qq} \times \text{¢} 1.50/\text{qq} = \text{¢} 403,159/\text{año}$$

2.4.2. ANALISIS QUIMICO DEL COMPOST.

Los resultados obtenidos del análisis químico, hecho al Compost, son:

Nitrógeno (N) 1.42 %

Acido Fosfórico (P₂O₅) 0.70 %

Potasio (K₂O) 0.36 %

Fueron efectuados en Pro-Agro.

La Planta de Compost en Saga, Japón, presenta los siguientes valores:

Nitrógeno (N) 1.6 %

Acido Fosfórico (P₂O₅) 0.79 %

Potasio (K₂O) 0.41 %

* Ver página 15

Estos valores comparados con los obtenidos en el Compost producido en la Planta Piloto, dan una diferencia aproximada del 12%, esto se puede atribuir a que el proceso no se llevó a cabo en las condiciones óptimas (supervisión continua para humidificar y voltear) debido a la problemática de la Universidad.

2.5. IMPORTANCIA DEL COMPOST⁽¹³⁾

Las funciones más importantes del Compost, incluyen:⁽⁵⁾

- a) Regulación de la estructura del suelo; en la cual debe de haber una relación adecuada entre aire, agua y partículas del suelo, como consecuencia, la planta tiene la oportunidad de desarrollar un fuerte sistema de raíces.
- b) La retención de materia nutritiva; para lo cual el Compost es el único buffer que trae como consecuencia la retención de materias nutritivas aplicadas (fertilizantes) en un largo período de tiempo, sin lo cual se perderían grandes cantidades de ese fertilizante.
- c) Retención del agua: es influenciada favorablemente la capacidad de los suelos para retener el agua, por medio del Compost, aumentando así los mantos acuíferos.
- d) Abastecimiento de minerales: el Compost tiene cierta cantidad de materia nutritiva mineral que es aprovechable para la planta, pero sólo después que ha sido descompuesto, lo cual puede suceder sólo si está presente en el suelo una buena vida microbiana.

2.6. VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO.

Debido a que la transformación zimotérmica es un proceso biológico, hay que tomar en cuenta los factores ambientales, los cuales regulan la ve

locidad y los resultados finales. Las principales variables son:⁽⁴⁾

1. Humedad: Si es muy baja, los microorganismos no se desarrollan, por no tener agua suficiente para su metabolismo, y si es muy alta, el agua llena los intersticios, desplazando el aire y presentándose -- condiciones anaeróbicas que retardarían la digestión y producirían olores desagradables.

2. Aereación: Es necesario tener mucha cantidad de oxígeno para que la transformación zimotérmica se lleve a cabo en condiciones aeróbicas, en corto tiempo y sin olores desagradables.

En general se utilizan tres métodos:

a) Inyección de aire a presión: sistema costoso y hasta cierto punto deficiente pues el aire no penetra masas de material húmedo.

b) Uso de chimeneas u otras aberturas, que penetran dentro de los -- montones: sistema poco efectivo que sólo suministra aire a las re giones situadas alrededor de los conductos de ventilación.

c) Volteando o revolviendo los montones: Este método es el más senci llo y es el que ha dado mejores resultados.

3. Temperatura : Este factor es muy importante ya que es un índice claro de la forma como se está efectuando la transformación y las condi ciones de la misma,

4. Relación entre el Carbono y el Nitrógeno: Este factor es importante, puesto que si está en el producto final y no reúne ciertos límites, al mezclarlo con la tierra, le robará al terreno nitrógeno, con gra ves perjuicios. La relación del Carbono y Nitrógeno, en el producto final, debe de ser de 20 a 1; se pueden aceptar relaciones mayores

si el carbono no se encuentra en una forma que sea fácilmente utilizable por las bacterias.

5. Cultivos: Muchas firmas comerciales aseguran que para el éxito del proceso se requiere añadirle o mezclarle a las basuras, cierta cantidad de cultivos bacteriales, o estiércol o basuras parcialmente transformadas.

En los años 1955-1960 la Universidad de California llegó a la conclusión de que la adición de cualquiera de esos cultivos no producían beneficio alguno y que el producto resultante era prácticamente el mismo, sin aumentarse la rapidez del proceso (4)

En investigaciones posteriores se ha llegado a desarrollar una variedad de cultivos que han demostrado la necesidad de utilizarlos para acelerar dichas transformaciones y obtener en menor tiempo el producto deseado.

2.7. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA BASURA.

1. Preparación de la Muestra.

1.1. Se pesa la muestra tal como llega (Pi)

1.2. Los 2 ó 3 Kgs. que se destinan a la prueba, se colocan en los platillos tarados que quepan en el horno.

1.3. En caso de que hayan pedazos de basura grandes, se aconseja cortarlos en partes pequeñas con tijeras del tipo usado por los jardineros.

1.4. Se pesan cada uno de los platillos por separado, se suman los pesos destarados y se compara con Pi para garantizar que las pérdidas están dentro de una tolerancia prefijada.

2. Prueba de Laboratorio;

- 2.1. Se introducen los platillos que contienen la basura, en un horno cu ya temperatura se haya estabilizado en 105°C. .
- 2.2. Se sacan después de una hora y se pesan. Se vuelven a colocar en el horno.
- 2.3. De ahí en adelante cada media hora se sacan los platillos y se pe-- san hasta lograr el peso constante o sea hasta que la diferencia en tre dos pesadas consecutivas sea menor de un gramo aproximadamente.
- 2.4. Se suman los pesos, ya destarados, de la basura (Pf).
- 2.5. Se determina el porcentaje de humedad mediante la fórmula:

$$\text{Porc. de humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

2.7.1. PRUEBAS REALIZADAS

Se hicieron cuatro evaluaciones, con los siguientes resultados; después de sustituir en fórmula (2-1)

Prueba No. 1 :	48% humedad
" No. 2 :	53% "
" No. 3 :	64% "
" No. 4 :	46% "

$$\text{Humedad Promedio : } \frac{\sum_{i=1}^{i=4} H_i}{4} = 52.75\% \\ \approx 53\% \text{ humedad}$$

2.8. EFECTOS DEL PH EN LA FABRICACION DE COMPOST,

El factor PH es altamente importante en cualquier proceso en el cual es-- té presente acción de bacterias. En la producción de Compost es neces-- ario controlarlo; el Ph de la basura como materia prima es altamente va--

riable, no se puede dar un valor estático pues si el contenido de la basura es mayormente desperdicios de cocina y jardín, su valor será ácido, pero si tiene un contenido alto de cenizas, lógicamente será alcalino, lo que si se debe obtener es que en el proceso de producción, esté variando entre los valores 7-7.5, pues las bacterias necesitan un medio ligeramente alcalino para proliferarse mejor, pero sin pasar el límite superior, porque eso generaría una producción mayor de NH_3 que se escaparía a la atmósfera, lo que haría variar la relación de Carbono/Nitrógeno, pues la cantidad de Nitrógeno disminuye.

2.8.1. EVALUACION DEL PH

Para evaluar el PH de la basura, se puede hacer una similitud con el método empleado en los suelos: a una muestra (grs) se le agrega cierta cantidad de agua destilada y luego se le mide el PH.

2.8.2. METODO SEGUIDO.

La basura previamente se cuarteó, clasificó y molió. Con una relación de 1:3 en peso, se mezcló con agua destilada, se agitó durante media hora y se le midió el PH con un PH Meter Corning Modelo 5.

2.8.3. PRUEBAS REALIZADAS.

<u>Prueba No.</u>	<u>PH</u>
1	5.1
2	5.3
3.	5.0
4	5.1
5	5.1
PH promedio =	5.1

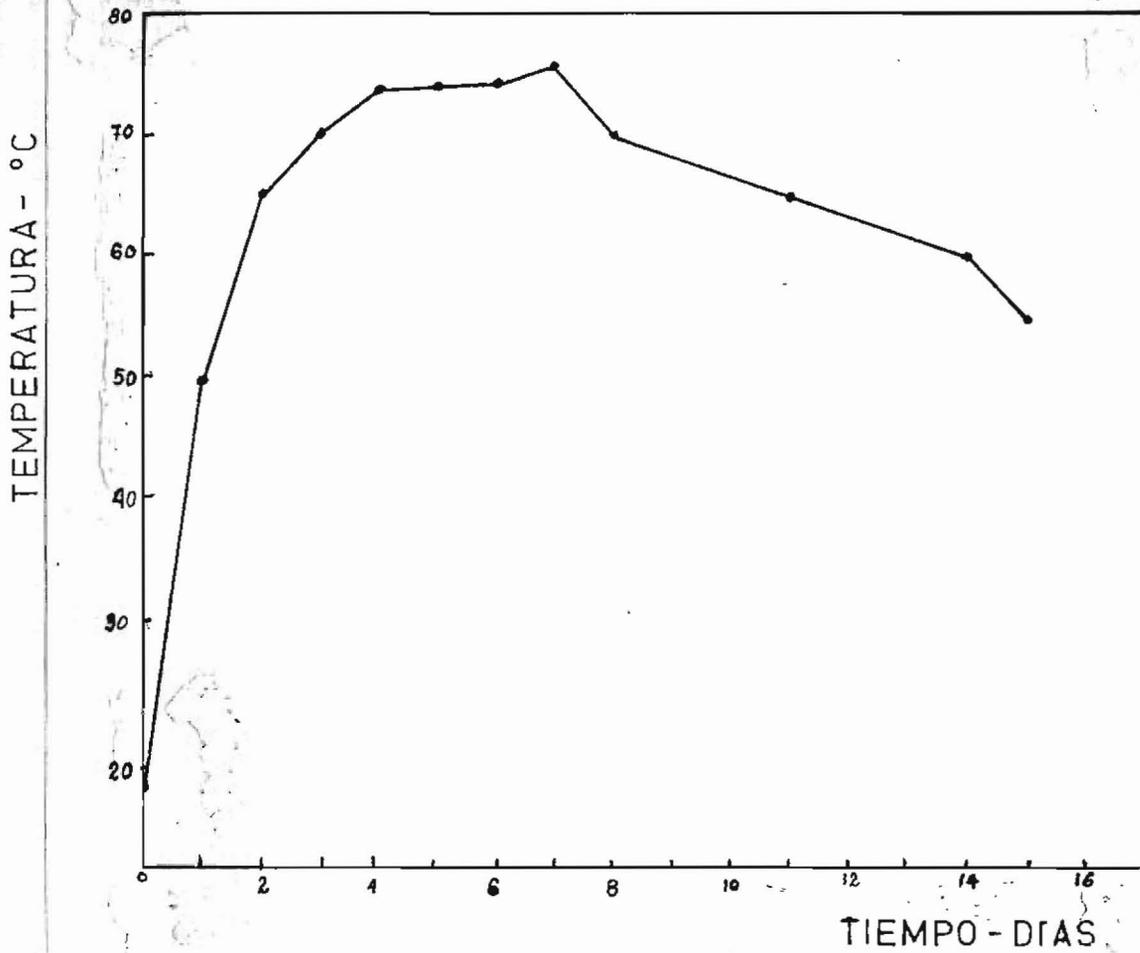


FIGURA 2 - 3

Curva típica de la temperatura en una transformación zimotérmica aeróbica

Debido a que el contenido de la muestra era mayormente desperdicios de cocina y jardín, el valor obtenido fue ácido.

2.9. EFECTOS DE LA TEMPERATURA.

La temperatura en una descomposición aeróbica, presenta una curva típica gráfica (2-3). Si las otras condiciones ambientales, humedad, oxígeno, son favorables, se presenta inmediatamente un crecimiento rápido de bacterias mesofílicas y gracias a su metabolismo con producción de calor, la temperatura sube rápidamente hasta 45°- 50°C, valores que representan el límite superior para los organismos mesofílicos; en esta condición, el ambiente se hace propicio para el desarrollo de los organismos termofílicos, presentándose entonces un crecimiento rápido de la población de los mismos y ocasionando que la temperatura suba dentro de la masa hasta 70°- 75°C, temperatura que se alcanza al cabo de 3 ó 4 días de iniciado el proceso. Este valor permanece durante un tiempo largo, o sea hasta que la estabilidad o transformación de la materia orgánica se encuentre prácticamente terminada, entonces como la fuente de alimento para las bacterias disminuye, su actividad también disminuye y la temperatura comienza a descender hasta llegar a 50°ó 55°C, momento en el cual se puede considerar que el proceso de estabilización ha finalizado.

Todas las condiciones anteriores se refieren al caso de que los otros factores ambientales tales como: cantidad de materia orgánica, humedad y aereación sean favorables.

En el caso de que en un momento dado se presentaren condiciones anaeróbicas dentro de la masa, inmediatamente se presenta un descenso marcado

de la temperatura, de modo que se puede saber con sólo el control de temperatura, las condiciones en que se está desarrollando el proceso.

Si los montones son de muy poca profundidad, la temperatura ambiente tiene una gran influencia, ya que tendremos una pérdida excesiva de calor y las temperaturas óptimas para los organismos termofílicos puede que no se alcancen y por lo tanto la transformación no se efectúe.

DATOS DE LA GRAFICA DE TEMPERATURA EN TRANSFORMACION ZIMOTERMICA.

BASURA MOLIDA, DATOS TOMADOS POR LA MAÑANA.

TABLA 2-3(Ver Fig. 2.4)

<u>DIA</u>	<u>MES</u>	<u>HORA</u>	<u>TEMPERATURA(°C)</u>
31	Agosto	10:35	58.25
1	Septiembre	11:15	68
2	Septiembre	10:20	65
4	Septiembre	11:15	62.5
5	Septiembre	10:45	60
6	Septiembre	10:45	62
8	Septiembre	10:15	58,5
11	Septiembre	10:00	48
12	Septiembre	11:45	47
13	Septiembre	11:00	47
14	Septiembre	10:05	49

DATOS TOMADOS POR LA TARDE

TABLA 2-4 (Ver fig. 2.5)

30	Agosto	5:00	38
31	Agosto	5:00	60
1	Septiembre	5:10	69

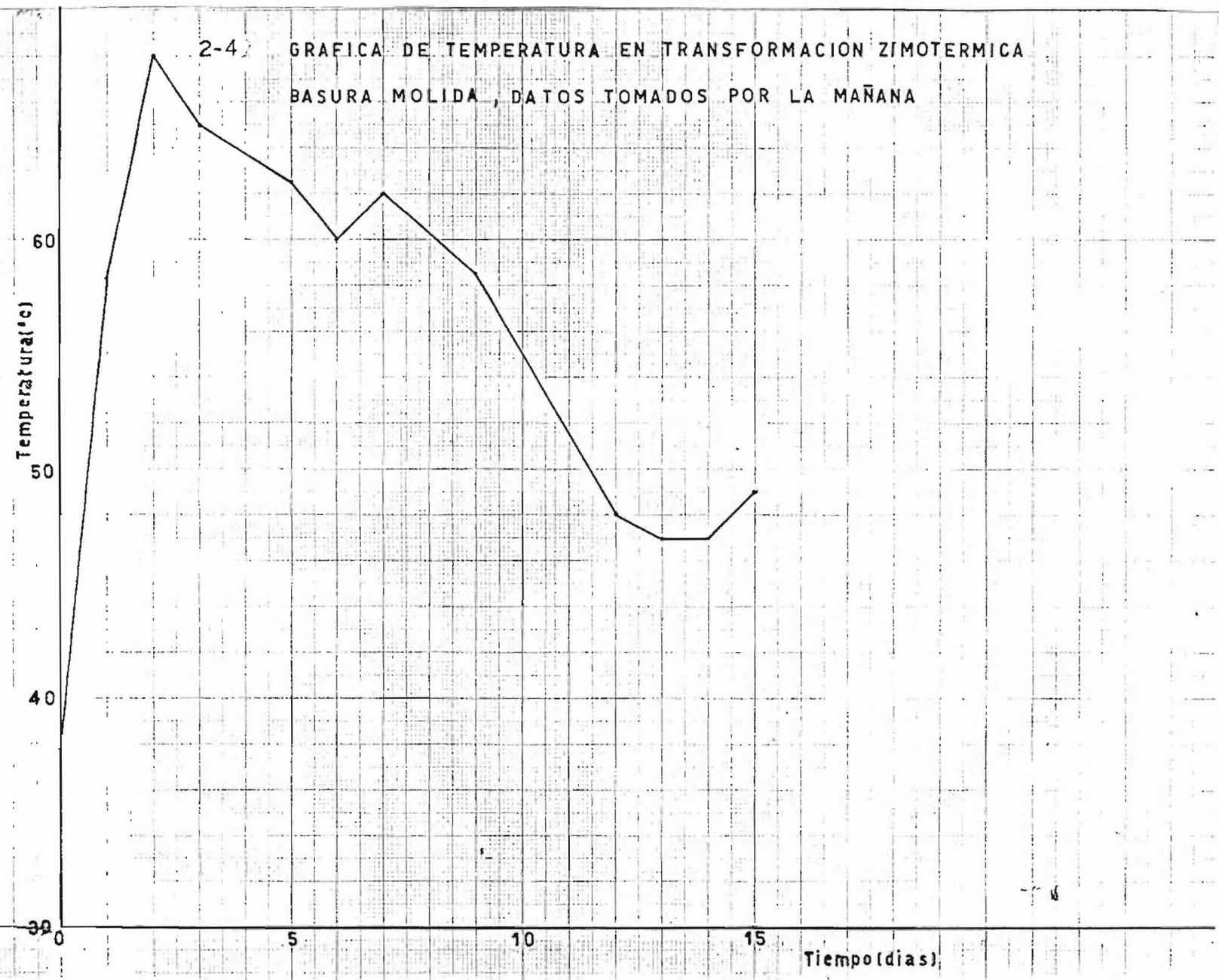
<u>DIA</u>	<u>MES</u>	<u>HORA</u>	<u>TEMPERATURA (°C)</u>
4	Septiembre	4:40	63
5	Septiembre	5:50	60
6	Septiembre	6:00	59
7	Septiembre	5:40	61
8	Septiembre	5:20	58.5
11	Septiembre	6:00	44
12	Septiembre	6:00	47
13	Septiembre	6:00	47

DATOS DE LA GRAFICA DE TEMPERATURA EN TRANSFORMACION ZIMOTER-
MICA. BASURA NO MOLIDA, DATOS TOMADOS POR LA MAÑANA

TABLA 2-5 (Ver Fig. 2-6)

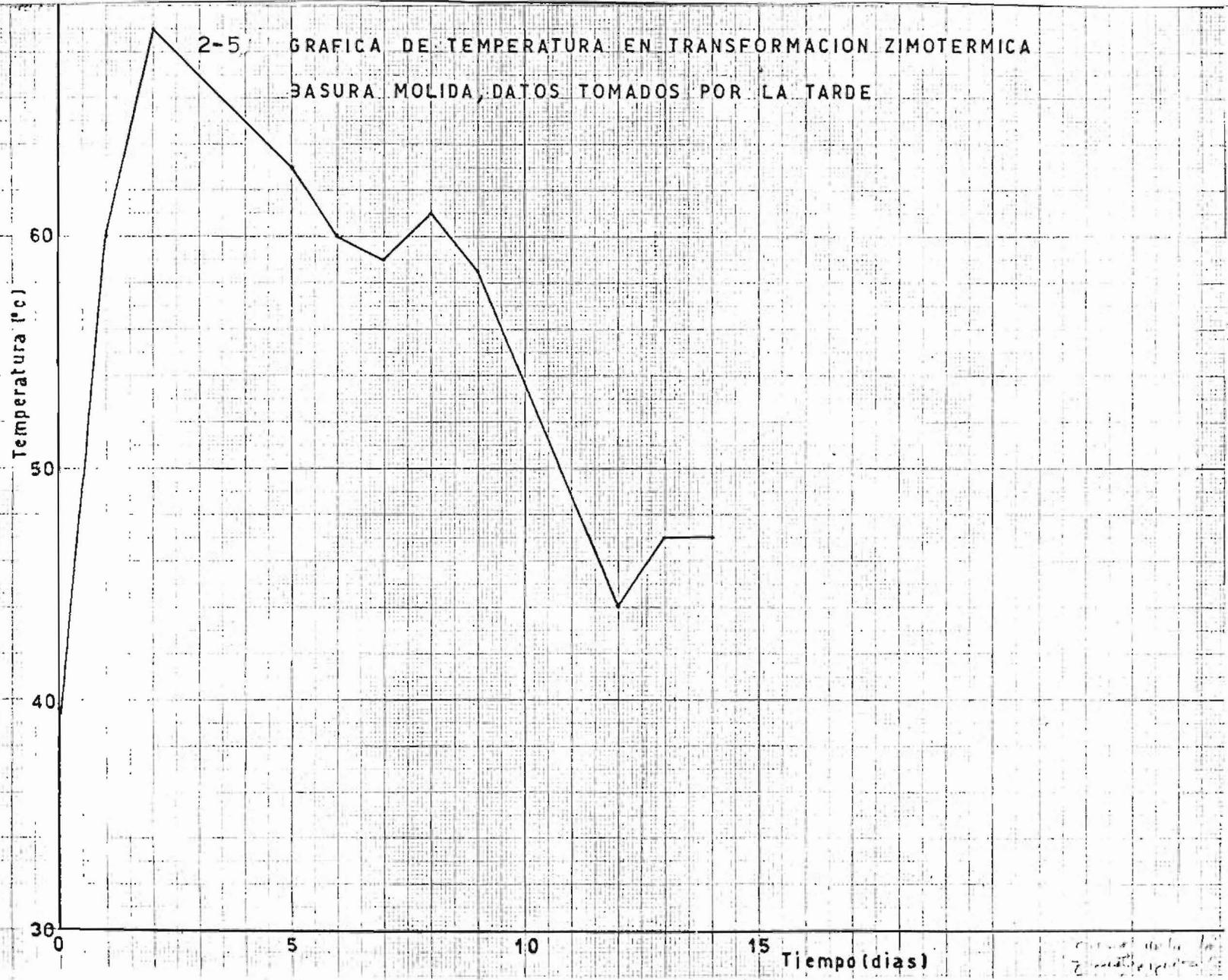
30	Agosto	10:45	52
31	Agosto	10:36	56
1	Septiembre	11:15	56
2	Septiembre	10:20	55
4	Septiembre	11:15	52
5	Septiembre	10:45	48
6	Septiembre	10:45	48
8	Septiembre	10:15	48
11	Septiembre	10:00	46
12	Septiembre	11:40	43
13	Septiembre	11:00	43
14	Septiembre	10:05	41

2-4) GRAFICA DE TEMPERATURA EN TRANSFORMACION ZIMOTERMICA
BASURA MOLIDA, DATOS TOMADOS POR LA MAÑANA



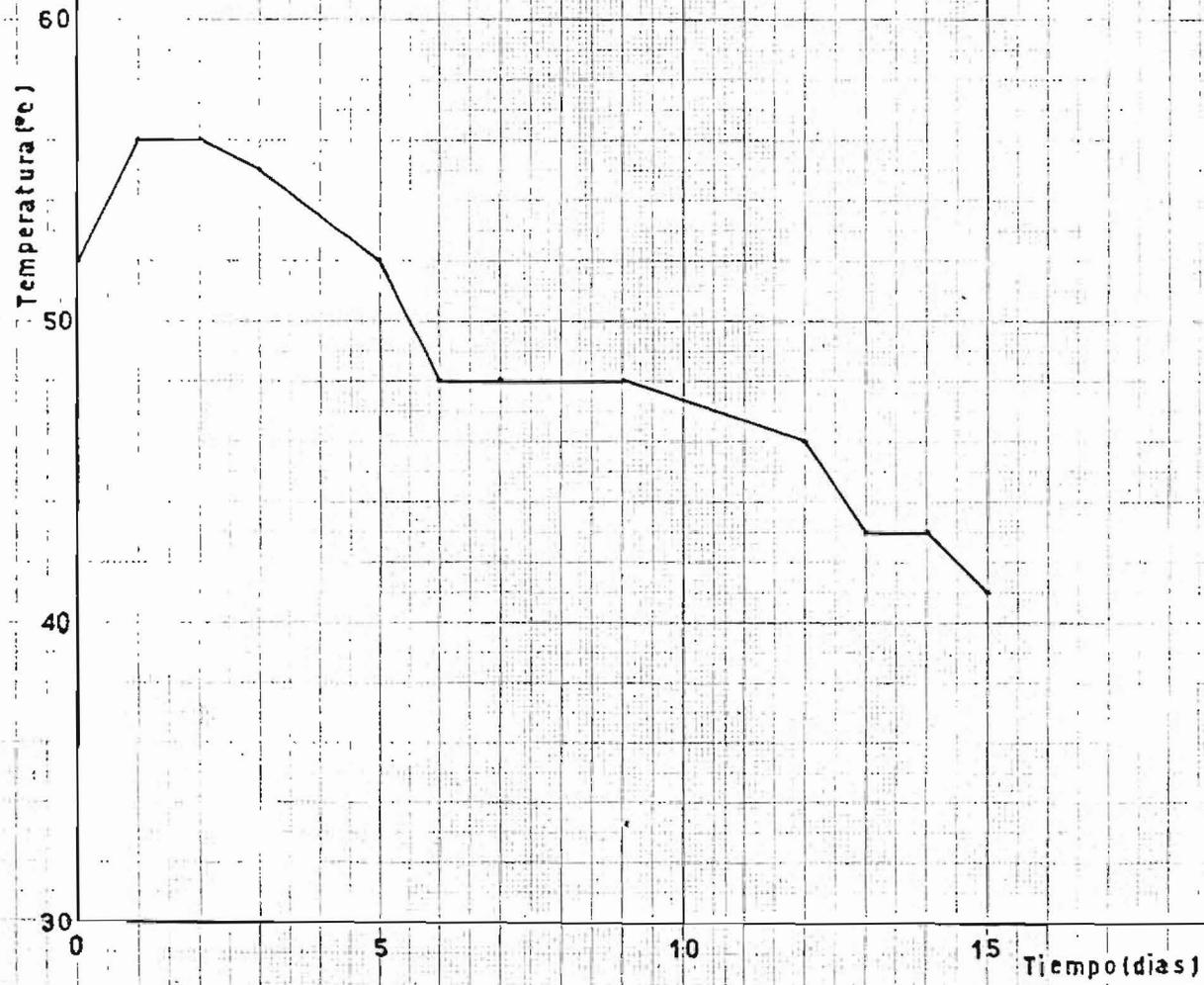
2-5

GRAFICA DE TEMPERATURA EN TRANSFORMACION ZIMOTERMICA
BASURA MOLIDA, DATOS TOMADOS POR LA TARDE



Handwritten notes:
Temperatura en la tarde
Zimotermica

2-6 GRAFICA DE TEMPERATURA EN TRANSFORMACION ZIMOTERMICA
BASURA NO MOLIDA, DATOS TOMADOS POR LA MAÑANA



DATOS TOMADOS POR LA TARDE

TABLA 2.6 (Ver Fig.2-7)

<u>DIA</u>	<u>MES</u>	<u>HORA</u>	<u>TEMPERATURA (°C)</u>
30	Agosto	5:00	58
31	Agosto	5:00	58
1	Septiembre	5:10	56
4	Septiembre	4:40	48
5	Septiembre	5:50	48
6	Septiembre	6:00	48
7	Septiembre	5:40	51
8	Septiembre	5:20	48
11	Septiembre	6:00	40
12	Septiembre	6:00	45
13	Septiembre	6:00	38

TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA BASURA MOLIDA

TABLA 2.7 (Ver Fig. 2-8)

		<u>Temperatura °C</u>
30	Agosto	38
31	Agosto	59.13
1	Septiembre	68.5
2	Septiembre	65
4	Septiembre	62.75
5	Septiembre	60
6	Septiembre	60.5
7	Septiembre	61
8	Septiembre	58.5
11	Septiembre	46

CONTIN. TEMP. PROMEDIO DE LA BASURA MOLIDA (Tabla 2-7)

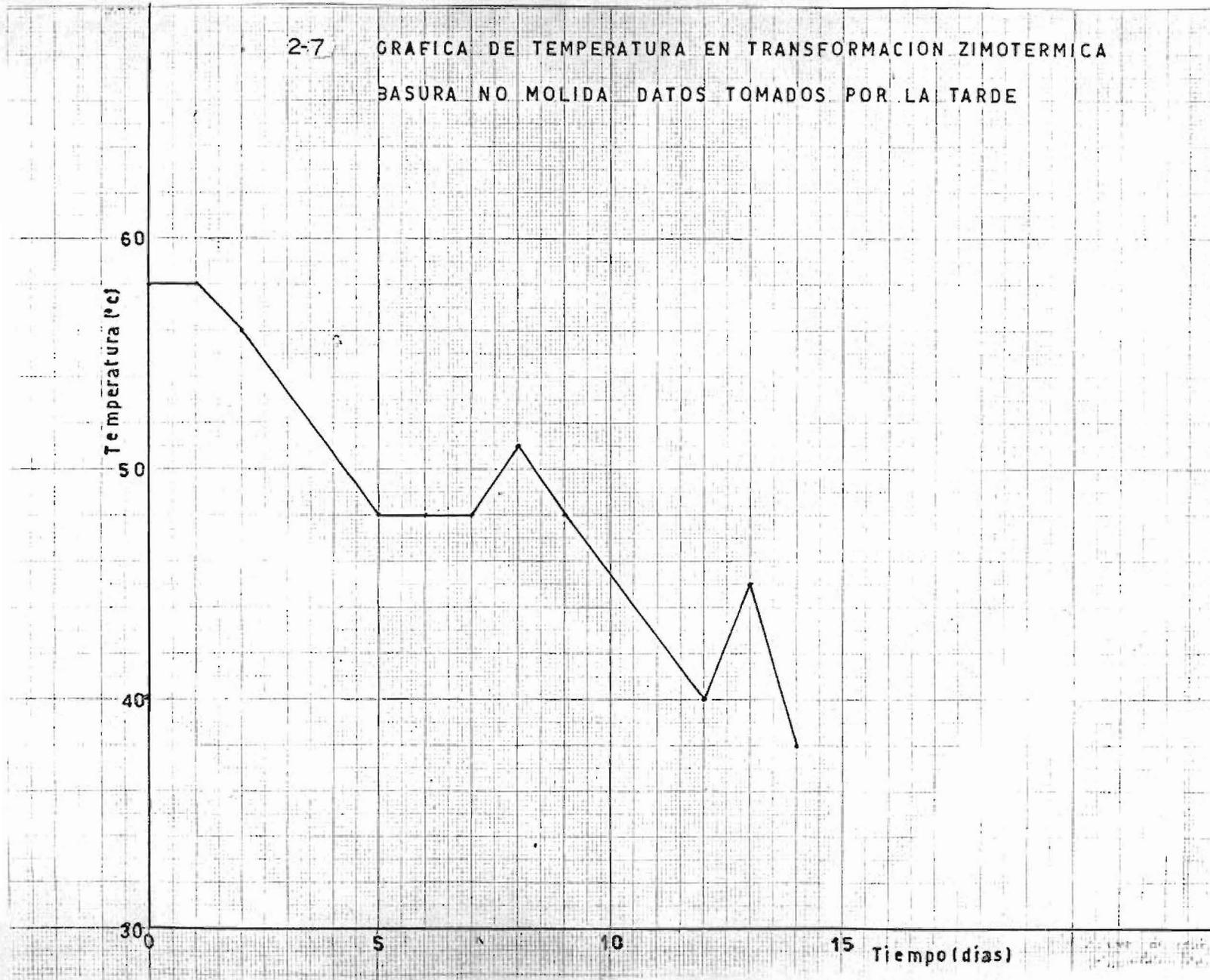
<u>DIA</u>	<u>MES</u>	<u>TEMPERATURA (°C)</u>
12	Septiembre	47
13	Septiembre	47
14	Septiembre	49

TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA BASURA NO MOLIDA

TABLA 2-9 (Ver Fig. 2-9)

30	Agosto	55°C
31	Agosto	57
1	Septiembre	56
2	Septiembre	55
4	Septiembre	50
5	Septiembre	48
6	Septiembre	48
7	Septiembre	51
8	Septiembre	48
11	Septiembre	43
12	Septiembre	44
13	Septiembre	40.5
14	Septiembre	41

2-7 GRAFICA DE TEMPERATURA EN TRANSFORMACION ZIMOTERMICA
BASURA NO MOLIDA DATOS TOMADOS POR LA TARDE



GRAFICA DE TEMPERATURA PROMEDIO EN TRANSFORMACION ZIMOTERMICA
BASURA MOLIDA

2-8

Temperatura(°c)
60
50
40
30

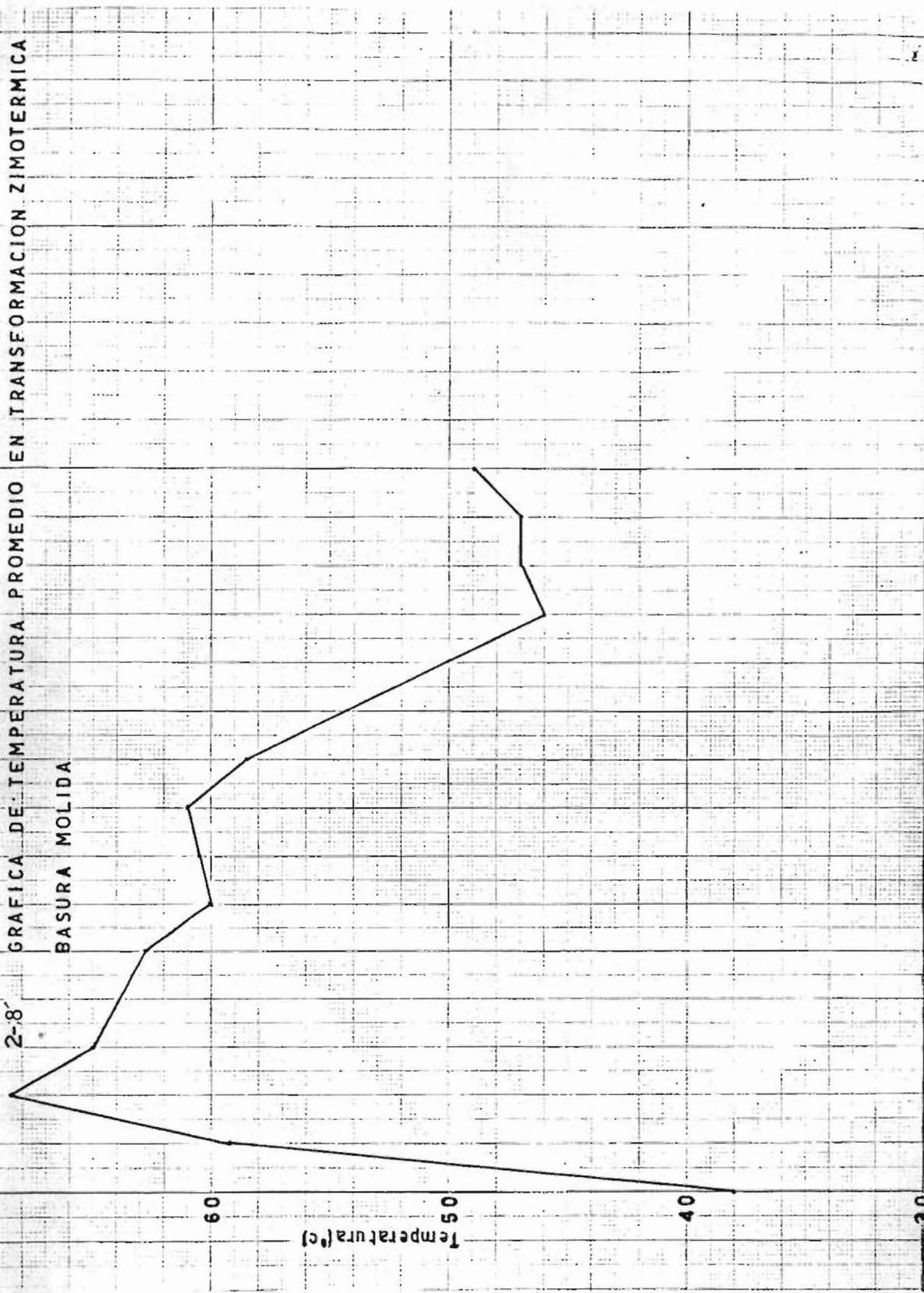
Tiempo(dias)

15

10

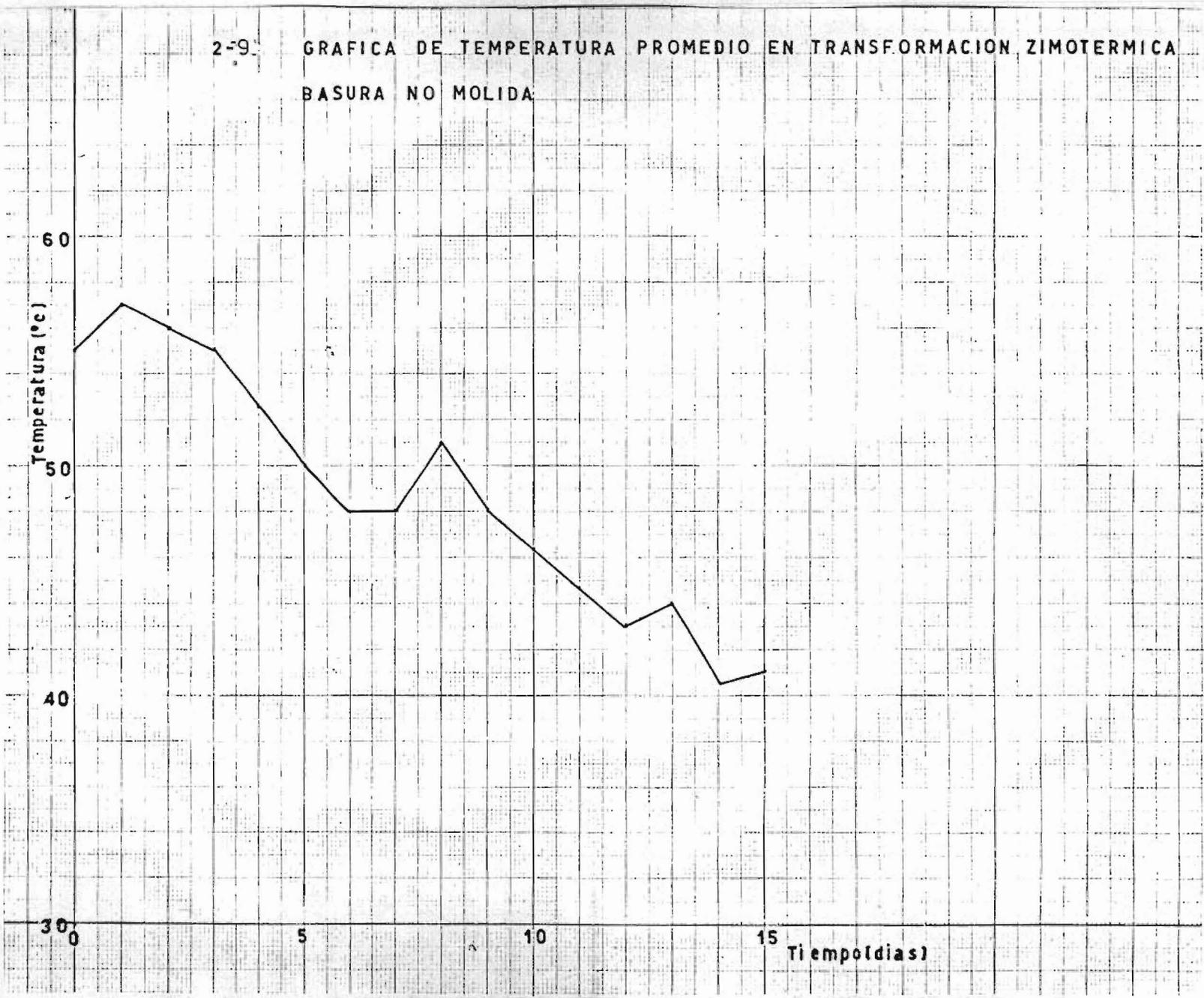
5

0



INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
LABORATORIO DE ZIMOTERMIA

2-9. GRAFICA DE TEMPERATURA PROMEDIO EN TRANSFORMACION ZIMOTERMICA
BASURA NO MOLIDA



CAPITULO 3

FABRICACION DE METANO

3.1. NECESIDAD DE RECURSOS ENERGETICOS EN EL PAIS.

Debido al crecimiento acelerado de la población, principalmente en la última década, se ha visto con mayor énfasis, la necesidad de obtención de energía, la cual se ha vuelto más crítica por la crisis del petróleo. En el país se ha tratado de contrarrestarla con la construcción de la Presa del Cerrón Grande y ahora con la construcción de la Presa San Lorenzo, - en las cuales se genera energía eléctrica a partir de la energía cinética del agua, también se está explotando las fuerzas endógenas de la tierra por medio de Pozos Geotérmicos.

Pero todo esto es únicamente para controlar las necesidades actuales; - para futuras necesidades se debe de buscar otras fuentes de energía no convencionales, observando los recursos con que se cuentan.

Con la industrialización de la basura se buscan dos aspectos: uno es el de encontrarle uso a los desperdicios y otro es solucionar el problema de disposición final de ellos.

Los precios cada vez más altos del petróleo motivan a buscar fuentes abastecedoras de compuestos que tradicionalmente se obtienen del procesamiento de dicho líquido como lo es el gas metano, propano, etc.

Esto motiva a hacer estudios con todos los desperdicios orgánicos para llenar las necesidades de esos compuestos. Para ello se ha tomado en cuenta las transformaciones de estos desperdicios por medio de bacterias las cuales actúan sobre la materia orgánica, degradándola.

Estas bacterias pueden actuar en presencia o ausencia de aire.

3.2 PROCESOS DE PRODUCCION DE GAS METANO:

En los Estados Unidos se conocen tres procesos, los cuales son: Proceso Pfeiffer de digestión anaeróbica, el proceso de Hidrogasificación y el proceso de conversión pirolítica.

Los dos primeros procesos involucran una fase preliminar que consiste en separar los materiales orgánicos y desmenuzarlos.⁽³⁾

En el Proceso Pfeiffer de digestión anaeróbica los desechos más ligeros (ricos en celulosa) se mezclan con lodos cloacales o nutrientes químicos, a fin de proveerles a los organismos vivos, compuestos nitrogenados necesarios para su crecimiento. Se le ajusta el PH a 6-7 y se calientan a 130-140°F dejándolos en un digester por cinco días.

El gas obtenido contiene 50-60% de gas metano y el resto es CO₂.

El Proceso de Hidrogasificación es básicamente la reacción de materiales conteniendo carbón con hidrógeno para producir un gas que es principalmente metano. Este gas es lavado para remover gases ácidos y el CO₂ remanente es "metanado" para producir, lógicamente, metano, la corriente resultante se deshidrata. El gas producido contiene un 70% de metano y el resto es etano e hidrógeno.

El proceso de Conversión Pirolítica, se basa en la pirólisis de la basura. Este sistema produce varios subproductos, debido a que la basura es quemada sin escoger, produciéndose un licor compuesto por aceites, metanol, aldehídos, fenoles y agua y un residuo sólido conteniendo vidrio, metales, etc.

3.3. REACCIONES QUÍMICAS-ORGANICAS INVOLUCRADAS.

En los procesos de descomposición ocurridos en ausencia de aire, esto es, en un recipiente cerrado, intervienen diferentes tipos de bacterias, algunas llamadas bacterias facultativas, que se adaptan a condiciones aeróbicas y anaeróbicas, otras sólo pueden sobrevivir en condiciones anaeróbicas estrictamente bajo estas condiciones el proceso de fermentación es un poco difícil; debido a la ausencia de oxígeno sólo hay disponible una pequeña cantidad de energía para las bacterias, por consiguiente éstas se reproducen en menos cantidad que en condiciones aeróbicas, como resultado, la cantidad total de sólidos a disponer es menos, sin embargo este producto estabilizado con su debida humedad es bueno, porque muchas de las sustancias útiles presentes en el desecho original aún se encuentran allí, pero en una forma más accesible y así el desecho ya degradado puede ser fuente de humus y nutrientes de plantas o sea fertilizante.

La investigación de la forma de conversión de materiales orgánicos durante la estabilización anaeróbica ha indicado ciertos patrones que son empleados a menudo y que caracterizan el proceso. Los modelos más obvios de esta conversión son: La transformación inicial de los compuestos de más alto peso molecular en sustratos disponibles para la utilización biológica como Recursos Energéticos; la producción de procesos intermedios detectables en cantidades medibles y la aparición eventual de productos finales más simples y más o menos estables.

De estos tres, el primero es poco conocido, el segundo ha sido asumido como el más comprendido, probablemente debido a la producción de metano

con un grupo relativamente pequeño de organismos de un número similar - de pequeños cultivos conocidos.

Como se dijo anteriormente, hay bacterias aeróbicas y anaeróbicas, las segundas son las responsables de la digestión, el cual es un proceso - biológico, esta bacteria no puede sobrevivir aún con la más mínima traza de oxígeno.

Por eso, debido a éste, en la alimentación del digester, después de cargado hay un período largo, antes de que se lleve a cabo la digestión -- verdadera. Durante este período inicial "aeróbico", vestigios de oxígeno son utilizados por la bacteria aeróbica, liberando grandes cantida-- des de CO₂. Cuando desaparece el oxígeno, el proceso de digestión puede empezar, el cual involucra una serie de reacciones realizadas por varias clases de bacterias anaeróbicas que se alimentan de la materia prima orgánica. Los subproductos de estas primeras clases de bacterias - proveen el alimento para las otras, según se puede observar en la figura 3-1.

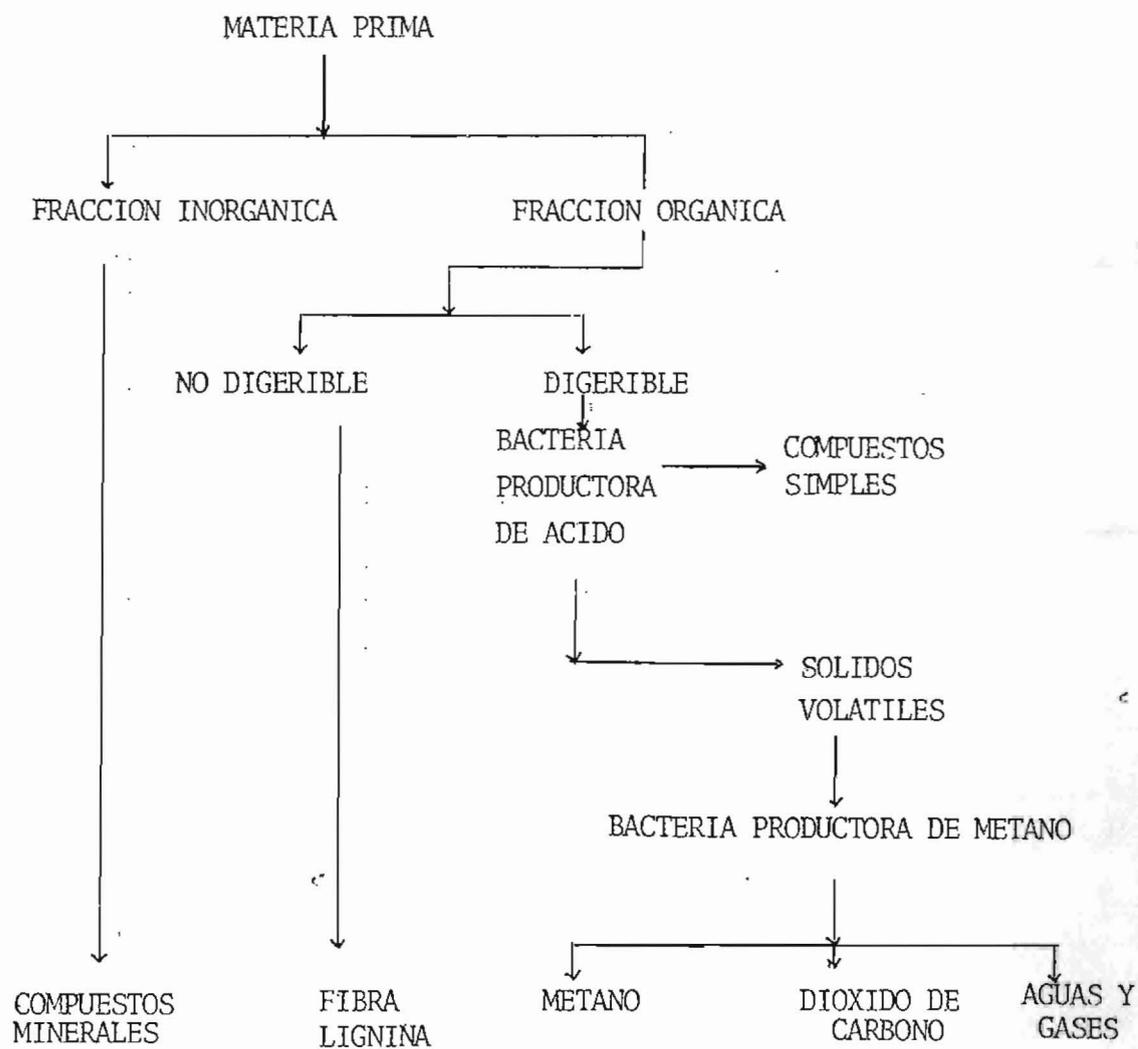


FIGURA 3-1

En los primeros estados de digestión, el material orgánico que es digerible (grasas, proteínas, y la mayoría de almidones) es degradado por bacterias productoras de ácido a compuestos simples. Estas bacterias son capaces de reproducirse rápidamente y no son muy sensitivas a cambios ambientales. Su función es excretar enzimas, licuificar la materia prima y convertir los materiales complejos en sustancias más simples (especialmente ácidos volátiles, los cuales son ácidos orgánicos de bajo peso molecular. El ácido volátil más importante es el ácido acético, el cual es un sub-producto de la digestión de grasa, almidón y proteínas.

Aproximadamente el 70% del metano producido durante la fermentación proviene del ácido acético⁽²⁷⁾ Una vez que la materia prima ha sido licuificada por la bacteria productora de ácido, la productora de metano convierte los ácidos volátiles en gas metano, esta es diferente de la bacteria ácida, pues la metanogénica se reproduce lentamente y es muy sensitiva a los cambios en las condiciones ambientales.

Biológicamente, entonces, una digestión acertada depende del mejoramiento y (para digestores de proceso continuo) de un constante balance entre las bacterias que producen ácidos orgánicos y las que producen gas metano a partir de esos ácidos. Este balance es alcanzado por medio de una alimentación regular con suficiente líquido, por el Ph apropiado, la temperatura y la calidad de materia prima en el digestor.

Como se observa, el gas resultante de la digestión anaeróbica tiene como principal constituyente el metano y dióxido de carbono, usualmente en proporciones de 70% metano y 29% dióxido de carbono. Este gas es frecuentemente llamado Bio-gas, garba gas o dungas y puede ser quemado en

un simple mechero, alternativamente puede ser purificado antes de utilizarlo para remover el CO_2 y trazas de constituyentes corrosivos tales como H_2S haciéndolo burbujear a través de lechada de cal.

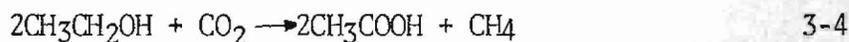
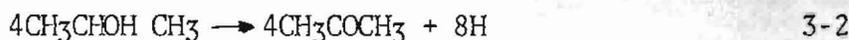
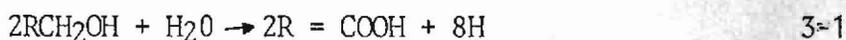
La eficiencia del proceso depende de varios factores, el medio ambiente debe ser el adecuado para todas las diferentes bacterias necesarias. La bioquímica y la microbiología de la fermentación anaeróbica es extremadamente compleja y en la mayoría de las situaciones de importancia práctica involucra una mezcla de sustratos y una población muy compleja de bacterias que juegan diferentes papeles, y las cuales interactúan entre sí y se desarrollan de acuerdo a las condiciones del digestor. La fuente primaria de bacterias puede ser estiércol de rumiante o una muestra de un digestor ya estabilizado. En términos generales se ha establecido -- que el proceso de fermentación ocurre al menos en dos etapas, en la primera el sustrato es descompuesto y convertido a ácidos orgánicos más -- simples. En muchas situaciones el sustrato es insoluble y la primera etapa involucra una hidrólisis enzimática, esta etapa frecuentemente será lenta.

Las bacterias necesarias para esta etapa son llamadas formadores de ácidos, algunas son facultativas y otras estrictamente anaeróbicas. La segunda etapa es la transformación de los productos intermedios provenientes de la primera etapa, a metano y otros productos gaseosos. La bacteria metanogénica especializada, necesaria para esta etapa es estrictamente anaeróbica y sus especificaciones aún no están completamente comprendidas. Las condiciones óptimas para ambos grupos de bacterias son --

diferentes, pero afortunadamente, parece que no lo son mucho.

Los primeros microbiólogos creían que los carbohidratos complejos y los compuestos conteniendo nitrógeno podrían ser fermentados por la bacteria productora de Metano, pero hoy es generalmente aceptado que solo los alcoholes más simples, ácidos grasos y compuestos monocarbonados son -- sustratos para este grupo de bacteria anaeróbica. Las primeras especies -- fueron obtenidas en cultivos rigurosamente puros, la *Methanobacterium* -- *omelianski* fue aislada por Barker en 1936, este organismo cataliza la oxi -- dación de alcoholes primarios tales como el etanol o propanol a los co-- rrespondientes ácidos (ecuación 3-1) o de alcoholes secundarios como el isopropanol a Acetona (ecuación 3-2). En el crecimiento de cultivos estas oxidaciones van obligatoriamente acompañadas de la reducción de CO₂ a Me-- tano (ecuación 3-3).

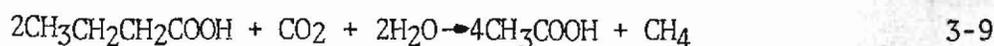
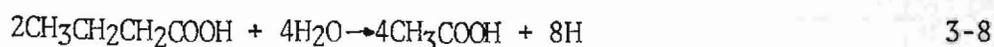
El proceso global en donde etano o isopropanol más dióxido de carbono se utilizan como sustratos son descritos por las ecuaciones 3-4 y 3-5, res-- pectivamente.



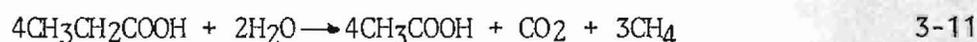
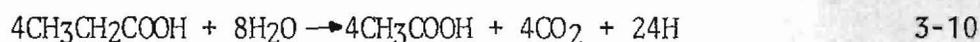
Los ácidos grados saturados tales como el caproico, valérico o butírico son oxidados por la *Methanobacterium suboxydans* en fermentaciones donde los ácidos grados sufren una oxidación, acompañada con la reducción de -

carbono a Metano.

Así la oxidación del átomo de carbono libre del ácido graso, valérico a ácido propiónico y ácido acético (ecuación 3-6) es acompañada con la reducción de dióxido de carbono (ecuación 3-3) para dar la reacción global (ecuación 3-7), en donde la oxidación del átomo de carbono vecino al ácido butírico (ecuación 3-8), es acompañada por la reducción del dióxido de carbono (ecuación 3-3) para dar la reacción global (ecuación 3-9).



Como resultado de la fermentación del átomo de carbono libre en los ácidos grasos, hay acumulaciones de ácido propiónico, causada por la *Methanobacterium suboxydans*, el cual es posteriormente descompuesto por la *Methanobacterium propionicum*, que cataliza la oxidación de propionato a acetato y dióxido de carbono (ecuación 3-10); esta reacción va acompañada con la reducción de dióxido de carbono a Metano (Ecuación 3-11).

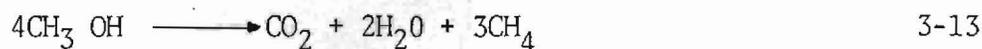


El ácido acético producido en las fermentaciones anteriores puede, en cambio, ser convertido a Metano por las especies fermentadoras de acetato, tales como *Methanosarcina Barkeri* y *Methanococcus Mazci* (Ecuación 3-12)



La *Methanobacterium Barkeri* fermenta el metanol (ecuación 3-13) y tam--

bién al monóxido de carbono (ecuación 3-14) tanto como al acetato.



Hay tres especies de Methano-bacterias conocidas como fermentadoras del formato las cuales son: *Methanobacterium formicicum*, un organismo termofílico aislado por Schellen, *Methanococcus Vaniellii*, que es un coccus móvil aislado una vez a partir de los lodos de la Bahía de San Francisco, pero que no ha sido encontrado en una gran variedad de otros lugares similares y *methanobacterium ruminantium*, aislada del rumen.

La fermentación catalizada por estas especies es descrita por la ecuación 3-15. La *methanobacterium formicicum* también fermenta el monóxido de carbono (ecuación 3-14).



El resultado final de estas series de fermentaciones es la conversión - virtualmente completa de los ácidos grasos inferiores y algunos de los - alcoholes a CO_2 y CH_4 .

(27)

3.4. ASPECTOS GENERALES DE LA MATERIA A DEGRADAR

La cantidad y características de los materiales orgánicos (desperdicios, animales y vegetales) disponibles para la digestión varían grandemente. En las áreas rurales, los materiales digeribles dependerán del clima, - del tipo de agricultura practicada, de los desechos animales utilizados y del grado de confinamiento, los métodos de recolección de desperdicios, etc. Hay también grados de calidad y disponibilidad en los desperdicios -

urbanos. Por todas estas cosas es prácticamente imposible proyectar o usar una fórmula o regla para indicar el método de determinación de cantidad y calidad de desperdicios orgánicos a ser esperados de un recurso dado. -- Hay sin embargo, alguna información básica para ser usada cuando se inicia la interrogante de cuánta basura podemos alimentar al digestor. (27)

Cuando la materia prima es digerida en un recipiente, sólo parte de ella es realmente convertida en Metano y lodo. Algunos no son digeribles en varios grados y se acumulan en el digestor o sale con el efluente y espuma. La mayoría de los desperdicios sólidos orgánicos generados por las comunidades rurales y urbanas es una mezcla de tejido leñoso, papel y otros materiales vegetales formados por fotosíntesis. La mayoría de los desperdicios urbanos son papel, algunos de los cuales han sido preparados de madera tratada con productos químicos para remover la lignina, es decir, que un alto porcentaje de la basura es celulosa, que puede ser fermentada para obtener Metano.

Muchos de los diseños propuestos para plantas de gas natural, asumen que el proceso ocurre en una etapa, el tiempo necesario será de 30-40 días para proceso Batch, para proceso continuo (esto es, cuando la alimentación y productos son añadidos y drenados a una velocidad constante). Se puede estimar un tiempo de residencia, por ejemplo, si la unidad contiene un volumen $V(m^3)$ de líquido y sólidos degradándose en un digestor y son removidos continuamente a una velocidad volumétrica $Q (m^3/día)$, entonces el tiempo de residencia será V/Q días. Este varía entre 20-60 días, lo que implica que las unidades serán más largas, pero se ha encontrado que para algunos desechos por ejemplo: estiércol de puerco, este tiempo será alrededor de 5 días.

Pero las condiciones óptimas dependerán de los constituyentes en el material a ser digeridos. Por ejemplo, las bacterias necesitan un regular suministro de nutrientes, muchos de estos están presentes en la mayoría de los materiales de desechos. Es necesario también controlar las proporciones de los materiales entrando al digester, por ejemplo, un factor importante es la relación C/N la cual debe ser entre 10 y 30 para una buena operación. El balance entre ácidos y bases debe también ser controlado-- pues generalmente se acepta un PH entre 6-8 con el valor óptimo alrededor de condiciones neutras. El proceso es altamente sensible a las temperaturas; abajo de 15°C es extremadamente lento, la producción de gas, entonces, puede proceder en dos rangos de temperatura: 29-49 °C y 49-60°C; usualmente se recomienda una temperatura de operación de 30-35°C (a la cual proliferan las bacterias mesofílicas), aunque es posible obtener una fermentación más rápida a 50°C que es cuando actúan las bacterias termofílicas.

3.5. CARACTERISTICAS DE LA DIGESTION

El tamaño de la unidad deberá ser determinado por la velocidad y la cinética del proceso de digestión. Esto ha sido objeto de numerosos estudios, trabajando principalmente con sustratos puros y cultivos, en los cuales se ha procurado usar algunas de las expresiones clásicas de velocidad para reacciones enzimáticas. El problema continúa sin resolver y parece ser una tarea árdua el encontrar relaciones válidas universalmente aplicables a la velocidad de digestión (o producción de gas) y a las condiciones dentro del digester).

Un parámetro importante de diseño es la velocidad de alimentación, la cual es usualmente definida como la velocidad de adición de sólidos potencialmente degradables (sólidos volátiles usualmente denotados VS). Otros factores que afectan el diseño son: la velocidad con que las bacterias patógenas mueren, que puede ser mayor que la necesaria para la producción del gas.

Observando cada uno de los principales factores que afectan la producción de gas tenemos:

A * Relación C/N: Desde el punto de vista biológico, los digestores pueden ser considerados como un cultivo de bacterias que están alimentándose y degradando los desperdicios orgánicos. Los elementos Carbono (en forma de carbohidratos) y Nitrógeno (como proteínas, nitratos, amonio, etc.) son los alimentos principales de la bacteria anaeróbica. El Carbono es utilizado para la energía y el Nitrógeno para la construcción de estructuras celulares. El uso de Carbono de estas bacterias es como 30 veces más rápido que el uso de Nitrógeno.

La digestión anaeróbica procede mejor cuando la materia prima alimentada a la bacteria contiene una cierta cantidad de Carbono y Nitrógeno juntos. La relación C/N nos muestra un índice, por el cual nos podemos basar para observar la fertilidad de los productos. Una relación C/N de 30 (es decir, 30 veces más Carbono que Nitrógeno) permitirá a la digestión proceder a una velocidad óptima; si hay mucho Carbono (alta relación C/N, de 60 por ejemplo), en los materiales entrando, el Nitrógeno se gastará prmero, saliendo Carbono en exceso. Esto hará que el digestor se retraiga. De otro modo, si hay mucho Nitrógeno (baja relación C/N) el Carbono rápi

damente se terminará y la fermentación se detendrá. El Nitrógeno remanente se perderá como Amoníaco (NH_3). Esta pérdida de Nitrógeno decrece la fertilidad del lodo efluente.

B - PH (22)

Durante el inicio de la fase ácida de digestión, la cual puede durar cerca de dos semanas, el PH puede bajar hasta 6 ó menos, período en el cual, la mayoría de CO_2 es obtenida, esto es continuado de un decrecimiento lento en acidez, durante un lapso de 3 meses aproximadamente, en el cual los ácidos volátiles y compuestos nitrogenados son digeridos y transformados en compuestos amoniacaes (este Amoníaco llega a tener importancia cuando consideramos el valor fertilizante del lodo), cuando la digestión procede, se produce menos CO_2 y más Metano y el PH aumenta lentamente hasta aproximadamente 7. Como la mezcla llega a ser menos ácida, se efectúa la fermentación Metanogénica. El PH entonces aumenta sobre el punto neutro ($\text{pH} = 7$) hasta quedar entre 7.5 y 8.5. Después de este punto, la mezcla se vuelve Buffer, es decir, su pH es igual aunque se agregue cantidades apreciables de ácido o álcali, la mezcla se ajustará para estabilizarse ella misma a PH 7.5-8.5.

Una vez que la mezcla se haya vuelto Buffer, es imposible agregarle pequeñas cantidades de materia prima periódicamente y mantener un flujo constante de gas y lodos (para digestores de carga continua), si no se alimenta regularmente el digestor (digestores de carga Batch). Las enzimas empiezan a acumularse, los sólidos orgánicos se escasean y la producción de Metano cesa.

Después que la digestión se ha estabilizado, el PH podría permanecer entre 8.0 y 8.5. Los valores ideales de PH del efluente en las plantas de

tratamiento de aguas de albañal es 7-7.5 y estos valores son usualmente dados como el mejor rango de Ph para digestores en general. Por experiencia propia, una mezcla ligeramente más alcalina es mejor para digestores, cuando se utiliza materia animal o desperdicios de plantas.

Si el Ph en el digestor de alimentación continúa descendiendo y llega a ser muy ácido, se puede llevar a la normalidad de nuevo agregando efluente fresco en la entrada, o por reducción de la cantidad de materia prima alimentada al digestor, como último recurso es la adición de una pequeña cantidad de Amonio. Si el efluente llega a ser muy alcalino, se producirá más CO_2 , el cual tendrá el efecto de hacer la mezcla más ácida, corrigiéndose así ella misma. Nunca agregue ácido a su digestor. Esto sólo incrementará la producción de sulfuro de hidrógeno. El sistema se estabiliza por sí solo.

(21)
C = Temperatura

Para la bacteria digestora una temperatura de 95°F (26°C) es óptima; trabaja a la mayor eficiencia.

La producción de gas se puede llevar a cabo en dos rangos de temperatura que son: $85-105^\circ\text{F}$ ($30-40.5^\circ\text{C}$) y $120-140^\circ\text{F}$ ($49-60^\circ\text{C}$). Los diferentes grupos de bacterias productoras de ácido y bacterias metanogénicas prosperan en cada uno de estos rangos diferentes.

Las bacterias activas en el rango más alto son llamadas termofílicas - (Ver Fig. 3-2).

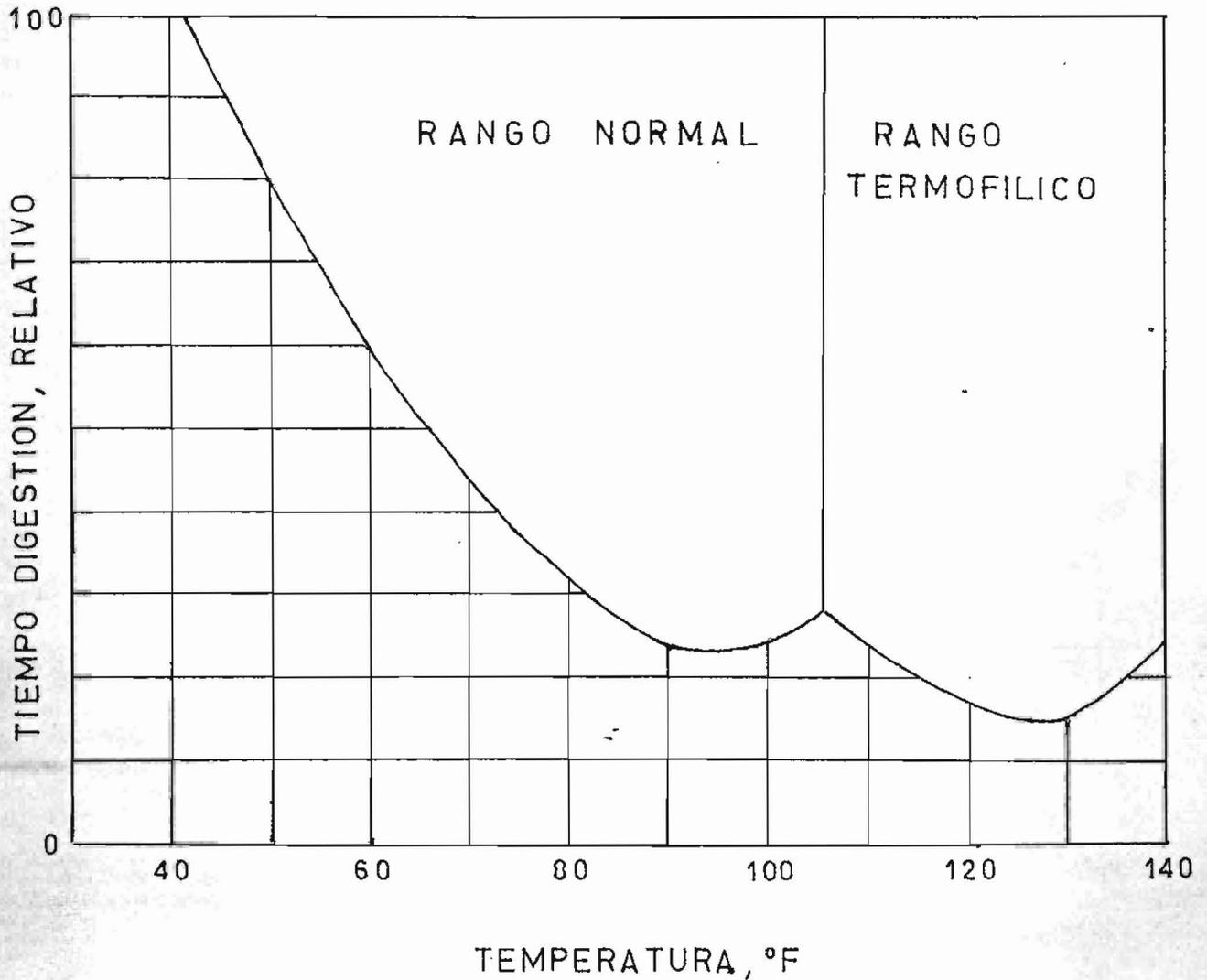


Fig. 3-2 (27)

Los digestores no son comúnmente operados a este alto rango (49-60°C) -- porque:

- 1- La mayoría de materiales se digieren mejor a menor temperatura.
- 2- Las bacterias termofílicas son muy sensitivas a algún cambio en el digestor.
- 3- El lodo producido es de una pobre calidad fertilizadora.

Las bacterias que producen Metano en el "rango normal" 90-95°F (32-35) son más estables y producen un lodo de alta calidad y no es difícil de mantener una temperatura de 95°F (35°C) en el digestor.

3.6. CONSIDERACIONES SOBRE DISEÑO DE UN DIGESTOR (27).

Los digestores pueden ser diseñados para alimentación Batch o alimentación continua. Con los digestores Batch se coloca una carga completa de materia prima. Se sella y se pone a fermentar hasta que el gas es producido. Cuando la producción de gas ha cesado, el digestor es vaciado y llenado nuevamente con otra carga de materia prima.

Los digestores Batch tienen ventaja en lugares donde la disponibilidad de materia prima es esporádica o limitada a plantas procesadoras ordinarias de basuras (que contienen materiales no digeribles que pueden ser convenientemente removidos cuando los digestores Batch son recargados), además, estos requieren poca atención diaria. Los digestores Batch tienen la desventaja, sin embargo, que se requiere mucha energía para vaciarlos y llenarlos; también la producción de gas y lodo tiende a ser muy esporádica. Para El Salvador se recomienda un digestor Batch múltiple conectado al mismo almacenamiento de gas. De este modo, los digestores individuales pueden ser recargados en secuencia escalonada para garantizar una alimentación constante de gas. La mayoría de los primeros digestores fueron -- del tipo Batch.

Con los digestores de alimentación continua, una pequeña cantidad de materia prima es agregada al digestor cada día o con varios días de intervalo. De este modo la velocidad de producción de gas y lodo es más o menos continua y segura. Estos digestores son especialmente eficientes cuando --

la materia prima consiste de una alimentación regular de desperdicios fácilmente digeribles, tales como vísceras de animales, algas marinas, etc. Los digestores continuos pueden ser de dos diseños básicos: mezcla vertical y desplazamiento, los primeros consisten de cámaras verticales a las cuales se agrega la materia prima. El lodo asciende a través del digestor y se derrama en la parte superior. En los diseños de una cámara, el lodo digerido o gastado puede ser retirado directamente de los tubos efluentes. En diseños de doble cámara, los lodos agotados, que salen de la parte superior, fluyen dentro de una segunda cámara donde la digestión continúa a un mayor grado de completación. (Fig. 3-3-A).

Los digestores de desplazamiento consisten de un cilindro tendido paralelo a la tierra (Ej. tubos interiores, cilindros de aceite soldados fondo con fondo, tanques de gasolina, etc.) Fig. 3-3 B), cuando es digerido, el lodo es gradualmente desplazado hacia el final opuesto, pasando por un punto de máxima fermentación, en el camino. El diseño del digestor de desplazamiento parece tener distintas ventajas sobre el diseño de mezcla vertical. En estos digestores, la materia prima está sujeta a un movimiento de bombeo vertical y a menudo escapa a la acción localizada de bacterias digestoras.

El lodo introducido de una vez puede ser rápidamente retirado después como material no digerido completamente. En digestores de desplazamiento el lodo debe pasar un área de máxima actividad fermentativa de tal forma que toda la materia prima sea efectivamente digerida (muy parecida a los intestinos de un animal).

Desde un punto de vista práctico, los digestores de desplazamiento son -

más fáciles de operar. Si el contenido del digestor empieza a volverse ácido, por una razón u otra puede ser recirculado material fuertemente Buffer de la parte final, eficientemente por simple reversión del flujo de material a lo largo de la línea del cilindro. En suma, la materia prima puede ser digerida a algún grado deseado sin necesidad de construir cámaras adicionales o digestores.

Un cilindro inclinado tiene mayor área de superficie que uno vertical y algún digestor de carga continua eventualmente acumulará algo de espuma y partículas sólidas no digeridas, así que tendrá que ser limpiado.

La limpieza periódica de los digestores de desplazamiento es considerablemente más fácil que los digestores de mezcla vertical, por lo que se recomienda el uso de los primeros.

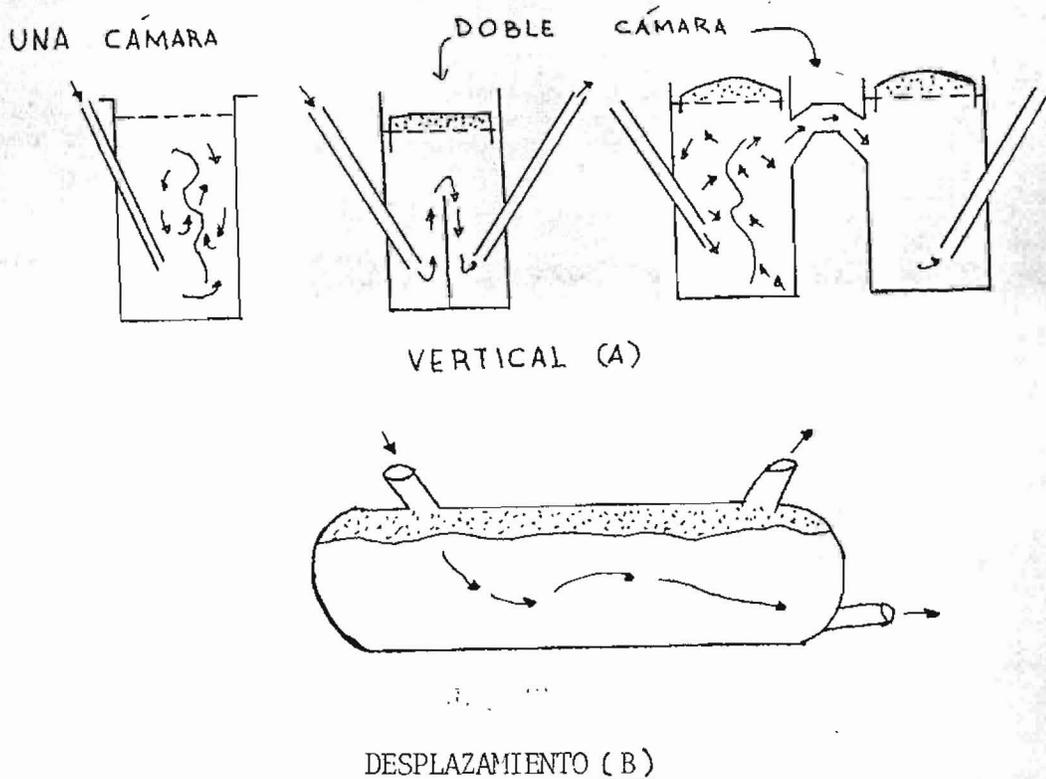


FIG. 3-3 TIPOS DE DIGESTORES CONTINUOS

3.7 COMPOSICION DEL GAS: (BIOGAS)

El gas producido en la digestión de la basura no es únicamente metano, - sino que se considera como una mezcla de varios gases; se ha encontrado una composición general en la Bibliografía (27), obteniéndose lo siguiente:

CH ₄	Metano	54	- 70 %
CO ₂	Dióxido de Carbono	27	- 45 %
N ₂	Nitrógeno	.5	- 3 %
H ₂	Hidrógeno	1	- 10 %
CO	Monóxido de Carbono	0.1	%
H ₂ S	Sulfuro de Hidrógeno		Trazas.

La reacción básica en la producción del gas dentro del digestor es carbono más agua = metano más dióxido de carbono ($2C + 2H_2O \longrightarrow CH_4 + CO_2$).

El metano tiene una gravedad específica de 0.55 con relación al aire. En otras palabras, es aproximadamente la mitad del peso del aire, por lo tanto, se eleva cuando se escapa a la atmósfera. El dióxido de carbono en cambio, es dos veces más pesado que el aire, así, la combinación resultante de los gases, o sea el biogás, cuando se libera a la atmósfera, se disipará lentamente.

3.8 VALOR ENERGETICO (FUEL)

El valor energético del biogás es directamente proporcional a la cantidad de metano que contiene (entre más metano tenga, más combustible será) esto es porque los otros gases, no son combustibles o lo son en cantidades tan pequeñas que son insignificantes.

Debido a que las tablas de "Valores Energéticos del Bio-Gas" no pueden -
mostrar cuanto Metano combustible hay en el gas, diferentes tablas mues-
tran una amplia variedad de valores energéticos para la misma clase de -
gas, dependiendo de la cantidad de Metano en el gas, de cada tabla indi-
vidual. (2-7)

Como promedio, el Metano puro en forma de gas tiene un valor energético
de aproximadamente 1000 BTU/ft³. Se necesitan 5 ft³ de gas con poder ca-
lorífico de 5000 BTU para llevar medio galón de agua a ebullición y man-
tenerla así 20 minutos. Si se tiene un volumen de Bio-gas que es 60% Me-
tano, tendrá un valor energético de cerca de 600 BTU/ft³, etc.

De lo anterior podemos observar la relación del poder energético del Bio-
gas con el Metano puro o con el propano puro, que es el más consumido en
los hogares. La siguiente tabla nos muestra esa relación.

T A B L A N° 3-1

<u>Gas Combustible</u>	<u>Valor Combustible</u> BTU/ft ³
Carbón (ciudad) gas	450 - 500
Bio-Gas	540 - 700
Metano	896 - 1069
Gas Natural (Metano o Propano)	1050 - 2200
Propano	2200 - 2600
Butano	2900 - 3400

La composición y el valor energético del Bio-Gas de diferentes clases de
desperdicios orgánicos depende de varios factores:

- 1 - La temperatura a la cual la digestión se lleva a cabo. Esto ha sido -
ya discutido.

2- La naturaleza de la materia prima. Se sabe por experiencia⁽²⁷⁾: "Libra por libra, el desperdicio vegetal genera 7 veces más gas que el desperdicio animal". El líquido de plantas succulent (cactus), incrementan grandemente la cantidad de gas producido, pero no realmente por un factor de 7. Experimentos de laboratorio han demostrado⁽²⁷⁾ que los materiales vegetales producen Bio-Gas con una alta proporción de dióxido de carbono. Así, el gas extra producido por los vegetales puede ser de menor valor para nuestros propósitos de producción de combustible. La calidad general de Bio-Gas puede ser estimada de la relación C/N de la materia prima usada según se muestra en la Tabla⁽³⁻²⁾.

TABLA N° 3-2 RELACION C/N DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS

		Metano	CO ₂	Hidrógeno	Nitrógeno
C/N Bajo (Alto Nitrógeno)	Sangre	Poco	Mucho	Poco	Mucho
C/N Alto (Bajo Nitrógeno)	Aserrín, paja, azúcar, y almidones tales como papas, maíz, desperdicios de azúcar de remolacha.	Poco	Mucho	Mucho	Poco
C/N Balanceado (C/N=Cerca de 30)	Estiércol Basura	Mucho	Algo	Poco	Poco

Con buena temperatura y buenos materiales alimentados, se puede obtener de 50 a 70% de materia alimentada al digestor, convertida en Bio-Gas. Como se puede observar, de la Tabla (3-1) 1 pie cúbico de gas propano nos

genera una energía de 2200-2600 BTU. En cambio, 1 pie cúbico de Bio-Gas genera una energía de 540-700 BTU. Para igualar la energía de 1 pie cúbico de gas propano, necesitaríamos aproximadamente 4 pies cúbicos de Bio-Gas.

3-9 EQUIPO PARA PLANTA PILOTO⁽²⁷⁾

Para construir un digester a nivel de Planta Piloto, se puede hacer bastante barato y comprobar que la basura se descompone anaeróbicamente, y que se genera una sorprendente cantidad de gas. Estos colectores pueden ser hechos de dos cilindros colocados uno dentro del otro. Pueden ser dos barriles, por ejemplo, con una capacidad de 30 y 50 galones.

Uno de los primeros pasos en la construcción de la unidad es la mezcla de bacterias a utilizar en un Batch de material inicial (principalmente el tipo de bacteria y la cantidad mínima de ella).

Toma semanas y aún meses en cultivar la colonia de bacterias que funciona mejor en la basura una vez iniciada dicha colonia, puede ser mantenida y utilizada por largo tiempo. El cultivo de bacterias puede ser formado en un recipiente de vidrio con una capacidad de 1 a 5 galones. El llenado debe ser hecho con mucho cuidado para no sobrepasarse de 1/4 de la capacidad de este recipiente con (a) Lodo activo de cloaca ó (b) Lodos retenidos en alguna ciénaga de un terreno bajo cercano, el otro cuarto de la capacidad con estiércol fresco y la mitad restante es llenada con basura por partes con intervalos de una semana. Nunca llenar hasta la altura de la tapadera, debido a que la espuma podría bloquear la salida y presionarla a tal grado que se reviente la botella.

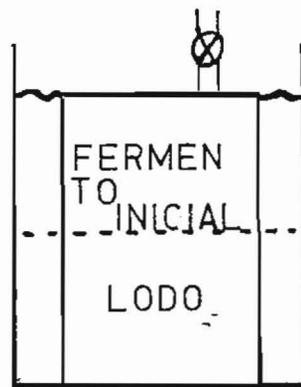
Por supuesto, la tapadera no se colocará para evitar que dicho recipiente se quiebre, colocándose únicamente para agitarla.

Es una peculiaridad de los cultivos metanogénicos que una pequeña agitación cuando se están agregando los materiales es benéfica, pero una agitación continua es de efecto dañino.

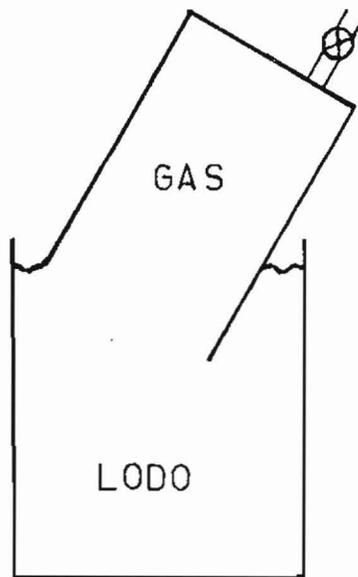
Los pasos, para la construcción de la unidad son: Fig.(5).

- 1- Tomar los dos tambos de 30 y 50 galones; al pequeño, se le quita el fondo y al grande la parte superior.
- 2- Al tambo pequeño se le coloca una válvula en la parte superior, soldándola para mayor seguridad. Esta será la salida del gas.
- 3- Firmemente segura a la válvula colocamos una manguera.
- 4- La manguera se lleva hasta una cámara que será llenada con gas para su almacenamiento o dirigida a un quemador simple.
- 5- El tambo de 50 galones está listo a ser llenado, siendo recomendado que se haga hasta la altura del tambo de 30 galones con una mezcla, formada por 50% de lodos y 50% de basura.
- 6- Se le agrega entonces uno o dos galones del cultivo de bacterias, a la mezcla en el tambo de 50 galones.
- 7- Con la válvula abierta, introducir el tambo de 30 galones completamente dentro del tambo de 50 galones con la mezcla, cerrar la válvula.
- 8- Se mantiene una temperatura estable entre 80 y 95°F (27-35°C). Después de aproximadamente tres semanas, se podría estar empezando a ge

OPERACION DE UN DIGESTOR SIMPLE



A



B

FIG - 5

nerar el gas. El tambor más pequeño se irá llenando lentamente de gas y empezará a subir sobre la superficie de la mezcla.

9- Precauciones de Seguridad:

Cuando el tambor pequeño suba la primera vez, no ensaye en quemar el gas. Mejor déjelo escapar a la atmósfera, coloque nuevamente el tambor de 30 galones hasta el fondo del tanque de 50 galones, cierre la válvula y déjelo subir nuevamente. Esto es para asegurarse que no hay aire mezclado con el gas. Una mezcla de aire y gas es altamente explosiva entre los rangos de 1 parte en 4, a 1 parte en 14. Aún fuera de este rango, puede ser peligroso. También la primera producción de gas probablemente no se quemará debido a la alta proporción de dióxido de carbono cuando la fermentación se inicie. Cuando queme el gas, abra la válvula sólo un poco, presione hacia abajo lentamente el tambor de 30 galones, para crear una presión positiva del gas. Cierre la presión.

Para alimentar este digestor es necesario remover el tambor de 30 galones, sacar aproximadamente 5 galones de materiales y reemplazarlos con mezcla fresca. Se presiona nuevamente el tambor pequeño para excluir el aire.

Resumiendo, la producción de Metano a partir de la basura representa una forma eficiente de aprovechamiento de energía, pues descontando la energía necesaria para el mantenimiento de la temperatura adecuada, se logra una eficiencia neta del 25%.

Consiste básicamente en un proceso anaeróbico de digestión, en el cual el material orgánico es degradado en dos etapas, cada una por diferen

tes clases de bacterias.

a) Bacterias productoras de ácidos, que transforma los materiales com
plejos de la materia orgánica en ácidos orgánicos de bajo peso mo
lecular, el más importante de éstos es el ácido acético pues el -
70% de CH₄ producido proviene de él.

b) Bacteria metanogénica, que convierte los ácidos volátiles en bio-
gas. La fuente primaria de bacterias es el estiércol de rumiante.
El gas resultante usualmente está formado de 70% de metano y 29% de -
dióxido de carbono y puede ser quemado en un simple quemador. La re-
acción básica en la producción del gas dentro del digester es



Este sistema podría ser empleado aún en zonas rurales pues es bastan
te sencillo en su operación, por lo que ofrece una atractiva solución
para el aprovisionamiento de gas en la industria y uso doméstico en -
general.

Los residuos de este proceso pueden ser utilizados como abono orgáni-
co, pues muchas de las materias útiles presentes en el inicio de la -
degradación continúan allí; también pueden emplearse para la fabrica
ción de tablas prensadas tipo tablex, este proceso no fue evaluado -
experimentalmente, pero se proporciona la información recopilada.

(Ver Anexo 1).

3.10 RENDIMIENTO DEL PROCESO

En la evaluación del rendimiento, se hicieron dos pruebas, en la primera no se logró determinar el rendimiento ni se pudo efectuar el análisis cuantitativo, en la segunda prueba se puso a fermentar: 645 gramos de basura, haciendo burbujear el gas a través de lechada de cal por lo que se asume que el gas obtenido es CH_4 con algunas trazas de otros gases.

Se obtuvo: $21,900 \text{ cm}^3$ de CH_4

$$\text{Mt}^3 \text{ de } \text{CH}_4 = 21,900 \text{ cm}^3 \times \frac{\text{m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} = 0.0219 \text{ m}^3$$

Por tonelada de basura.

$$0.0219 \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ Kg.}}{0.645 \text{ kg.}} = 33.95 \frac{\text{m}^3 \text{ de } \text{CH}_4}{\text{Ton de basura}}$$

El residuo de la basura después de obtener el metano, se pesó, habiéndose observado una reducción de 18 % en peso.

CAPITULO 4

4.1 USO DE LA BASURA COMO COMBUSTIBLE PARA PRODUCCION DE VAPOR.

La basura como combustible sólido, para la generación de vapor, es una alternativa de mucho interés en la actualidad, debido a la escasez de energético y a su costo, esto incide en mayor proporción en países en desarrollo, como el nuestro.

La basura puede ser empleada como combustible sólido adicional y de esta manera ser fuente de generación de vapor, dado que su poder calorífico no es bajo. La incineración de la basura es un proceso de combustión controlada, donde la recuperación del calor contenido en los gases resultantes es un aspecto importante a ser considerado, debido al encarecimiento de los combustibles tradicionales. Los productos de la combustión son gases, partículas y escoria compuesta de cenizas y partículas incombustibles. Los residuos de la incineración son prácticamente inertes, que puede ser utilizado como base primaria en el asfaltado de las calles. La energía recuperada de esta manera puede ser utilizada en la generación de energía eléctrica para abastecimiento doméstico e industrial.

4.2 EVALUACION DEL PODER CALORIFICO

4.2.1 METODOS Y EQUIPO EN GENERAL.

CALORIMETROS. Los cambios energéticos que se desarrollan en -

las reacciones químicas, se observan adecuadamente en aparatos conocidos como calorímetros.

Hay dos tipos principales de calorímetros, en el primero, el propósito es mantener el líquido del recipiente exterior a una misma temperatura en el segundo la temperatura del líquido externo se eleva de tal forma que siempre tenga la misma que la del líquido interno.

CALORIMETRO ISOTERMICO. El primer tipo de calorímetro mencionado es el isotérmico. En los trabajos termoquímicos se emplean calorímetros como el de la figura (4-1). El recipiente metálico (1) es el vaso interno y se encuentra separado por una capa de aire de aproximadamente 1 cm. de la camisa exterior (2) que contiene agua a temperatura constante, las pérdidas por radiación se pueden disminuir utilizando una camisa de aire más ancha, pero se crean mayores pérdidas por convección. Los líquidos en (1) y (2) se mantienen térmicamente homogenizados por medio de agitadores. Como se emplean cubiertas metálicas se reducen al mínimo la evaporación y la convección y es posible reducir la radiación si se rodea el sistema con un material aislante. En este tipo de aparatos siempre ocurren pérdidas de calor por radiación. El objeto de mantener la temperatura del líquido exterior constante, es que la velocidad de pérdida de calor sea siempre la misma. Por regla general, la capacidad del calorímetro se determina por métodos eléctricos. Se coloca en el calorímetro

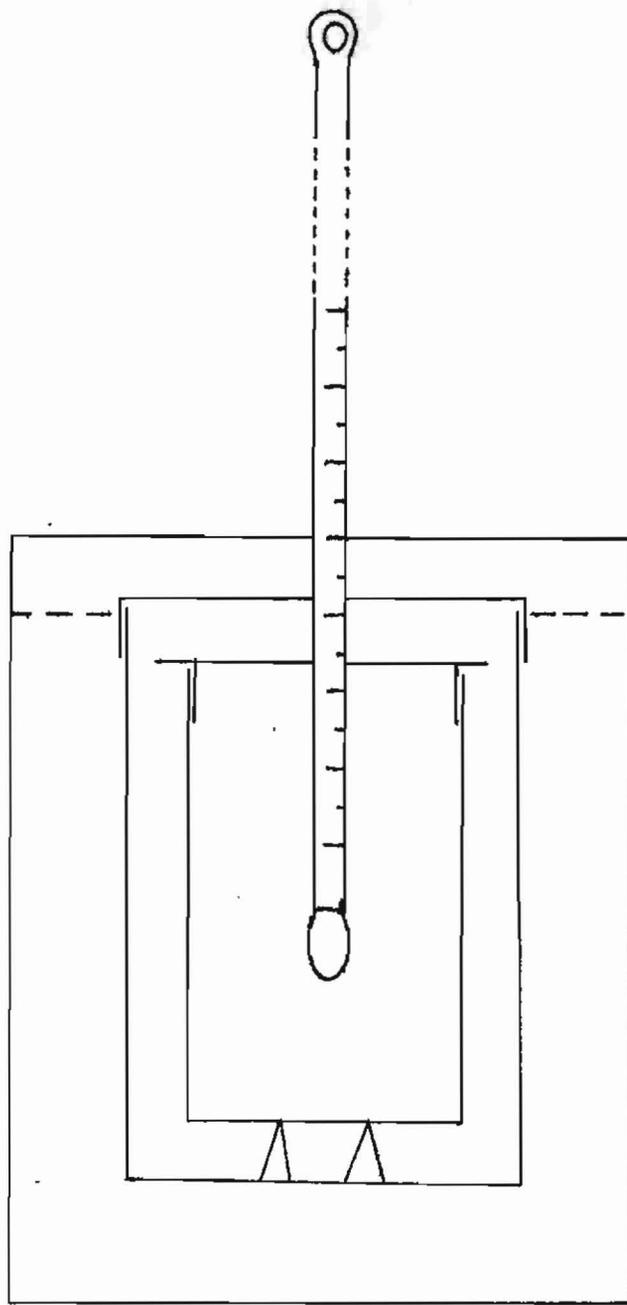


FIGURA 4-1

FORMA SENCILLA DE CALORIMETRO

tro una resistencia conocida y se le hace pasar una corriente de intensidad también conocida durante un tiempo determinado, anotándose el aumento de temperatura.

La cantidad de calor liberado es:

$$Q = Ri^2t \quad (\text{julios}) \quad (4-1)$$

donde R es la resistencia en ohmios, i es la intensidad de la corriente en amperios y t es el tiempo en segundos durante el cual pasa la corriente. Dividiendo este resultado entre el cambio de temperatura se obtiene la capacidad calorífica en julios por grados.

CALORIMETROS ADIABATICO. El segundo tipo de calorímetro mencionado es el calorímetro adiabático. Fue propuesto por W.T. Richards (1905) y luego perfeccionado, el cual se ha usado para la mayoría de trabajos de precisión. En estos calorímetros la temperatura del líquido exterior es lo más próxima posible a la del recipiente del calorímetro (aproximadamente 0.1°C) la pérdida de calor por radiación y convección es despreciable por lo que no hay que hacer ninguna corrección.

4.2.2. LA BOMBA CALORIMETRICA.

La invención de M. Berthelot, en 1881, de la bomba de combustión tiene sus fundamentos en los métodos diseñados por Berthelot y Thomsem, los cuales quemaban la sustancia a estudiar por medio de un mechero especialmente diseñado para ajustarse a la parte inferior del calorímetro. A este aparato se le han hecho una serie de modificaciones por personas como Kroe-

ker, Parr y Mahler pero mantienen en la actualidad el mismo principio de Berthelot.

La sustancia se quema en atmósfera de oxígeno a determinada presión, de modo que la reacción sea rápida y completa; el calor desarrollado se mide de la forma usual.

Este tipo de bomba consiste en un cilindro de acero o de otro material fuerte que se cierra a presión; la capacidad varía de 400 a 600 ml y sus dimensiones son aproximadamente: altura, 15 cms; diámetro, 8 cms. y espesor de las paredes, 0.5 cms. La bomba está recubierta interiormente por esmalte oro o platino para evitar la corrosión; modernamente son construidas de acero inoxidable. Para cierto tipo de reacciones hay otro tipo de bombas más sofisticadas (**).

Un crisol de platino se suspende de dos soportes que sirven de electrodos, en el cual se pone una cantidad pesada de la sustancia a estudiar y si es volátil, se encierran en un tubo de vidrio muy delgado. Entre los dos electrodos se coloca cierta cantidad de alambre de hierro en contacto con la sustancia, después de cerrar el cilindro con la tapa se llena la bomba con oxígeno a 25 atm. de presión o más y se coloca en el calorímetro. Cuando se alcanza el equilibrio térmico del líquido exterior, se hace pasar una corriente por el alambre el cual enciende la sustancia. El calor producido -

** v. Instructions and Methods for Parr Oxigen Bombs. Manual No. 147 Parr Instruments Co.

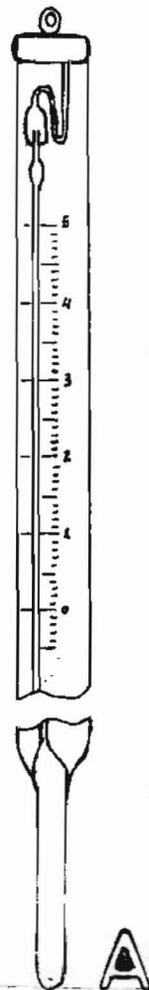
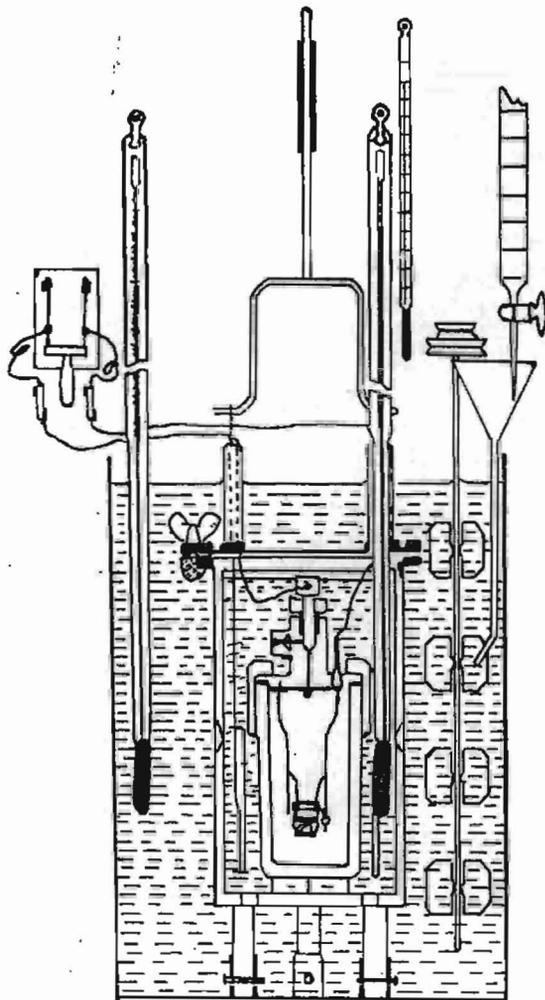


FIGURA 4-2

BOMBA DE COMBUSTION Y CALORIMETRO

se determina por medio del aumento de temperatura en el líquido calorimétrico.

Es necesario hacer, ciertas correcciones, debidas principalmente al calor producido por el alambre de ignición y a la formación de ácido nítrico debido a la presencia de nitrógeno en la atmósfera. Modernamente se emplea alambre de platino y cuando la muestra no se quema fácilmente se le agrega una ayuda de combustión (gelatina, aceite, etc.) la que hay que tener en cuenta para las correcciones.

Para determinar la capacidad calorífica se emplea ácido benzoico como patrón primario. Se han propuesto patrones secundarios como ácido succínico, ácido salicílico, naftaleno y sacarosa. (V. Fig. 4-2).

4.3 PARTE EXPERIMENTAL.

4.3.1 PREPARACION DE LAS MUESTRAS Y DETERMINACION DE SU CALOR DE COMBUSTION.

Las muestras de basura se reducen a partículas muy pequeñas en un molino de cuchillas, para facilitar la operación de pastillado de las mismas. Las pastillas se hacen en una pastilladora PERKIN-ELMER (Basic Infrared Accesory Kit) y empleando una prensa manual para comprimir las muestras.

Se elaboran pastillas desde un peso de 0.1311 grs. hasta 0.3856 grs., a las cuales se les determina el contenido de azufre para saber si es necesario aplicar la corrección debi-

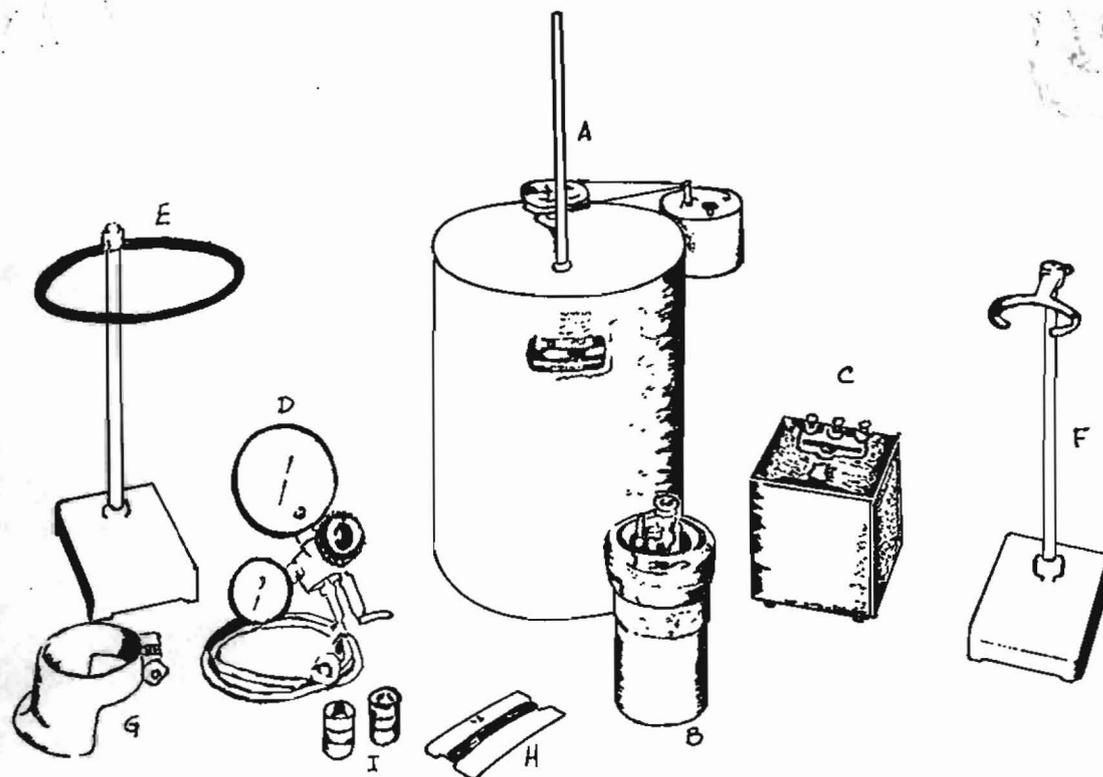


FIGURA 4-3

CALORIMETRO PARR MODELO 1341 Y ACCESORIOS

- A - Calorímetro Parr 1341
- B - Bomba de combustión
- C - Unidad de Ignición 2901
- D - Conexión para llenado con oxígeno 1825
- E - Soporte para la tapa del calorímetro A37A
- F - Soporte para la cabeza de la bomba A38A
- G - Soporte para la bomba A124A2
- H - Alambre de platino Parr 45C10
- I - Cápsulas de combustión 43 AS

da al calor de formación del ácido sulfúrico; este factor se aplica siempre que se sobrepase el límite máximo de 0.1 % de azufre.

Las determinaciones se hacen siguiendo el procedimiento descrito en: "Azufre en combustibles sólidos", estas cantidades se determinan después de haber tomado las medidas para la de terminación calorimétrica.

4.3.2 EQUIPO UTILIZADO

En esta parte se describirá la forma de operar la bomba calorimétrica Parr modelo 1341 (Fig. No. 4-3) en la cual se realizaron las experiencias para determinar el calor de combustión del Acido Benzoico y de la basura.

El aparato técnicamente hablando es un instrumento que opera a la temperatura ambiente o cerca de ella sin previsión de a juste o control automático de temperatura. Las compensaciones para cualquier pérdida o ganancia, durante la prueba, se hacen aplicando las correcciones calculadas antes y después de la misma.

El principio de operación es el siguiente: una muestra pesada se quema en una bomba metálica llena de oxígeno a determinada presión la cual está contenida en una cantidad medida de agua, que a su vez está en una chaqueta aislante: por observa ción del aumento de temperatura y conociendo el equivalente de energía del calorímetro, se puede calcular la cantidad de

calor desprendida por la muestra el cual se puede expresar - en calorías/gramo ó BTU/libra.

INSTALACION Y OPERACION. Parte del equipo utilizado fué una balanza analítica (sensibilidad 0.1 mg), un tanque de oxígeno y una balanza capaz de pesar más de 2.0 kg. con sensibilidad de 0.1 g.

CARGA DE LA BOMBA. Hay que tener especial cuidado en no sobrecargar la bomba ya que la presión máxima desarrollada es proporcional al tamaño de la muestra y a la presión inicial. Para no caer en el límite de seguridad, la bomba no debe de ser cargada con una muestra que desprenda más de 8000 calorías y la presión inicial no debe ser mayor de 35 atm. (515 psig). Esto generalmente limita la masa de la muestra (muestra + gelatina, aceite de encendido o cualquier otra ayuda de combustión) a un máximo de 1.1 gr.; al empezar las pruebas con sustancias desconocidas siempre es conveniente usar la mínima cantidad posible (menos de 1 gr.) pudiéndose aumentar si no se observa comportamiento anormal.

Para evitar dañar la bomba, y posible daño al operador, hay que establecer la siguiente regla: "La carga de la bomba no debe ser mayor de 1.5 gr."

COLOCACION DEL ALAMBRE DE IGNICION. Colocar la cabeza de la bomba en su soporte y colocar 10 cms. de alambre (Fig. 4-4) - entre los electrodos. Halar el alambre hacia abajo para ase

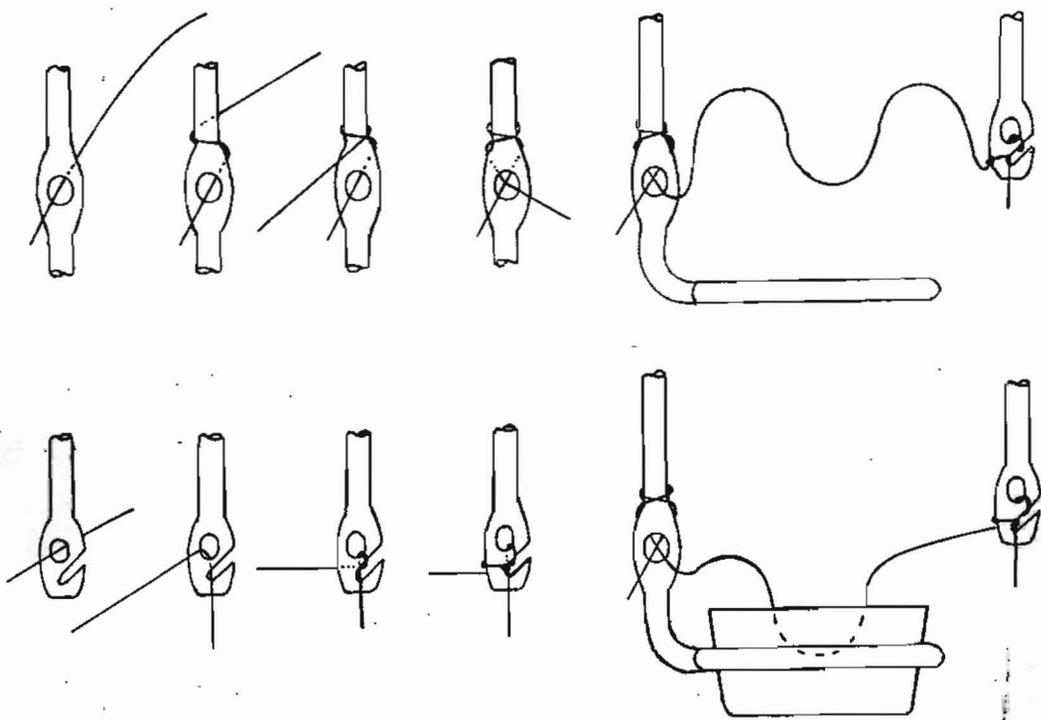


FIGURA 4 - 4

Pasos para el amarre del alambre
de ignición

un buen contacto. Poner la cápsula en el soporte y hacer - que éste toque la muestra. No es necesario hundir el alambre cuando la muestra es en polvo, se obtienen mejores resultados si es colocado ligeramente sobre la misma, también es conveniente inclinar un poco la cápsula para que la llama emergente no choque con los electrodos.

Poner un mililitro de agua destilada dentro de la bomba con una pipeta.

SELLADO DE LA BOMBA. Es necesario tener cuidado cuando se coloca la cabeza de la bomba en el cilindro para no perder parte de la muestra, deslizarla con cuidado hasta que quede bien ajustada, es conveniente sostener la bomba en el soporte (A124A2) durante el cerrado y llenado con oxígeno, poner la tapa y cerrarla con la mano, no usar ninguna llave.

EQUIPO PARA EL LLENADO DE LA BOMBA CON OXIGENO. El oxígeno comercial es suficientemente adecuado para trabajos calorimétricos. La unión al cilindro de oxígeno se hace con la conexión 1825, ésta tiene una válvula de aguja que controla el flujo del cilindro a la bomba y un manómetro con lectura de 0. a 55 atmósferas, para determinar la presión a la que ha sido cargada la bomba, también está provista de una válvula de escape automático para prevenir una sobrecarga.

Para conectar la manguera de llenado, se pone el niple de la válvula en el tanque y se asegura bien con una llave, manteniendo el manómetro en posición vertical.

LLENADO DE LA BOMBA. Atornillar fuertemente la manguera de conexión de la válvula de entrada de la bomba, esta operación se hace con la mano. Cerrar la llave de la válvula de llenado, luego abrir la llave del tanque no más de 1/4 de vuelta. Abrir lentamente la llave del manómetro hasta la presión deseada, cerrarla. La bomba se sella automáticamente cuando se quita la manguera de llenado. Liberar la presión residual de oxígeno empujando hacia abajo la llave de escape en el manómetro, el medidor debe volver a cero. Si la presión baja lentamente y escapa bastante cantidad del gas cuando se abre la válvula de escape, la válvula de la cabeza -- de la bomba no funciona correctamente, es necesario repararla.

MEDIDAS DE SEGURIDAD. La alta presión y las reacciones casi explosivas que ocurren dentro de la bomba, tienen que ser controladas cuidadosamente manteniendo la bomba y todas sus partes en buenas condiciones.

Se hace necesario enfatizar en lo siguiente:

.La carga total puesta en la bomba no debe liberar más de 8000 calorías cuando se quemá a una presión inicial máxima de 35 atm.

.Esto limita la muestra a 1.1 gr.

No encender la bomba si tiene una presión mayor de 35 atm. -

.Usar la mínima cantidad posible de muestra que pueda arder rápida o explosivamente.

.Mantener todas las partes de la bomba, especialmente las válvulas y los electrodos en buena condición. Si se escapan burbujas de gas de la bomba cuando se sumerge en el agua, no proceder con la operación.

.Mantenerse alejado del calorímetro durante 30 seg. después de la ignición.

.Nunca usar lubricantes en las válvulas y uniones con óxigeno a alta presión.

OPERACION DEL CALORIMETRO. Pesar el balde seco en una balanza y añadir 2000 ± 0.5 g. de agua. El agua desmineralizada es adecuada si contiene menos de 250 ppm de sólidos disueltos. La temperatura del agua debe de estar, aproximadamente 1.5°C bajo la ambiente.

Poner el balde con el agua en el calorímetro con la bomba puesta adecuadamente (las patas en las muescas correspondientes) para sumergir la bomba en el balde con agua, usar las pinzas metálicas que se adaptan a la cabeza de la bomba. Antes de sumergir la bomba, introducir los dos terminales de la unidad de ignición en las conexiones de los electrodos, al exceso de alambre no debe quedar en contacto con el agua. Durante este proceso, manejar con cuidado la bomba para no botar parte de la muestra. Quitar la pinza metálica y sacudir las gotas de agua que estén adheridas a ella, dentro del balde; luego poner la tapadera del calorímetro adecuadamente, de tal manera que la guía de la misma se introduzca en el agu

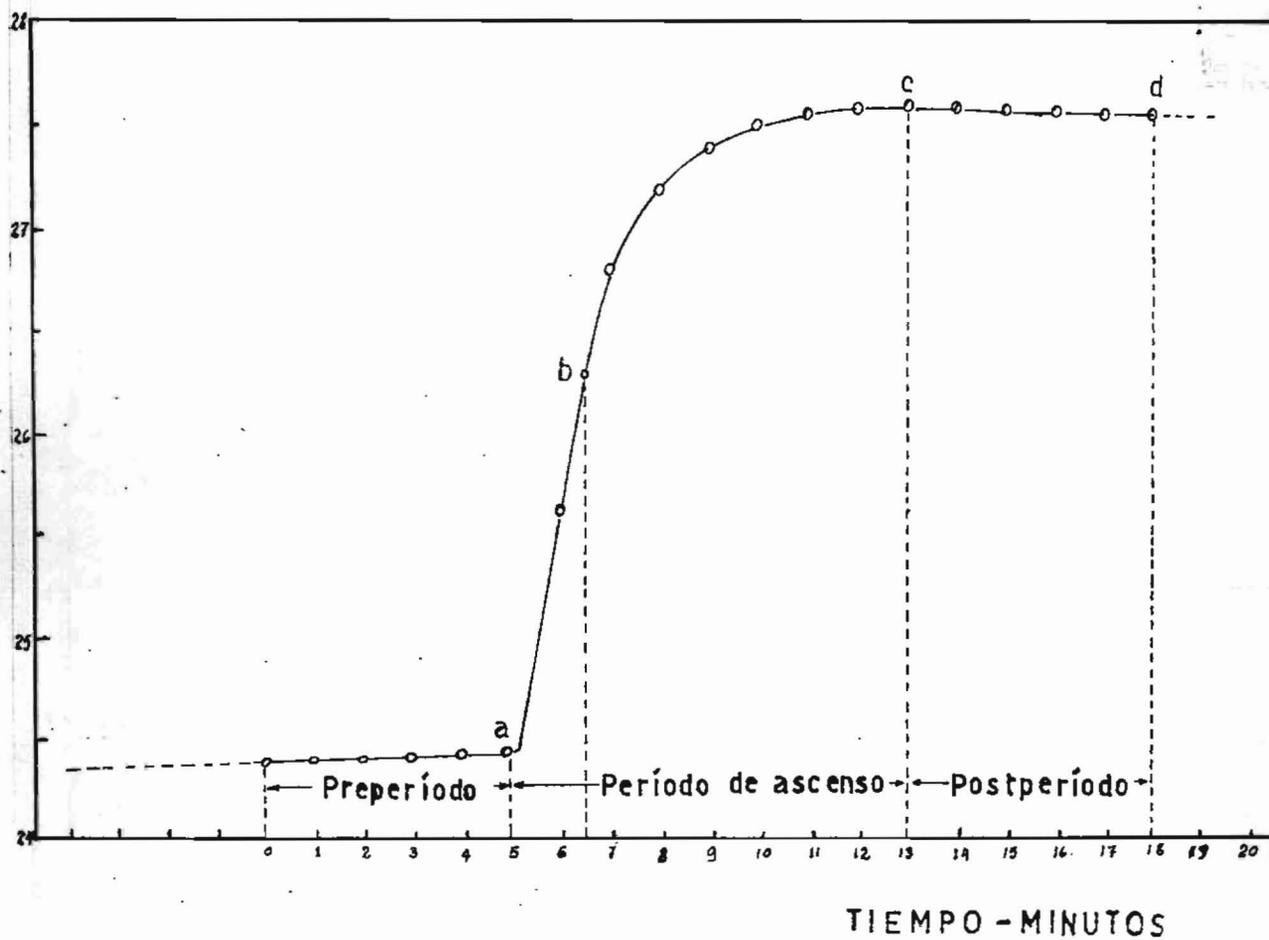


FIGURA 4 - 5

curva típica de ascenso de temperatura
para bomba calorimetrica Parr

jero que hay en la camisa. Girar el agitador con la mano - para comprobar que gira libremente, poner la banda del motor y encenderlo. El Calorímetro esta listo para la prueba.

DETERMINACION EXPERIMENTAL. Dejar el agitador girando durante 5 min. hasta alcanzar el equilibrio térmico, registrar la temperatura cada minuto con precisión de 0.002°C ó 0.005°F .- Continuar leyendo y registrando la temperatura cada minuto, - al comienzo del sexto minuto, presionar el botón de la unidad de ignición. Siempre golpear el termómetro con un lápiz o agitador antes de cada lectura.

Aproximadamente 20 seg. después de la ignición, la temperatura empezará a subir, la velocidad de ascenso será rápida, pero decayendo a medida que el sistema alcance el equilibrio.- La naturaleza del ascenso de la temperatura se indica en la figura (4-5).

DESMONTAJE DEL CALORIMETRO. Después de hecha la última lectura, parar el motor, quitar la faja y levantar la tapa del calorímetro, limpiar el termómetro y el agitador con un paño - limpio y seco. Sacar la bomba del balde, quitar los alambres de ignición y secarla con una toalla limpia y seca. Abrir la válvula de escape para liberar la presión residual - antes de desenroscar la tapa, esta operación debe ser lenta, en un período no menor de un minuto.

Después de liberar los gases, desatornillar la tapa, quitar la cabeza de la bomba y ponerla en su soporte. Examinar el-

interior de la misma para determinar si ha habido combustión completa, sino es así descartar la prueba.

4.4 CALIBRACION.

Se determina el equivalente de energía del calorímetro (entendamos por calorímetro: la bomba, el balde, el agitador, el termómetro) como el promedio de no menos de tres determinaciones usando ácido benzoico estandar.

Estas pruebas deben de estar espaciadas por un período no menor de tres días. Se emplea no menos de 0.9 gr. y no más de 1.1 gr. del patrón primario.

Cada prueba se realiza como se describe en "Operación del Calorímetro". Se calcula el aumento corregido de la temperatura como se describe en "Aumento Neto de la temperatura". Se calculan las correcciones para el calor de formación del ácido nítrico y la debida al alambre de ignición. Estos datos se sustituyen en la siguiente ecuación:

$$W = \frac{H \times m + e_1 + e_2 + e_3}{t} \quad (4.2)$$

Donde:

W= Equivalente del calorímetro en Cal/grado (Centígrado ó Fahrenheit)

H= Calor de combustión de ácido benzoico estandar
(6,318 cal/gr)

m= Peso de la muestra del ácido benzoico en gramos

e_1 =Corrección para la formación del ácido nítrico

e_2 =Corrección para la formación del ácido sulfúrico

e_3 = Corrección para el calor de combustión del alambre de ignición.

t = Aumento de temperatura

La calibración del calorímetro debe hacerse después de cambiar cualquier parte del mismo y ocasionalmente para chequearlo.

CORRECCIONES Y CALCULO DEL CALOR DE COMBUSTION

Datos necesarios para calcular el calor de combustión. Disponer de los siguientes datos:

a = Tiempo de encendido

b = Tiempo medido con precisión de 0.1 min. cuando la temperatura alcanza el 60 % del incremento total.

c = Tiempo al inicio del período (después del ascenso de la temperatura) en el cual la velocidad del cambio de la temperatura ha sido constante.

t_a = Temperatura al tiempo de encendido, corregida al error de la escala del termómetro.

r_1 = Velocidad (unidades de temperatura/minuto) a la cual la temperatura sube durante el período anterior al encendido.

r_2 = Velocidad (unidades de temp./minuto) a la cual la temperatura sube durante el período después del tiempo c . Si la temp. baja en vez de subir, r_2 es negativa y la cantidad $-r_2(c-b)$ es positiva.

t_c = Temperatura al tiempo c corregida a la escala del termómetro.

c_1 = Mililitros de álcali utilizados en la valoración.

c_2 = % de Azufre en la muestra.

c_3 = Centímetros de alambre quemado.

W = Equivalente energético del calorímetro.

m = Masa de la muestra en gramos

Aumento neto de temperatura:

$$t = t'_c - t'_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \quad (4-3)$$

Cuando la temperatura del agua es diferente a la del ambiente, se utiliza t'_a en vez de t_a , y es ajustada a la temperatura ambiente, donde:

$$t'_a = t_a + \text{ajuste} \quad (4-4)$$

Cuando entre la temperatura ambiente y la del agua existe una diferencia mayor de 1.5°C , se utiliza t'_c en vez de t_c ; donde:

$$t'_c = t_c + \text{CVE} \quad (4-5)$$

(CVE = corrección al vástago emergente)

4.5 CORRECCIONES TERMOQUIMICAS.

Ya que la combustión en la bomba tiene lugar en una atmósfera de oxígeno a altas temperaturas y presión, se dan algunas reacciones que no ocurrirían si la muestra fuera quemada en condiciones normales. Estas reacciones son importantes porque generan cierta cantidad de calor apreciable, que no es debida a la muestra, por lo que hay que hacer ciertas correcciones. Generalmente el azufre contenido en la muestra se oxida a SO_3 , el cual se combina con el vapor de agua para formar ácido sulfúrico y también el nitrógeno contenido en la bomba, se oxida

y se combina con el vapor de agua para formar ácido nítrico. Dicha corrección se logra con la titulación del ácido para poder calcular el calor involucrado en la formación del ácido sulfúrico y nítrico.

TITULACION DEL ACIDO NITRICO. Lavar el interior de la bomba con un frasco lavador y recoger los lavados en un erlenmeyer, titular esta porción con solución estandard de carbonato de sodio 0.725N usando rojo de metilo o naranja de metilo como indicador, se recomienda esa normalidad para simplificar los cálculos. Anotar el resultado de la valoración. La solución se prepara disolviendo 3.84 g. de Na_2CO_3 en agua y diluyendo a un litro.

CORRECCION DEL ALAMBRE DE IGNICION. Cuidadosamente remover las partes no quemadas del alambre en los electrodos; alargar los y medir su longitud en centímetros, restar esta cantidad de la inicial (10 cm.), anotarla. Esta corrección puede ser omitida cuando se usa alambre de platino No. 36.

SIMBOLOGIA.

e_1 = Corrección en calorías para la corrección del ácido nítrico. 1 mililitro = 1 caloría (si se usa álcali 0.0725n)

e_2 = Corrección en calorías para la formación del ácido sulfúrico.

$$= 14 \times c_2 \times m$$

e_3 = Corrección en calorías para el calor de combustión del alambre de ignición.

$$= 2.3 \times c_3 \text{ (si se usa alambre Parr 45C10)}$$

4.6 CORRECCIONES TERMOMETRICAS.

Los termómetros que vienen como equipo con los calorímetros - Parr han sido probados para exactitud en intervalos no menores de 1.5°C ó 2.5 °F. en toda escala graduada. Las correcciones que son aplicadas en estos puntos, están dados en una tabla de corrección.

Si se requiere una gran exactitud, la diferencia de temperatura entre el agua y los alrededores, no debe ser mayor de 1.5°C si no es así hay que aplicar una corrección al vástago emergente (CVE).

$$\text{CVE} = K (t_c - t_a) (t_c + t_a - L - T) \quad (4-6)$$

donde:

K = Coeficiente de expansión diferencial del mercurio en el vidrio 0.00016 para termómetro Celsius ó 0.00009 para termómetros Fahrenheit.

L = Lectura de la escala a la cual está sumergido el termómetro.

T = Temperatura media del vástago emergente.

t_a = Temperatura Inicial

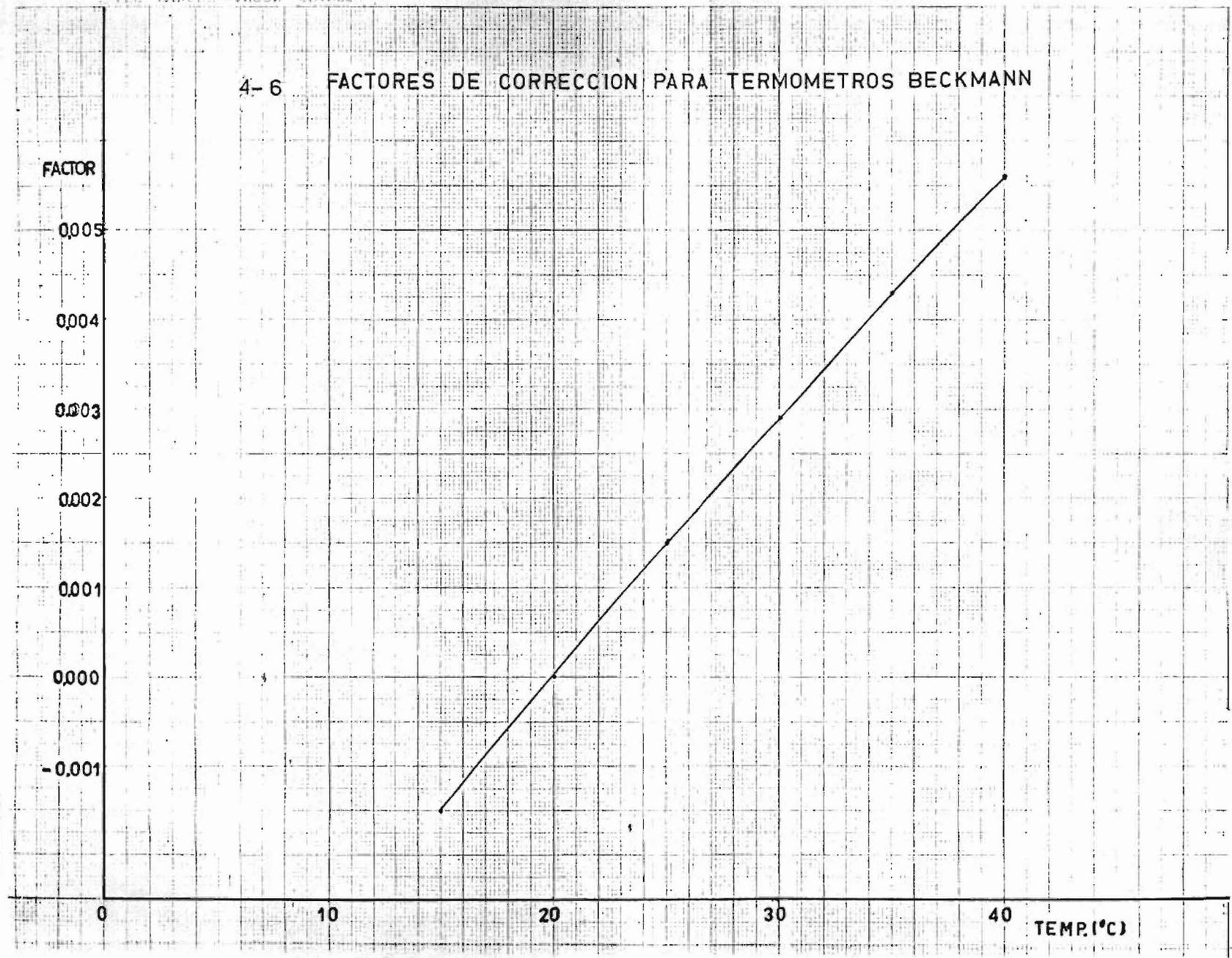
t_c = Temperatura Final

Para termómetros Beckmann:

$$\text{CVE} = K(t_c - t_a) \cdot (t_c + t_a + S_a - T) \quad (4-7)$$

donde:

4-6 FACTORES DE CORRECCION PARA TERMOMETROS BECKMANN



S = temperatura en °C para el cero de Beckmann; K, t_c , t_a y T como anteriormente.

$$\text{AJUSTE} = \text{Factor} (t_c - t_a) \quad (4-8)$$

TABLA 4-1 (Ver Fig. 4 - 6)

FACTORES DE CORRECCION PARA TERMOMETROS BECKMANN

FACTOR	TEMPERATURA (°C)
-0.0015	15
0.000	20
+0.0015	25
+0.0029	30
+0.0043	35
+0.0056	40

CALCULO DEL CALOR DE COMBUSTION. Se calcula el calor de com bu st ión de la siguiente fórmula:

$$\Delta H = \frac{t \cdot w - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (4-9)$$

4.7 DETERMINACION DE AZUFRE EN SOLIDOS.

La facilidad con que las muestras se queman completamente en la bomba de oxígeno, sin la pérdida de los productos de com b u st ión, da un método aceptable para la de te rm in ación de azu fre, halógenos y otros elementos. La bomba que acompaña al calorímetro es usada para muchos de estos procedimientos ana l ít icos y particularmente, para la de te rm in ación de azufre.

Como la de te rm in ación del calor de com b u st ión y la del azu fre, siguen el mismo procedimiento, ambas pueden hacerse con la -

misma muestra, recolectando los lavados de la bomba provenientes de la prueba calorimétrica y procediendo con la determinación de azufre. El método gravimétrico que se describe a continuación se recomienda como adecuado, pero cualquier otro método gravimétrico o volumétrico es aceptable.

4.8 AZUFRE EN COMBUSTIBLES SOLIDOS.

Recoger los lavados de la bomba después de la combustión de la muestra, si la muestra no ha sido usada para una prueba calorimétrica, dejar la bomba en el agua por no menos de 10 minutos después del encendido (el peso de la muestra no debe ser mayor de 1 gramo), luego retirar la bomba del agua y dejar escapar los gases hasta alcanzar la presión atmosférica, en un período no menor de un minuto.

Abrir la bomba y lavar todas las partes del interior, incluyendo la cápsula de combustión y los electrodos, con un frasco lavador conteniendo agua destilada y un mililitro de indicador naranja de metilo por litro de agua, lavar hasta que no se observe reacción ácida, recoger en un beaker. Si es necesario, usar un agitador para transferir cualquier precipitado. Si la muestra ha sido sometida a una prueba calorimétrica, titular los lavados con solución estándar de carbonato de sodio. Después de neutralizar, añadir un mililitro de hidróxido de amonio, hervir la solución y filtrar a través de un papel cualitativo rápidamente. Lavar el residuo y el papel filtro con agua destilada caliente

y añadir suficiente agua para llevar el volúmen a 250 ml.

Ajustar a una ebullición suave y agitar constantemente, - mientras se agregan 10 ml. de solución de cloruro de bario al 10% con una pipeta.

Continuar agitando por dos minutos, cubrir el beaker con - un vidrio de reloj, hasta reducir el volúmen a 75 ml., dejar que el precipitado sedimente durante una hora, mientras se en-fría. Filtrar a través de un papel filtro libre de cenizas y lavar con agua fría hasta que el filtrado esté libre de cloruros. Transferir el papel y el precipitado a un crisol previamente tarado, quemar el papel sin llamas y llevarlo a una temperatura necesaria (925°C), calentar hasta peso constante. Si el crisol ha sido puesto en una mufla eléctrica a temperatura ambiente y encendida en ese instante, el secado, quemado y calcinado se lleva a cabo a la velocidad adecuada.

Después que la ignición es completa, dejar enfriar el crisol a temperatura ambiente y pesar.

Determinar el peso exacto del sulfato de bario y calcular el porcentaje de azufre de la siguiente fórmula:

$$\text{AZUFRE (\%)} = \frac{\text{Peso del Ba}_2\text{SO}_4 \times 13.734}{\text{Peso de la muestra}} \quad (4-10)$$

4.9. CALIBRACION DEL CALORIMETRO.

Para todas las pruebas se utilizó ácido benzoico como patrón primario, además se empleó un termómetro diferencial Beckmann (Fig. 4-2A), haciéndose las correcciones para este tipo de termómetros. En cada prueba se ajustó la altura de la columna de mercurio para dicho termómetro, debido a que la temperatura ambiental no era la misma en todas las pruebas, ya que con un cambio de 1°C en la temperatura ambiente, la columna de mercurio de ese termómetro se puede salir de la escala numérica.

La presión con que se trabajó en todas las pruebas fué siempre la misma, es decir, 25 atmósferas.

DETALLES COMPLETOS PARA LA PRIMERA DETERMINACION:

DATOS: Tabla 4-2 (Ver Fig. 4-7).

Para tomar la medida en centímetros del alambre no quemado se hace una relación en peso con 10 centímetros de dicho alambre. El peso promedio de estos 10 cms. es de 0.0163 grs.

$$m = 1.0102 \text{ grs.} \quad T_{\text{H}_2\text{O}} = 29^{\circ}\text{C} \quad T_{\text{amb}} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$C_1 = 8.9 \text{ ml.} \quad C_3 = 6.01 \text{ cms.}$$

Cuando tenemos muestras de ácido benzoico, el porcentaje de azufre en la muestra será siempre cero, por lo tanto,

$$C_2 = e_2 = 0$$

Recordando que cuando la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente sea mayor de 1.5°C hay que calcular la co

rección al vástago emergente (CVE).

El objeto de la calibración con ácido benzoico es para encontrar el equivalente energético del calorímetro, el cual se utilizará en los cálculos de otras muestras que se desconoce su poder calorífico (como en el caso de la basura).

Los datos de tiempo y temperatura durante la ignición son:

Tiempo (min.)	Temp. (°C)	Tiempo (min)	Temp. (°C)
0.00	1.260	10.75	3.855
1.00	1.260	11.00	3.860
2.00	1.261	11.25	3.870
3.00	1.261	11.50	3.875
4.00	1.261	11.75	3.880
5.00	1.261	12.00	3.882
5.50	1.261	12.25	3.887
6.00	1.261	12.50	3.890
7.00	2.300	13.00	3.890
7.25	2.580	13.25	3.891
7.50	2.900	13.50	3.892
7.75	3.180	13.75	3.894
8.00	3.320	14.00	3.894
8.25	3.450	14.25	3.895
8.50	3.540	14.50	3.895
8.75	3.620	14.75	3.895
9.00	3.680	15.00	3.894
9.25	3.720	15.25	3.894
9.50	3.770	15.50	3.893
9.75	3.790	15.75	3.893
10.00	3.815	16.00	3.892
10.25	3.830	17.00	3.891
10.50	3.845	18.00	3.890

TABLA 4-2 Ver Fig. 4-7

CORRECCIONES TERMOMETRICAS.

$$t_a = 1.261^{\circ}\text{C} \quad t_c = 3.890^{\circ}\text{C} \quad \text{Factor } 30^{\circ}\text{C} = 0.0029$$

Sustituyendo valores en ecuación 4-8, tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Ajuste} &= 0.0029 (3.890 - 1.261) \\ &= 0.00762^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Teniendo los datos siguientes:

$$t'_a = 1.261 + 0.00762 = 1.269^{\circ}\text{C} \quad a = 6 \text{ min.} \quad b = 7.4 \text{ min.}$$

$$r_1 = 0.0002^{\circ}\text{C}/\text{min.} \quad r_2 = 0.0020^{\circ}\text{C}/\text{min.} \quad c = 12.5 \text{ min.}$$

De la ecuación 4-3 se deduce lo siguiente:

$$t = 3.890 - 1.269 - 0.0002 (7.4 - 6) - 0.0020 (12.5 - 7.4) = 2.6105^{\circ}\text{C}$$

De acuerdo a la ecuación 4-2, obtenemos:

Los datos necesarios son:

$$H = 6,318 \text{ cal./gr.} \quad m = 1.0102 \text{ grs.} \quad e_1 = 8.9 \text{ cal.}$$

$$e_3 = 13.823 \text{ cal.} \quad \text{sustituyendo estos datos tenemos:}$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{(6.318 \text{ cal/gr}) \times 1.0102 \text{ grs} + 8.9 \text{ cal} + 13.823 \text{ cal.}}{2.6105^{\circ}\text{C}} \\ &= 2,453.62 \text{ cal./}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Para la segunda y tercera determinación se procede de la misma manera; los datos ya tabulados de estas dos determinaciones se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 4 - 3 (Ver Figs. 4 - 8 y 4 - 9)

Datos y Cálculos	Segunda Determinación	Tercera Determinación
m	0.9203	0.9978
a	6	6
b	7.36	7.4
c	13	12

Datos y Cálculos	Segunda Determinación	Tercera Determinación
t_a	0.830	2.320
t_c	3.260	4.918
T_{agua}	27.5	25
T_{agua}	28	27
C_1	7.1	1.9
C_3	5.03	5.22
t'_a	0.836	2.325
t'_c	0.000	4.928
r_1	0.0035	0.00295
r_2	0.002	0.00325
T	0.000	5.2
CVE	0.000	0.0103
t	2.4079	2.584
e_1	7.1	1.9
e_3	11.569	12.006
W	2.422.49	2,445.05

Con estas tres determinaciones se calcula un equivalente energético medio, para lo cual se suman los tres valores y se divide entre tres.

$$\bar{W} = (2,453.62 + 2,422.49 + 2,445.05) \div 3 = 2,440.4 \text{ Cal/}^\circ\text{C}$$

4.10 PODER CALORIFICO DE LA BASURA.

PRIMERA DETERMINACION

DATOS: TABLA 4-4 (Ver Fig. 4-10)

$$m = 0.1311 \text{ grs. } T_{\text{H}_2\text{O}} = 25.5 \text{ }^\circ\text{C} \quad T_{\text{amb.}} = 27.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 P &= 25 \text{ atm.} & C_1 &= 0.3 \text{ ml} & C_2 &= 0.100 \% \\
 C_3 &= 4.66 \text{ cms.} & e_1 &= 0.3 \text{ cal.} & e_2 &= 14 \times C_2 \times m \\
 e_3 &= 10.718 \text{ cal.} & & & &= 14 \times 0.1 \times 0.1311 \\
 & & & & &= 0.365 \text{ cal.}
 \end{aligned}$$

Tiempo (min.)	Temp. °C)	Tiempo (min.)	Temp. (°C)
0.00	2.647	12.50	2.910
1.00	2.651	13.00	2.911
2.00	2.660	13.50	2.915
3.00	2.667	14.00	2.919
4.00	2.670	14.50	2.920
5.00	2.672	15.00	2.921
5.50	2.680	15.50	2.922
6.00	2.680	16.00	2.926
6.50	2.710	16.50	2.928
7.00	2.717	17.00	2.930
7.50	2.819	17.50	2.931
8.00	2.850	18.00	2.933
8.50	2.868	18.50	2.938
9.00	2.878	19.00	2.940
9.50	2.883	20.00	2.945
10.00	2.890	21.00	2.949
10.50	2.896	22.00	2.952
11.00	2.900	23.00	2.956
11.50	2.902	23.50	2.960
12.00	2.906	24.00	2.964

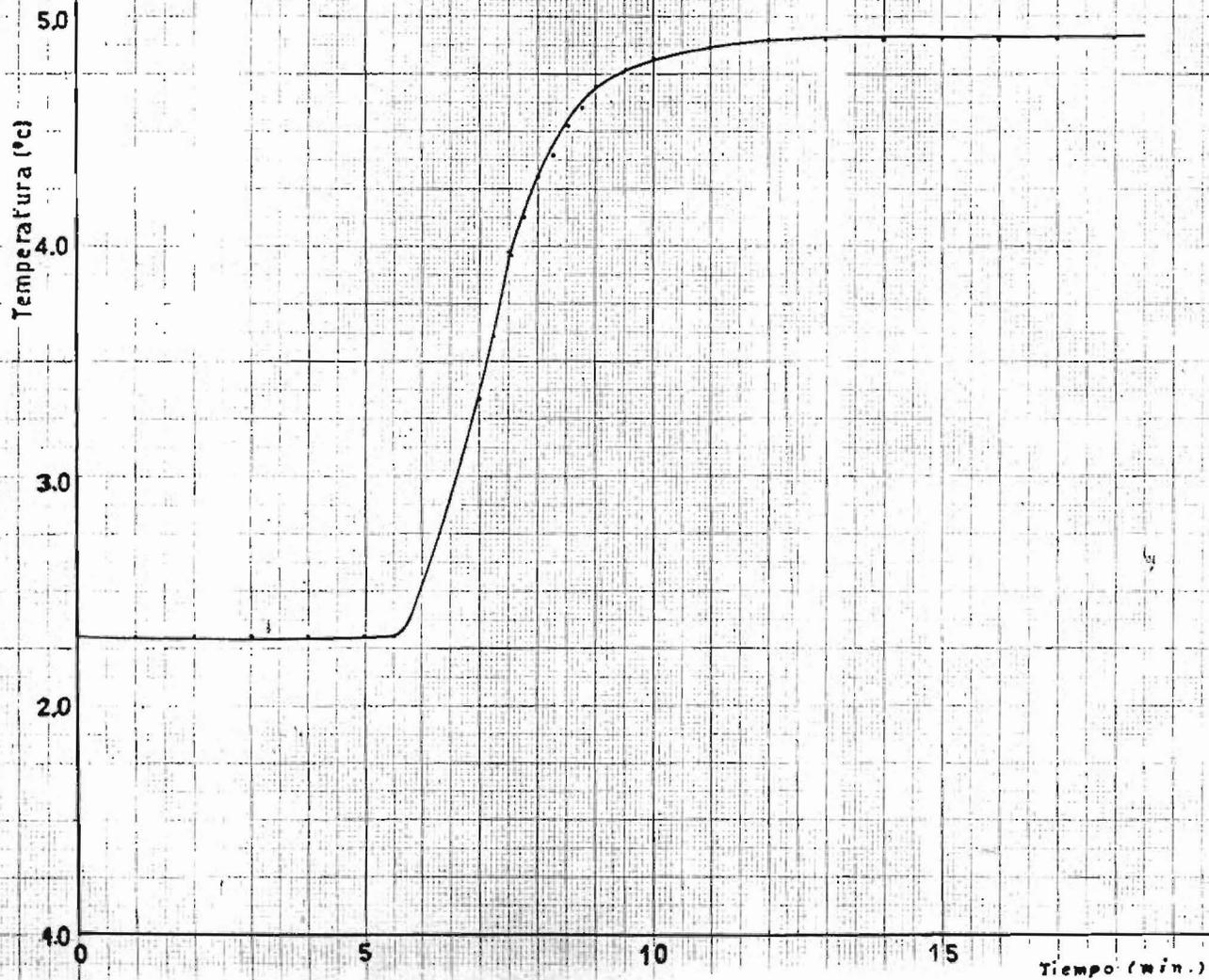
OPERACIONES TERMOMETRICAS

$$t_a = 2.680 \text{ °C} \quad t_c = 2.900 \text{ °C}$$

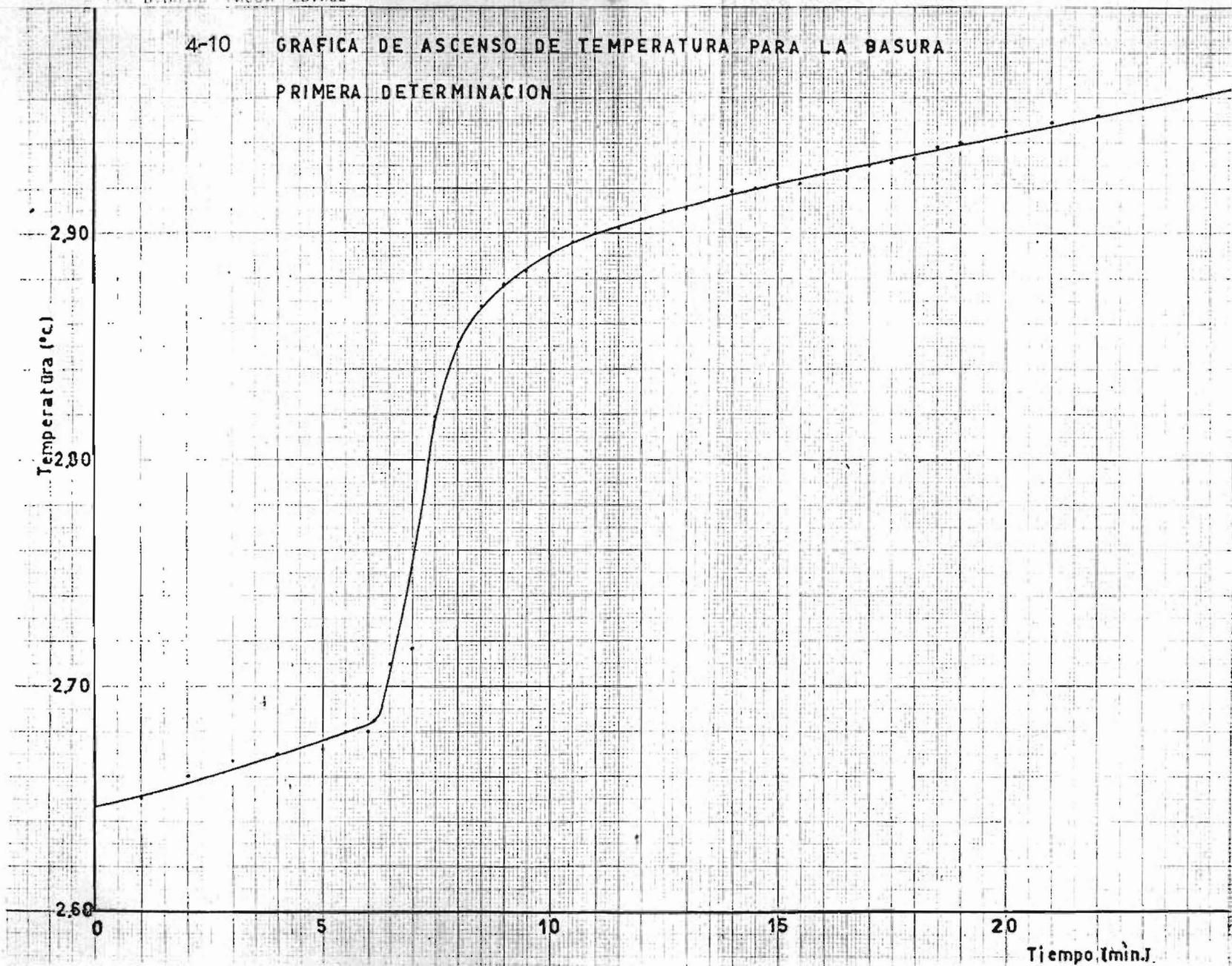
Sustituyendo en ecuación 4-8

$$\begin{aligned}
 \text{Ajuste} &= 0.0029 (2.900 - 2.680) \\
 &= 0.000482 \text{ °C}
 \end{aligned}$$

4-9. CURVA DE CALIBRACION DEL CALORIMETRO CON ACIDO BENZOICO ESTANDAR
COMO PATRON TERCERA DETERMINACION



4-10 GRAFICA DE ASCENSO DE TEMPERATURA PARA LA BASURA PRIMERA DETERMINACION



De la ecuación 4-7

$$k = 0.00016 \quad s = 22.8^{\circ}\text{C} \quad T = 2.9 + 2.647 = 5.547^{\circ}\text{C}$$

$$t_c = 2.900^{\circ}\text{C} \quad t_a = 2.680^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{CVE} &= 0.00016 (2.900 - 2.680) (2.900 + 2.680 + 22.8 - 5.547) \\ &= 0.00080 \end{aligned}$$

$$t'_a = 2.680 + 0.000482 = 2.6805^{\circ}\text{C}$$

$$t'_c = 2.900 + 0.0008 = 2.9000^{\circ}\text{C}$$

En la ecuación 4-3 sustituimos:

$$r_1 = 0.0055^{\circ}\text{C}/\text{min} \quad r_2 = 0.0049^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

$$a = 6.0 \text{ min} \quad b = 7.47 \text{ min} \quad c = 11 \text{ min.}$$

$$\begin{aligned} t &= 2.9010 - 2.6805 - 0.0055(7.47 - 6) - 0.0049(11 - 7.47) \\ &= 0.195^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

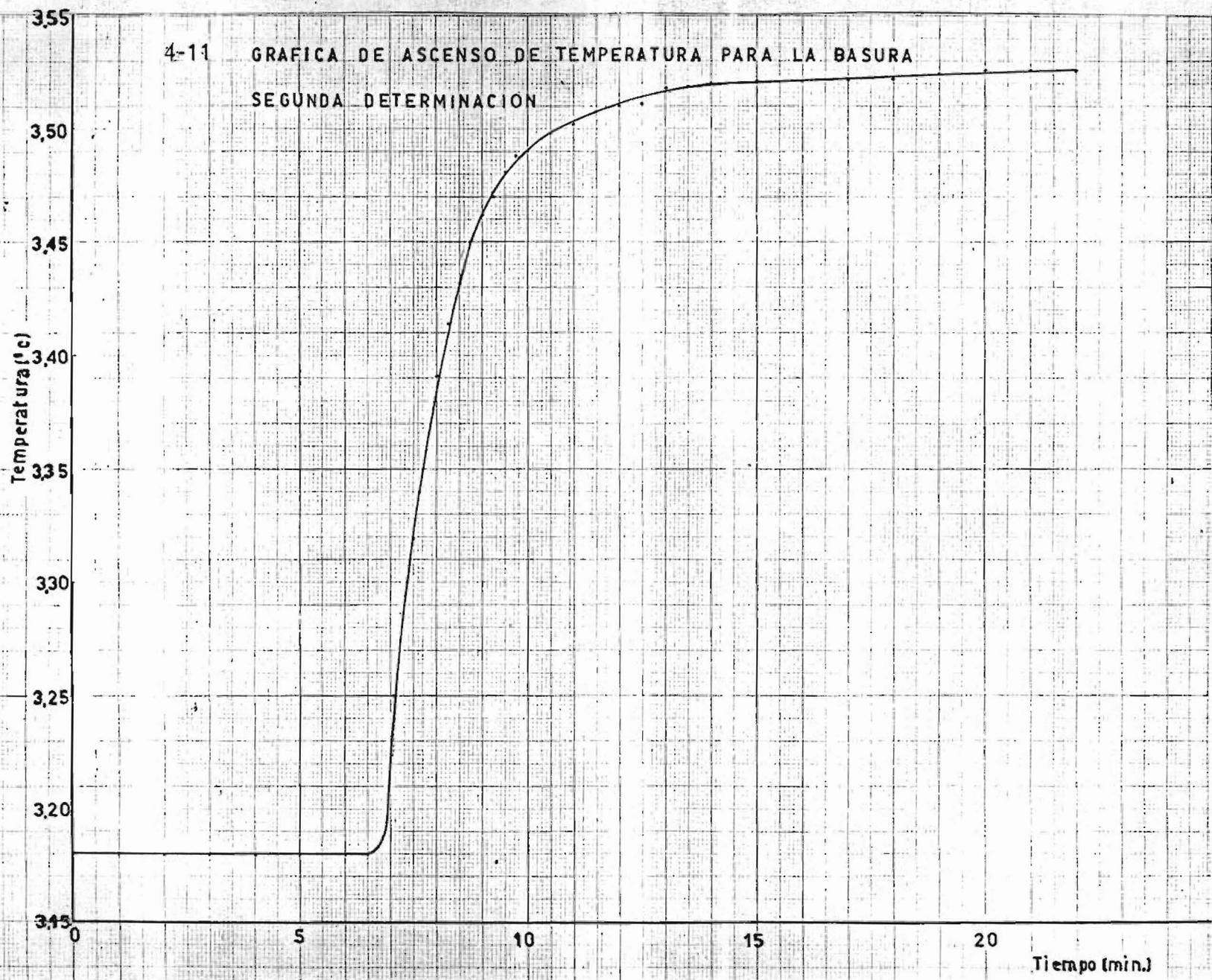
De la ecuación 4-9

$$\begin{aligned} H &= \frac{0.195 \times 2.442.53 - 0.3 - 0.365 - 10.718}{0.1311} \\ &= 3.543.06 \text{ cal/gr.} \\ &= 6.377.51 \text{ BTU/lb} \end{aligned}$$

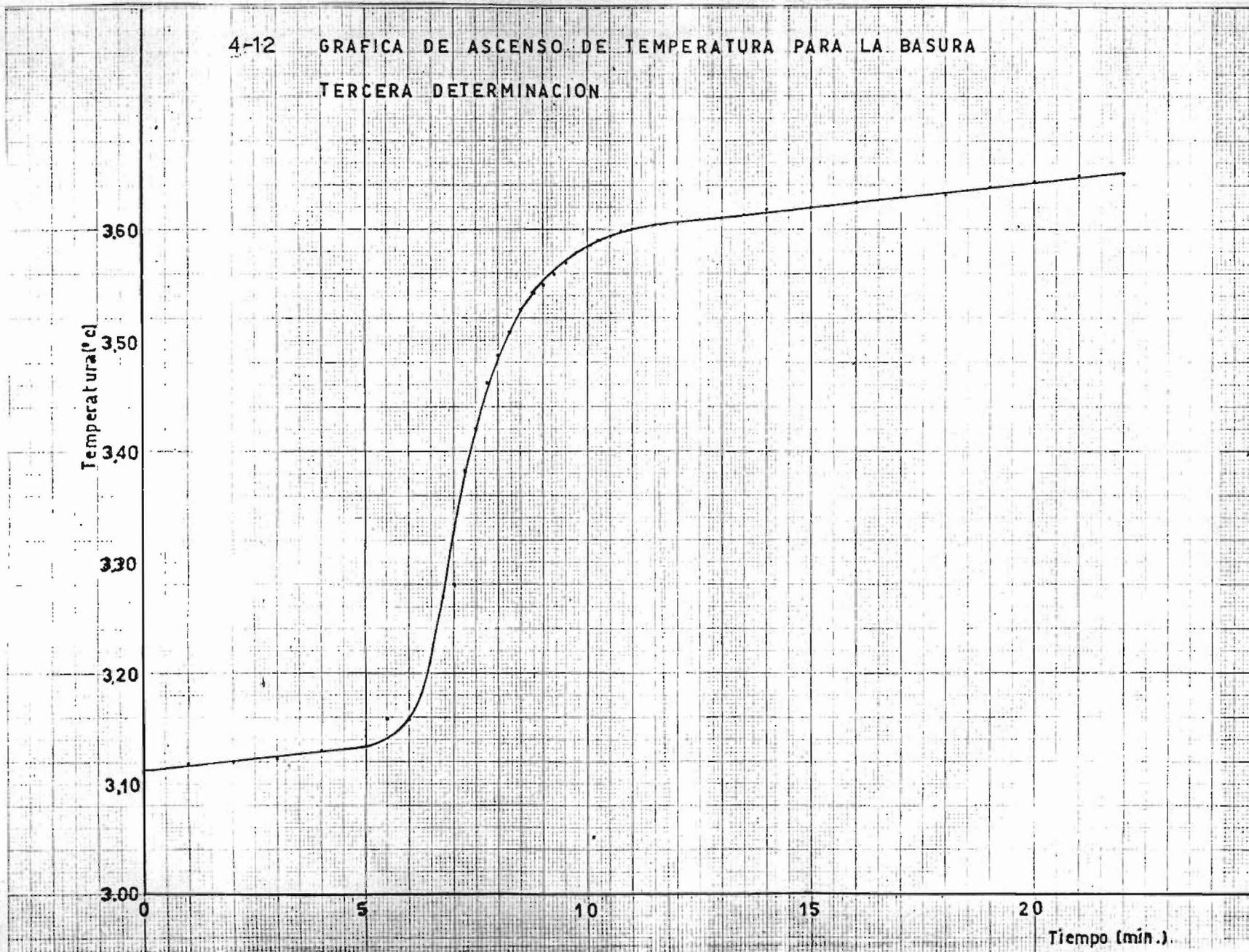
TABLA 4-5 (Ver Figs. 4-11, 4-12, 4-13, 4-14 y 4-15)

Datos y Cálculos	DETERMINACIONES				
	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
m	2.2114	0.2943	0.2925	0.2988	0.3856
a	6.50	6.00	6.00	7.75	6.00
b	7.95	7.49	7.54	10.00	7.68
c	14.00	12.00	12.50	13.50	16.00

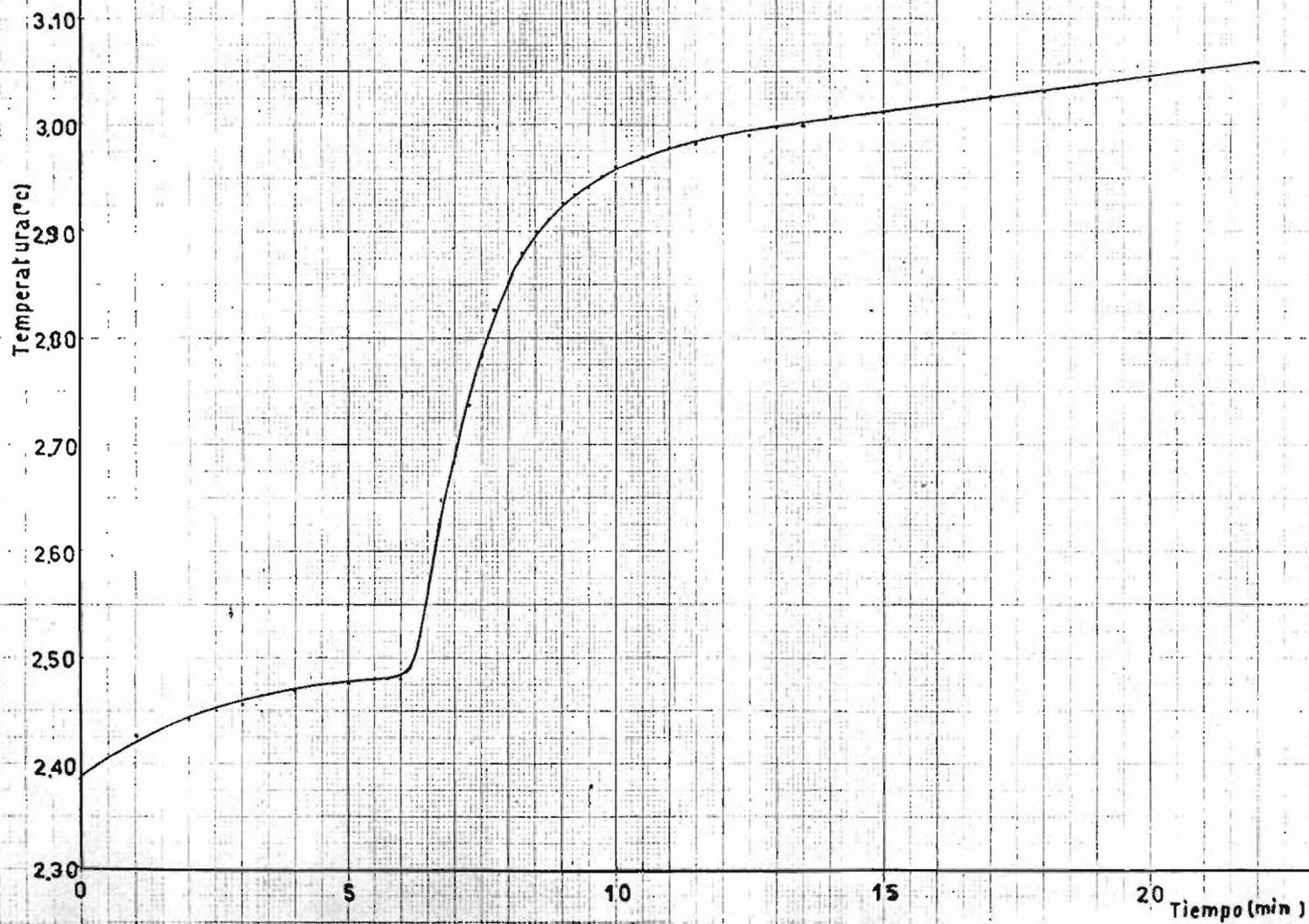
4-11 GRAFICA DE ASCENSO DE TEMPERATURA PARA LA BASURA
SEGUNDA DETERMINACION



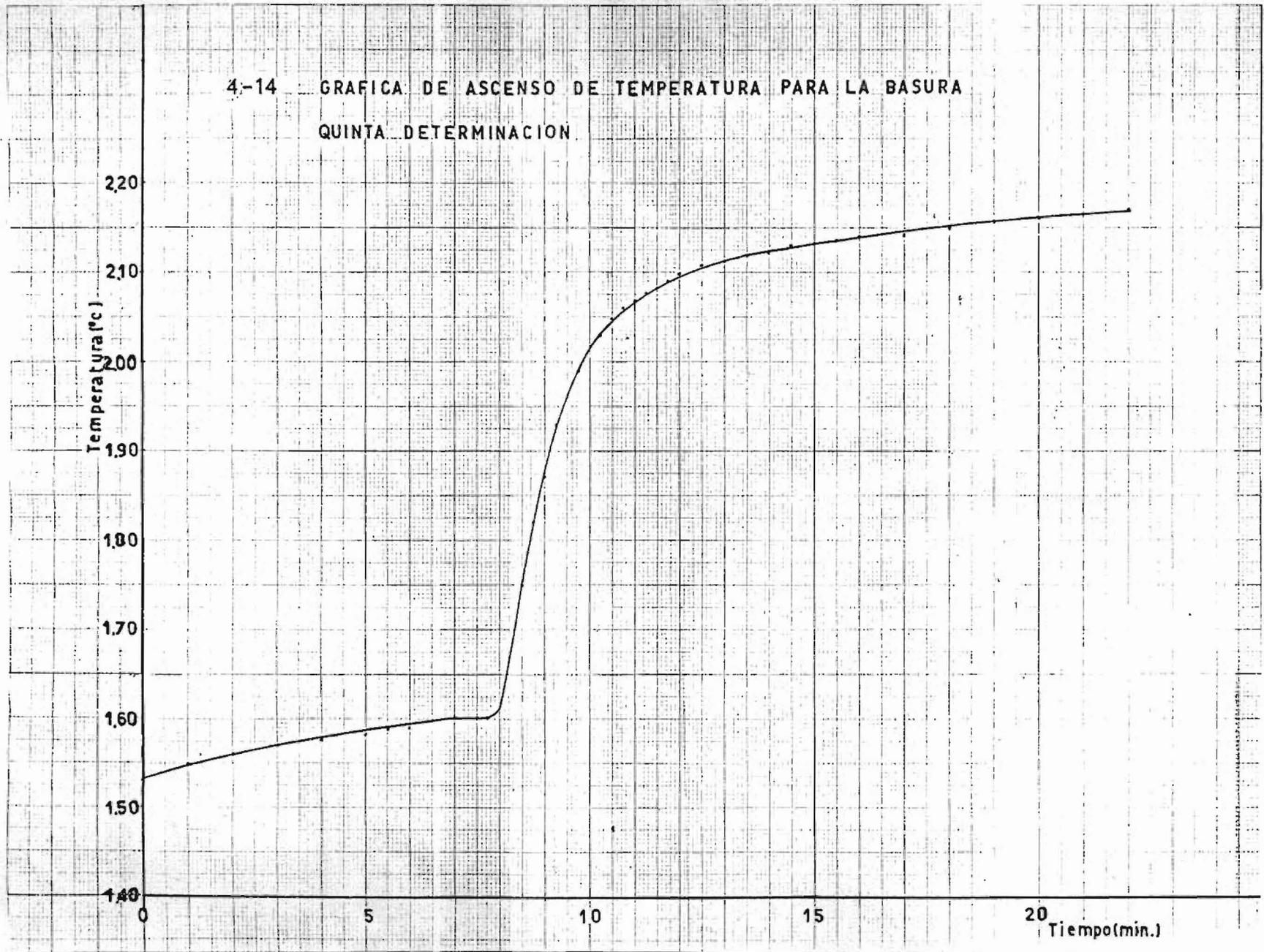
4-12 GRAFICA DE ASCENSO DE TEMPERATURA PARA LA BASURA
TERCERA DETERMINACION



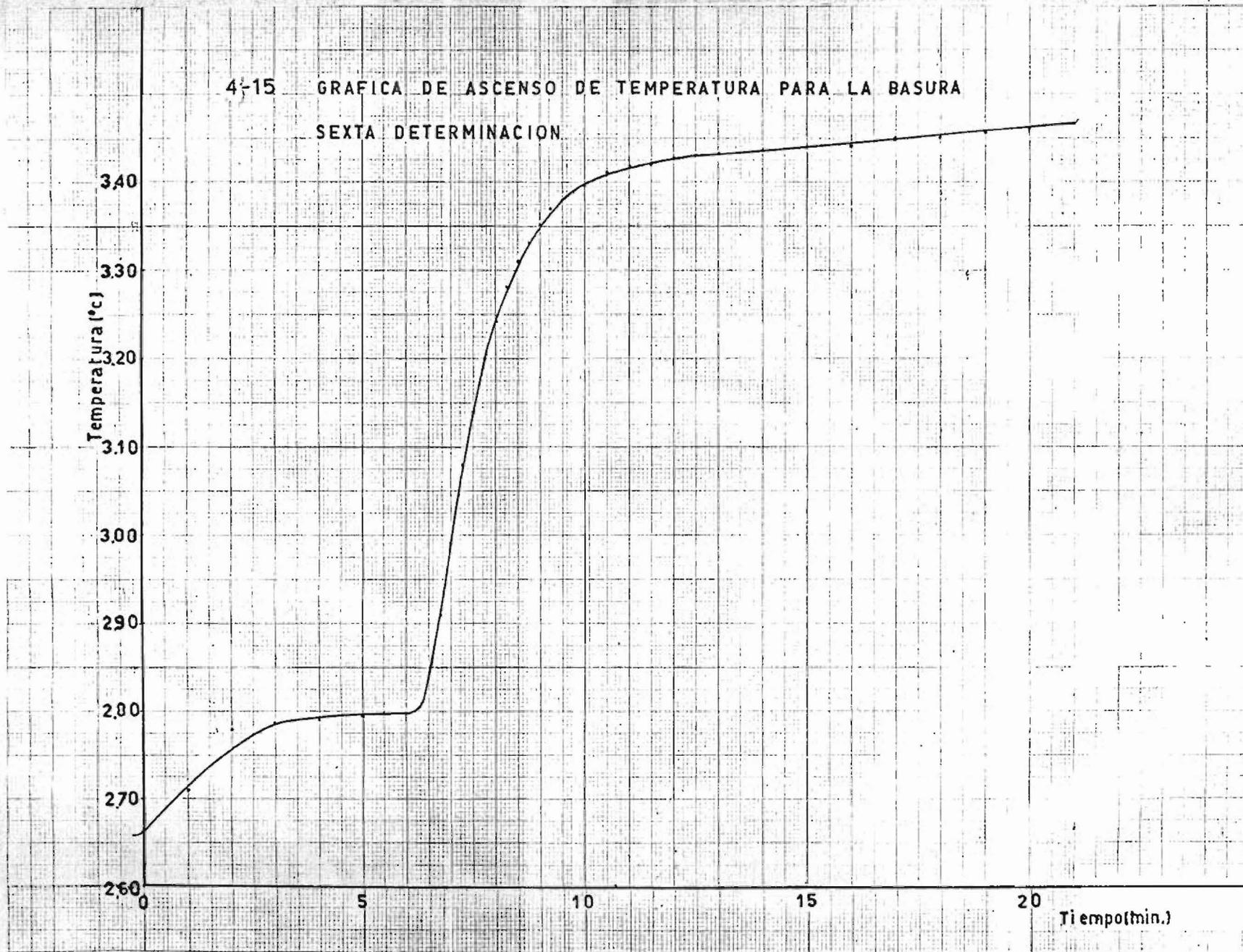
4-13 GRAFICA DE ASCENSO DE TEMPERATURA PARA LA BASURA
CUARTA DETERMINACION



4-14 GRAFICA DE ASCENSO DE TEMPERATURA PARA LA BASURA
QUINTA DETERMINACION



4-15 GRAFICA DE ASCENSO DE TEMPERATURA PARA LA BASURA
SEXTA DETERMINACION



Datos y Cálculos	DETERMINACIONES				
	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
t_a	3.180	3.139	2.480	1.601	2.798
t_c	3.520	3.605	2.990	2.120	3.442
T_{agua}	26.00	26.00	25.00	24.00	25.00
$T_{\text{amb.}}$	26.00	28.00	29.00	27.50	28.00
C_1	1.10	1.30	2.10	0.10	0.20
C_2	6.57	4.78	2.85	0.88	0.82
C_3	5.58	5.52	4.05	5.77	6.93
t'_a	3.180	3.140	2.481	1.602	2.799
t'_c	3.520	3.606	2.992	2.122	3.444
r_1	0	0.005	0.015	0.0089	0.0228
r_2	0.00075	0.0046	0.0072	0.0057	0.0048
T	0	6.009	5.288	4.432	5.561
CVE	0	0.00175	0.00188	0.00180	0.00242
t	0.335	0.438	0.452	0.479	0.635
e_1	1.10	1.30	2.10	0.10	0.20
e_2	19.44	19.71	11.67	3.69	4.41
e_3	12.83	12.70	9.32	13.27	15.94
H	2800.28	2515.80	2693.89	3855.04	3965.53

Con estas determinaciones se calculó un poder calorífico medio, para lo cual se sumaron los seis valores de H y se dividió entre seis, obteniéndose un valor de 3728.93 cal/gr. = 6712.08 BTU/lb

4.11 COMPARACION DEL PODER CALORIFICO DE VARIOS MATERIALES CON LA BASURA.

Comparando el ΔH promedio de la basura con el de algunos otros materiales, a los cuales se les ha obtenido su poder ca

lorífico, se tiene:

Material	H (Cal/gr)
Broza del café	5.865
Granza de café	4.401
Estopa de coco	4.231
Bagazo de caña	4.155
Basura	3.729
Granza de arroz	3.393

como se puede observar, el poder calorífico de la basura resulta un poco más bajo que algunos otros materiales pero hay que aclarar que este poder calorífico de la basura que se encontró, deberá ser calculada con más pruebas y diferentes composiciones para obtener un valor más confiable. A pesar de ello, es conveniente su utilización debido a que se resuelve un problema ecológico y una necesidad de energéticos.

La evaluación experimental del poder calorífico tal como aparece en este capítulo da un valor promedio de 6,712 BTU/lbs comparándolo con el de petróleo (Fuel Oil) que es de 150.000 BTU/galón, se observa que es de 4% de este valor, por lo que el uso de la basura como combustible considerando la producción diaria que es de 888.000 lbs/día daría, un ahorro de 35,520 galones del Fuel oil/día que a $\text{¢ } 0.95$ Gal (precio actual), representa $\text{¢ } 33.744$ /día ahorrados en divisas, lo que hace un total de $\text{¢ } 12.316.560$ al año. Este proyecto vale la pena que sea evaluado a nivel industrial o gubernamental, -

considerando que se soluciona el problema de la disposición de desperdicios y al mismo tiempo se genera dinero.

4.12 ESTUDIOS Y CONCLUSIONES EFECTUADOS

EN BRASIL (26)

Se han efectuado estudio en ciudad de Puerto Alegre, Brasil, esta ciudad cuenta con una central termo-eléctrica de 4 unidades turbo-generadoras con una potencia de 18.000 Kw cada una de estas unidades fueron construidas para consumir carbón en bruto que deja 50 % de cenizas con poder calorífico de 3.200 - 3.300 Kcal/ Kg. Las condiciones del vapor generado son presión efectiva de 56 atm, con presión máxima de 67 atm, temperatura marina de 480°C.

Bajo estas condiciones el consumo de carbón como combustible sería de 1.140 a 1,033 Kg/Kw-h o sea 3,000 a 3.300 Kcañ/kg con cerca del 50 % de ceniza. Como el poder calorífico de la basura es equivalente al del carbón se hicieron pruebas con mezclas de las dos en diferentes proporciones y la conclusión a que llegaron los especialistas fué que si se usa la basura como combustible único provocaría corrosión en los tubos de la caldera, por tratarse de un material rico en oxígeno cuya combustión generaría ácidos orgánicos. Pero si se quema mezclado con carbón, la presencia de cenizas neutraliza los ácidos formados y de esta manera el problema de la corrosión se soluciona.

CAPITULO 5
ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico se ha hecho evaluando únicamente rentabilidad bruta y basado sobre una recolección de 400 Ton. de basura por día. Como la escasez de energéticos y el alto precio de ellos es el factor más importante, se ha considerado utilizar un 80% de la basura para fabricación de Metano y el 20% para fabricación de Compost. De lo anterior se tiene:
Cantidad de Basura utilizada para fabricación de Metano

$$400 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \times 0.8 = 320 \text{ Ton/día}$$

Rendimiento del Proceso (experimental)

34 m³ de CH₄ /Ton de basura procesada entonces:

$$320 \text{ Ton/día} \times 34 \text{ m}^3/\text{Ton} = 10880 \text{ m}^3 \text{ de CH}_4/\text{día}$$

$$10880 \text{ m}^3/\text{día} \text{ de CH}_4 \times 35.35 \text{ ft}^3/\text{m}^3 = 384608 \text{ ft}^3 \text{ de CH}_4/\text{día}$$

$$384608 \text{ ft}^3 \text{ de CH}_4/\text{día} \times 365 \text{ días/año} = 140,1381,920 \text{ ft}^3 \text{ de CH}_4 \text{ por año.}$$

Para igualar la energía de 1 ft³ de Propano se necesitan aproximadamente 2 ft³ de CH₄. El ft³ de Propano tiene un valor de \$ 12.00. Entonces:

$$140,1381,920 \text{ ft}^3 \text{ CH}_4/\text{año} \times \text{ft}^3 \text{ Propano}/2 \text{ ft}^3 \text{ CH}_4 = 70,190,960 \text{ ft}^3 \text{ Propano/año}$$

$$70,190,960 \text{ ft}^3 \text{ propano/año} \times \$ 12./\text{ft}^3 \text{ Propano} = \$ 842,291,520/\text{año} \quad (1)$$

Cantidad de Basura utilizada para Fabricación de Compost.

$$400 \text{ Ton/día} \times 0.2 \times 365 \text{ días/año} = 29200 \text{ Ton/año}$$

Rendimiento del Proceso: 50%

$$29200 \text{ Ton/año} \times 0.5 = 14600 \text{ Ton de Compost/año}$$

$$14600 \times \text{¢ } 33/\text{Ton} = \text{¢ } 481,800/\text{año} \quad (2)$$

Sumando a la cifra anterior los ingresos provenientes de la comercialización como abono orgánico de los residuos en la fabricación de Metano, se tiene con una eficiencia del 18% peso (experimental)

$$320 \text{ Ton/día} \times (1-0.18) \times 365 \text{ días/año} = 95776 \text{ Ton.Abono/año}$$

$$95776 \text{ Ton.Abono/año} \times \text{¢ } 33/\text{Ton} = \text{¢ } 3,160,608/\text{año} \quad (3)$$

Ingresos Totales: Sumando (1), (2), y (3).

$$\text{¢ } 842,291,520 + 481,800 + 3,160,608 = \text{¢ } 845,933,928/\text{año}$$

Ambos procesos son factibles de realizar en El Salvador, sólo resta hacer un estudio económico completo y llevarlo a la realidad, pero las bases quedan sentadas con este estudio.

C O N C L U S I O N E S Y

O B S E R V A C I O N E S

- 1) En este estudio, se trata de solucionar un problema ecológico, como es el de la contaminación ambiental provocada por la basura y a la vez encontrarle métodos de industrialización a los materiales contenidos en ella.
- 2) La industrialización de la basura en abono orgánico es una buena solución al problema de contaminación ambiental.
- 3) El abono orgánico disminuirá en parte la utilización de los fertilizantes químicos, ya que se utilizará como complemento de éstos.
- 4) El abono orgánico es de gran ayuda para los suelos, ya que regula su estructura, retiene la materia nutritiva y el agua.
- 5) La energía, en forma de vapor, recuperada de la incineración de la basura puede ser utilizada en la generación de energía eléctrica para abastecimiento industrial y doméstico, solucionando en parte el problema de la escasez de energéticos.
- 6) En la producción de gas metano, se indica que por cada tonelada de basura municipal tratada, se puede obtener aproximadamente 34 mt^3 de metano (Valor obtenido experimentalmente).
- 7) Con la producción de gas metano a partir de la basura, se genera una nueva fuente de energía, ya que puede ser comparado con el gas propano, el cual posee gran demanda.
- 8) Debido a limitantes de equipo y materiales químicos, algu -

nas alternativas no fueron estudiadas tan completamente como otras.

- 9) La cantidad de basura, para la formación de los cerros en la elaboración del compost, fué limitada por factores ajenos al grupo de trabajo, esto incidió en la reducción de tiempo en que se mantuvo la temperatura máxima (óptima para la proliferación de bacterias termofílicas).
- 10) Los perfiles de temperatura en la fabricación de compost, resultaron diferentes a la curva típica, debido a que los cerros no tenían el tamaño recomendado (1.2 m. de altura) por causas ajenas a nosotros ocurridas cuando el proceso se había iniciado, el material no pudo ser humedecido, ni volteado con la regularidad efectuada al inicio.
- 11) En el digestor no se logró mantener constante la temperatura, debido a que el recipiente, por no ser metálico, no absorbió la energía solar necesaria para que el proceso no se inhibiera por las noches.
- 12) Las muestras a las que se les evaluó el poder calorífico en la bomba calorimétrica de Parr, fueron parte de un solo cuarteo pero eran representativas con respecto a la composición típica de la basura en nuestro país.

R E C O M E N D A C I O N E S

- 1- En este trabajo se ha investigado factibilidad de los procesos, a nivel laboratorio; para evaluarlos en su totalidad es necesario efectuar un estudio económico completo para conocer su rentabilidad.
- 2- Es necesario que el Ministerio de Agricultura y Ganadería, realice una campaña de divulgación, sobre los beneficios del uso del Compost en las tierras, y de esta manera hacer conciencia de ello, en los agricultores.
- 3- Para El Salvador, es conveniente un digestor Batch múltiple conectado a un almacenamiento de gas común para todas las etapas, siendo entonces posible recargar individualmente cada digestor en una secuencia escalonada, garantizando así una alimentación constante de gas.
- 4- Por los resultados obtenidos en este trabajo, se concluye que la basura ofrece una gran versatilidad como materia prima para diferentes procesos, todos ellos factibles de desarrollo en El Salvador, por lo que se sugiere que las Alcaldías Municipales y/o el Gobierno Central se interesen en hacerlos una realidad a nivel Industrial.

GLOSARIO

- ACIDOS GRASOS : Son los ácidos orgánicos de fórmula general R - COOH.
- AEROBICO: Proceso biológico comúnmente es el rompimiento de materia--
les orgánicos, involucrando microorganismos que requieren oxígeno.
- ALIMENTACION: es la basura entrando o corriente entrando al digestor.
- ANAEROBICO: Proceso biológico que no requiere oxígeno; realmente el -
crecimiento de microorganismos estrictamente anaeróbicos pueden ser -
inhibidos por el oxígeno.
- BACTERIAS MESOFILICAS: son aquellas bacterias que crecen aparentemen-
te mejor en un rango de temperatura entre 30-40°C.
- BACTERIAS METANOGENICAS: Son aquellas bacterias que transforman los -
ácidos volátiles en gas Metano.
- BACTERIAS TERMOFILICAS: Son aquellas bacterias que parecen funcionar -
mejor a temperaturas más altas (entre 40 - 60°C).
- BIO-GAS: Es el término usado para definir la mezcla gaseosa producida
durante la digestión anaeróbica. La mezcla es principalmente compuesta
de Metano y dióxido de carbono.
- BUFFER: Es la capacidad de una solución para resistir los cambios de
pH, cuando se añaden pequeñas cantidades de ácidos ó álcalis.
- CARBOHIDRATOS: Son compuestos orgánicos formado solamente de carbono -
(C), hidrógeno (H), y oxígeno (O).
- CELULOSA: Es un carbohidrato fibroso; forma la masa de las paredes ce-
lulares en todas las plantas verdes.
- COMPOSICION DE ALIMENTACION: Describe la naturaleza de la alimentación
en forma global y particular; si se necesita mayor precisión con un a-

nálisis químico del material alimentado.

- COMPOST: Abono orgánico proveniente de la degradación de desechos putrecibles.
- CULTIVO BACTERIAL: Una población de bacterias de una o más especies, desarrolladas especialmente para estudios experimentales.
- DEGRADACION: Ver transformación zimotérmica.
- DESECHO NO PUTRECIBLE: Materia que no puede ser degradada por transformación zimotérmica.
- DESECHO PUTRECIBLE: Sólido que puede ser degradado por transformación zimotérmica.
- DIGESTION ANAEROBICA: Es la estabilización de material orgánico por -- bacterias que no requieren oxígeno, indicado para el desarrollo de organismos estrictamente anaeróbicos (que pueden ser inhibidos por el oxígeno).
- DIGESTION BATCH: En un proceso de digestión batch, el material a ser digerido, es cargado dentro del digester al inicio del proceso. El digester es entonces sellado y el contenido puesto a fermentar. Los lodos completamente digeridos pueden ser removidos y el tanque ser recargado.
- DIGESTION CONTINUA: Involucra la alimentación continua de basura, con la remoción del volumen equivalente de basura tratada (lodos digeridos).
- DIGESTOR: Recipiente cilíndrico, sellado, en donde se efectúa la hidrogenación por medio de bacterias en los desechos orgánicos para producir metano.
- ESPUMA NATA. Es el licor sobrenadante que aparece después de un período de asentamiento de lodos.

- FERMENTACION: Es un proceso de cambio químico en la materia orgánica obtenido por organismos vivientes.
- FILTRO BODEN: Es una pila de paredes delgadas formada por un material sólido fino y poroso, utilizado para deodorizar por aereación y absorción en el filtro, con una subsecuente descomposición y regeneración microbiana.
- INHIBICION: Ciertos elementos o compuestos (normalmente metales), que son esenciales, en pequeñas concentraciones, pero pueden retardar o prevenir el crecimiento y metabolismo de algún organismo si están presentes a altas concentraciones o "niveles inhibidores".
- LIGNINA: Está presente en plantas y árboles viejos en los cuales constituye el 20-30% de la madera. Es un compuesto orgánico complejo, altamente fuerte y resistente a la degradación bacteriológica.
- LODOS DIGERIDOS: Es el residuo remanente que se obtiene después de la digestión, conteniendo algunos sólidos no digeridos y materia orgánica estabilizada.
- MAMPOSTERIA: Construcción hecha a base de ladrillo y concreto en forma de paredes.
- MICROORGANISMOS: Son organismos microscópicos responsables de la digestión anaeróbica.
- NUTRIENTES: Se refiere a los elementos y compuestos presentes en los lodos digeridos o en efluente, los cuales son necesarios para el crecimiento de las plantas.
- PANELBOARD: Clase de tablas fabricadas por prensado de partículas pequeñas de un material celulósico, aglutinadas con resinas.

- PAPEL PLASTICO: Desechos de bolsas de polietileno, o polipropileno, de un espesor menor de 1/10 pulgadas.
- PH: Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Una escala de 0 a 14 es utilizada para expresar la concentración del ión hidrógeno.
- PIROLISIS: Es la incineración de la basura al aire libre.
- PROTEINAS: Son compuestos orgánicos conteniendo carbono, hidrógeno, oxigeno y nitrógeno (y algunas veces azufre y fósforo).
- RELACION C/N: Es la razón en peso entre el Carbono y el Nitrógeno, generalmente posee un valor de 20-30 a 1, que es considerado como el mejor valor para la digestión anaeróbica. En la transformación aeróbica el valor es 10-20 a 1.
- SOLIDOS VOLATILES: O materia volátil, es la porción de una muestra sólida que se volatiliza cuando ésta se calienta a 600°C. Es una medida de la porción orgánica de la mezcla que se evapora, dejando las cenizas - como parte sobrante.
- SUSTRATO: Es el principal nutriente (frecuentemente es un componente específico) usado por las bacterias para su crecimiento y metabolismo.
- TRANSFORMACION ZIMOTERMICA: Proceso biológico de degradación de mate-
ria orgánica efectuada por bacterias
- TROMEL: Tamiz cilíndrico, incorporado a la salida de un digestor rotativo en el sistema Fuji para la fabricación del Compost.
- VELOCIDAD DE PRODUCCION DE GAS: Es la cantidad de gas (Bio-gas) genera-
do por unidad de tiempo y normalmente expresado en pies cúbicos por día.

ANEXO I

FABRICACION DE TABLAS PRENSADAS

TABLAS PRENSADAS A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA (28)

En nuestro país existe ya una fábrica que está elaborando Tablex a partir del bagazo de la caña; esta materia prima ofrece la ventaja de poseer fibra larga, que es la fibra más apropiada para elaborar las tablas prensadas.

El proceso en forma concisa es el siguiente:

- a) El bagazo almacenado y comprimido en pacas de 800 lbs. de peso, se hace pasar por un desintegrador compuesto por cuchillas y martillos en los extremos, el propósito de esto es desintegrar la fibra para formar una masa homogénea.
- b) El bagazo ya desintegrado pasa a un molino que clasifica el tamaño de las fibras por medio de una zaranda de 14 mm de malla.
- c) Luego al separador, donde se obtiene:
 - i) Fibra larga
 - ii) Fibra para forraje, compuestos por partículas pequeñas y polvo.
 - iii) Polvo, que sirve como combustible a la caldera
- d) La fibra larga pasa a la encoladora que es un transportador sin fin, donde se mezcla la fibra con la resina preparada en una proporción de 1.22 Lts. por cada 6 Kgs. de bagazo.
- e) La mezcla bagazo-resina pasa a la performadora donde se hace una especie de colchón para los diferentes espesores de las láminas.
- f) Pasa a la prensa, donde se aplica una temperatura de 180°C y una presión de 426 Lbs/pulg² para todos los espesores de láminas, el tiempo -

de prensado depende de los diferentes espesores de la siguiente manera:

Espesor

3/16 pulg .	.....	3.0 min
1/4 "	.....	3.2 "
3/8 "	.....	4.0 "
1/2 "	.....	5.0 "
5/8 "	.....	6.0 "
3/4 "	.....	6.0 "
1.0 "	.....	7.0 y 8.0 min

- g) Ya formados los tableros, se procede a lijar con diferentes tipos de lija, lo que les da una mejor textura y si se quiere para fines decorativos se puede aplicar un recubrimiento de formica o Plywood decorativo.

FABRICACION DE TABLAS PRENSADAS A PARTIR DEL RESIDUO OBTENIDO EN LA FERMEN-
TACION DE DESECHOS ORGANICOS PARA LA PRODUCCION DE METANO. (6)

1) Proceso : Los desechos sólidos urbanos son fermentados para producir Metano y los residuos de este proceso se pueden utilizar para la fabricación de tablas prensadas. El grado de depolimerización que ocurre durante la degradación se detecta por el cambio en la relación celulosa/lignina, Se han hecho estudios preliminares (6) en los cuales se fabricaron tablas de 1/4 de pulg. de espesor con: 0.2, 4 u 8% de adhesivo fenol-formaldehido con un período de post-curado a 140°C por 15, 30 ó 45 minutos. Se les evaluaron características físicas, mecánicas y resistencia al fuego, aunque el nivel de sus propiedades es menor que el de las encontradas en el comer

cio, se pueden mejorar en forma de enchapado en las superficies, utilizando en el centro el material hecho a partir de los residuos de la fermentación del Metano y de esta forma emplearlo en muchos propósitos, tales como decoración, puertas, etc.

2) Materiales y Métodos (6) El material utilizado para la fabricación es el residuo remanente del proceso de fabricación del Metano, este residuo contiene un porcentaje promedio de humedad de 403, basado en seis pruebas, con un rango de 150-534 % de H.

3) Formación del Material Húmedo: El material se agita por 3 minutos, agregándole agua hasta formar una mezcla conteniendo 4,5% (base seca) de sólidos. El pH de la mezcla se ajusta a 7 aproximadamente con sulfato aluminico-potásico y se le añade resina fenol-formaldehido, conteniendo 43% sólidos, esto se puede hacer en varios porcentajes (siempre base seca). Después debe acidificarse con ácido sulfúrico para precipitar el adhesivo y mantenerlo dentro del material en el molde.

El material es brevemente agitado dentro del molde antes de removerle el agua por medio de vacío, esta agitación ayuda a asentar las partículas de desperdicios inorgánicos y plásticos, dejando la superficie libre de estos materiales, después se invierte el molde y se prensa; para prevenir que el material se adhiera, es necesario recubrir el fondo y la superficie con papel de aluminio o periódico, antes del prensado en caliente, o cubrir el plato y rejillas de la prensa con aceite o material de silicones para una rápida liberación.

Después del prensado se le evalúa las propiedades mecánicas y físicas tales como: gravedad específica, esfuerzo de dobladura (MOR), elasticidad (MOE),

módulo de dureza (MOH), expansión lineal, engrosamiento de espesor, absorción de agua. La tabla (A-1) muestra las propiedades evaluadas según la "American Society for Testing and Materials".

TABLA (A-1)

PROPIEDADES DE TABLAS PRENSADAS FABRICADAS A PARTIR DE LA FERMENTACION DE
DESECHOS ORGANICOS

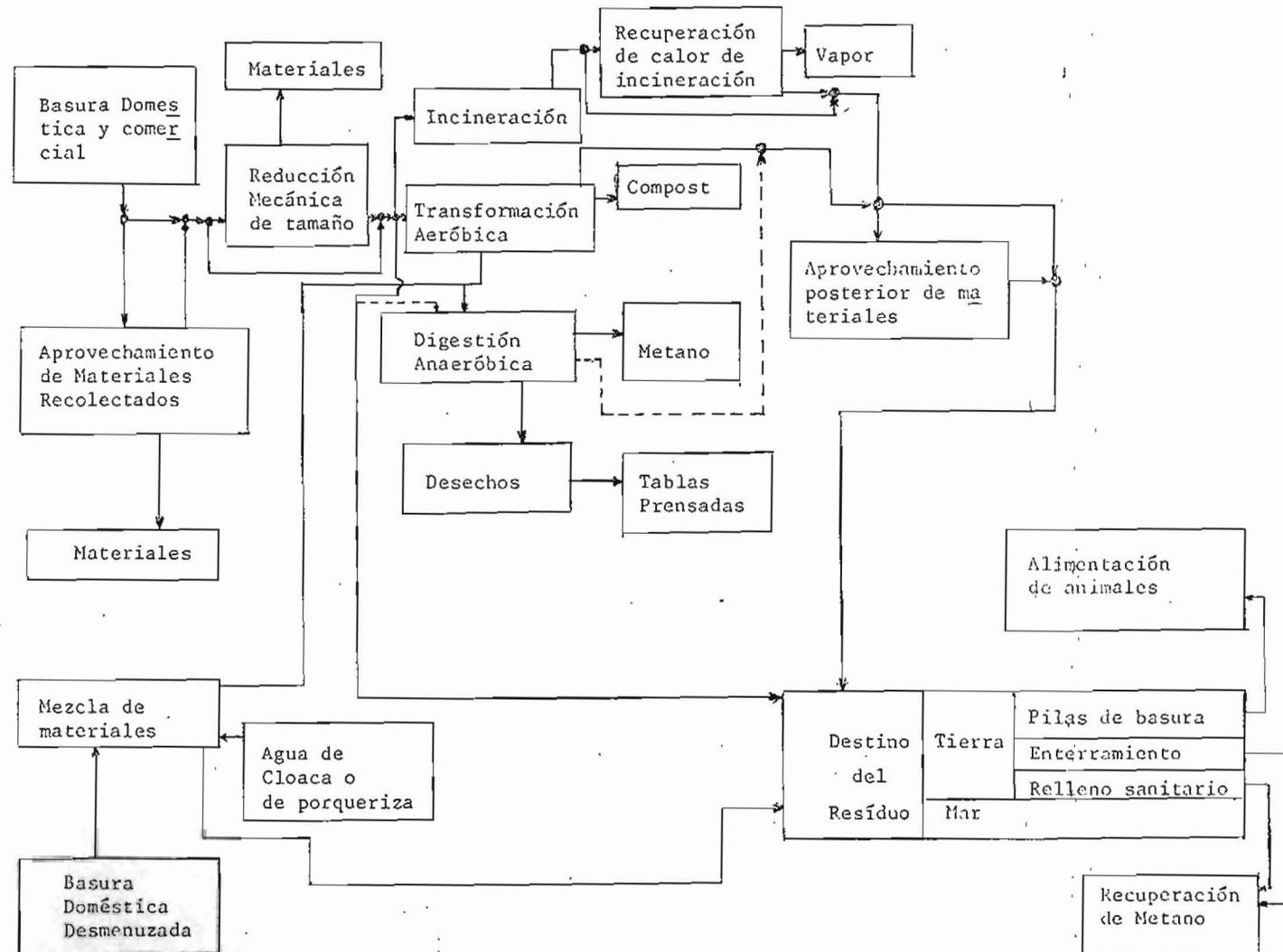
Adhesivo %	Tiempo de Exposición a 140°C(min)	Gravedad Específica	Esfuerzo de Dobladura (PSI)	Elasticidad (PSI)	Resistencia a la Tensión(PSI)	Módulo de Dureza (Lb/plg)	Expansión Lineal
0	15	0.67	865	105,930	19	5,060	0.083
	30	0.68	855	73,920	14	5,530	0
	45	0.68	765	81,910	13	6,620	0.091
2	15	0.76	970	118,540	11	7,250	0.050
	30	0.74	1,065	128,620	19	7,720	0.116
	45	0.74	1,205	132,120	12	6,470	0
4	15	0.72	1,035	121,380	21	8,810	0.067
	30	0.74	1,130	118,010	29	7,810	0.108
	45	0.72	960	105,530	20	8,560	0.125
8	15	0.71	995	94,290	34	4,540	0.432
	30	0.76	1,090	120,310	33	3,710	0.412
	45	0.81	1,015	113,200	28	4,660	0.382

SISTEMA GLOBAL PARA LA UTILIZACION DE LA BASURA

Analizando los diferentes usos industriales para la basura, se ha creído conveniente reunirlos en un Proceso Global para un mejor enfoque de los mismos, como se muestra en la Fig. A-1.

- i) La basura recolectada y pesada es llevada a separadores magnéticos y escogitación de otros materiales reutilizables, tales como vidrio, plástico, telas, etc.
- ii) Reducción de tamaño, la basura ya escogida es triturada para reducir su tamaño.
- iii) Parte de la basura se llevará a un proceso de composteo que puede ser con un tratamiento previo de lodos cloacales, o no.
- iv) Una segunda porción de la basura será destinada a la fabricación de Metano; deberá añadirsele agua de porquerizas.
- v) Los residuos de lo anterior se utilizarán como material para la fabricación de tablas prensadas, como abono.
- vi) La tercera parte se utilizará para generación de vapor que puede ser empleado en producción de energía eléctrica.

Las proporciones a emplear en cada proceso deberán ser determinadas por la demanda de mercado en el país y las condiciones económicas de la Empresa a cargo del Proyecto.



A N E X O 2

ANALISIS DE LA PROYECCION DE PRODUCCION DE BASURA PARA EL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE SAN SALVADOR, HAS TA EL AÑO 2000.

La Alcaldía Municipal de San Salvador, proporcionó los siguientes datos de recolección de basura:

Ton. de basura recolectada	año
51,388.181	1970
43,703.032	1971
44,207.210	1972
63,743.938	1973
64,198.351	1974
65,858.943	1975

Este análisis se efectuó tomando en cuenta los datos an teriores y utilizando el método de regresión lineal, ya que debido a la poca cantidad de datos disponibles, y a su naturaleza, no se puede utilizar un método de interpo lación, para lo cual se debería de contar con datos de u na producción de basura para algún año mayor que 2,000. En el cálculo de estos valores se utilizó una calculado

ra programable marca TEXAS INSTRUMENTS, modelo SR - 56 ;
con la cual se obtuvieron los siguientes datos:

Ton. basura	año -
64,402.784	1976
73,130.440	1977
77,652.580	1978
83,283.020	1979
89,321.720	1980
94,845.070	1981
101,722.110	1982
109,097.800	1983
115,844.030	1984
124,243.670	1985
131,926.470	1986
141,492.220	1987
151,751.560	1988
161,135.350	1989
172,818.990	1990
183,505.520	1991
196,811.170	1992
211,081.590	1993
224,134.140	1994
240,385.700	1995
255,250.320	1996
273,758.060	1997
293,607.760	1998
311,763.450	1999
334,368.850	2000

R E F E R E N C I A S

- 1- Christman, R.F.; Mar, B.W.; Welch, E.B.; Charlson; Carlson, E.A., "The Natural Environment: Wastes and Control"; Good Year Publishing Co. Inc., Pacific Palisades, California, 1973.
- 2- Ingeniería Sanitaria, Revista de la Asociación de la Ingeniería - Sanitaria, 1951.
- 3- "Methane From Garbage" Chemical Engineering, Vol. 81 N° 11, Mayo 27, 1974.
- 4- "Basuras", Métodos de recolección y Disposición, Ministerio de Salud Pública, Bogotá, Colombia, 1960.
- 5- "Compost From Processed Waste", H.V.A. - ENCO B.V. In Association -- with V.A.M.
- 6- Walters, C.S.; Pfeffer, J.T., Poo Chow, "Production of Panelboard From Residue Left From The Fermentation of Organic Waste For Methane", Forest Products Journal, Vol. 27, N°9, Septiembre 1977, pp 11-20.
- 7- "Calefacción y Enfriamiento de Fábricas con Basura:", Industrial World, Vol. 202, N° 6, Junio de 1978 pp 40-11.
- 8- Zepeda, F., Ingeniero Sanitario, Asesor de Programas de Tratamiento de Desechos para Centroamérica y Panamá, por la O.P.S., Conferencia - dictada en el Seminario "Programa Nacional de Desechos Sólidos", Alcaldía Municipal, Santa Ana, El Salvador, 7-11 Agosto de 1978.
- 9- Ayala, R., Gerente "Fertilizantes Salvadoreños", Plática personal, 1978.
- 10- Buiza, V., Jefe del Departamento Recolección, Alcaldía Municipal de - San Salvador, Plática Personal, 1978.
- 11- Ríos, J.M., Ingeniero Sanitario, Asesor de Programas de O.P.S., plá-

- tica Personal, 1978.
- 12- "Fuji Compost System" Fuji Car Manufacturing Co Ltd.; Osaka, Japan.
 - 13- "Compost From Processed Waste ", H.V.A.- ENCO B.V. In Association - with Vam, Amsterdam, Holanda.
 - 14- Freeman, C.; Pyle, L.; Methane Generation By Anaerobic Fermentation, Intermediate Technology Publications, L.T.D. London, England, 1977.
 - 15- "Solid Waste Reclamation and Recycling", National Technical Information Service, 1964 - July 1978.
 - 16- Paul, D.R.; Vinson, C.E.; Locke, C.E.; "The Potencial for Reuse of - Plastics Recovered from Solid Wastes", Vol. 12 N°3 ; May, 1972.
 - 17- Barbour, J.F.; Groner R.R.; Freed V.H.; "The Chemical Conversion of Solid Wastes to Useful Products", Department of Agricultural Chemistre Oregón, U.S.A.; June, 1973.
 - 18- Velásquez A.G.; Miranda L.; "Estudio Económico de la Industrializa-- ción de la Basura en Abono Orgánico, Panamá, 1976.
 - 19- "Fuji Compost System" ; Fuji Car Manufacturing Co.; Ltd; Saga Factory, Japan.
 - 20- Stadtman, T.G. "Methane Fermentation"; Maryland, U.S.A.
 - 21- Taylor, G.T.; "The Formation of Methane by Bacteria"; Microbiology Department of Queen Elizabeth College, London.
 - 22- Zeikus, J.G.; "The Biology of Methanogenic Bacteria"; Vol. 41, University of Wisconsin, U.S.A., 1977.
 - 23- Bryant, M.P. "Methane-Producing Bacteria", U.S.A.
 - 24- Bryant, M.P.; Robinson, I.M.; Tzeng, S.F.; "Nutrient Requirements of Methanogenic Bacteria"; Urbana, Illinois, U.S.A.; 1971.

- 25- Pohland, F.G.; Ghosh, S.; "Developments in Anaerobic Treatment Processes"; Atlanta, Georgia, U.S.A.
- 26- Consultec; "Disposicao Do Lixo No Brasil E Suas Perspectivas", Vol. I, II, III, IV, Ríó de Janeiro, Janeiro de 1977.
- 27- Singh, R.B.; "Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer", 1971.
- 28- Artiga, Ingeniero; Jefe de Producción de PROAGRO, Aguilares, San - Salvador, Plática Personal, 1979.-