

A MIS PADRES:

3

MAXIMO Y GUILLERMINA

Estudio sobre el aprovechamiento  
de los residuos solidos del  
Distrito Federal como combustible.

F. Q.

Asesor: Mercarini Peniche, Jorge

A MIS HERMANOS.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CLAS. Tesis  
ADQ. 1975  
FECHA  
PROC. MT

296

A MIS MAESTROS

DESEO HACER PATENTE MI AGRADECIMIENTO Y AFECTO  
A LOS MAESTROS:

ING. FRANCISCO MONTEJANO URANGA.

ING. PEDRO MARTINEZ PEREDA.

ING. FRANCISCO ZEPEDA PORRAS.

DR. ALBERTO OLIVE BLANCH.

PRESIDENTE

ERNESTO RIOS MONTERO .

VOCAL

GUILLERMO CARSOLO PACHECO .

Jurado Originalmente  
Según el Tema:

SECRETARIO

JORGE MENCARINI PENICHE .

1er. SUPLENTE.

RAMON ARNAVO HUERTA .

2o. SUPLENTE.

MARIO RAMIREZ Y OTERO .

Sitio donde se desa-  
rolló el tema:

SUBSECRETARIA DEL MEJORAMIENTO DEL  
AMBIENTE (Consejo Técnico)  
Ave. Chapultepec No. 284.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL  
(Dirección de Servicios Urbanos, Calz. Mé-  
xico-Tacuba).

Nombre y Firma del  
Sustentante:

FRANCISCO ROMERO LUNA .

312

Nombre y Firma del  
Asesor del Tema:

JORGE MENCARINI PENICHE .

# INDICE

	PAG.
1. EL PROBLEMA DE LAS BASURAS	1 - 1
1.1 En el Mundo	1 - 1
1.2 En el Distrito Federal	1 - 5
1.2.1 Antecedentes Históricos	1 - 5
1.2.1.1 Epoca Precolonial	1 - 5
1.2.1.2 Epoca de la Colonia	1 - 5
1.2.1.3 México Independiente	1 - 6
1.2.1.4 Epoca de la Reforma	1 - 6
1.2.1.5 Siglo XX	1 - 7
1.2.2 Epoca Actual	1 - 8
1.2.2.1 Barrido	1 - 9
1.2.2.2 Recolección	1 - 10
1.2.2.3 Transporte	1 - 11
1.2.2.4 Disposición Final	1 - 11
2. METODOS DE DISPOSICION DE RESIDUOS SOLIDOS.	2 - 1
2.1 Análisis de los Residuos Sólidos	2 - 1
2.1.1 Descripción de los Residuos Sólidos	2 - 1
2.1.2 Parámetros de Análisis	2 - 4
2.1.3 Laboratorio	2 - 6
2.2 Principales Métodos de Disposición.	2 - 6
2.2.1 Relleno Sanitario	2 - 7
2.2.2 Producción de Compost	2 - 8
2.2.3 Incineración	2 - 11
2.2.4 Pirólisis	2 - 16
3. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA INCINERACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN EL DISTRITO FEDERAL.	3 - 1
→ 3.1 Propiedades Combustibles de los Residuos Sólidos.	3 - 1
3.1.1 Muestreo	3 - 1
3.1.2 Descripción de los Análisis Efectuados	3 - 6
3.1.3 Resultados	3 - 13
→ 3.2 Anteproyecto de Incineración con Recupera- ción de Energía.	3 - 15

	PAG.	
3.2.1	Antecedentes Históricos de la Incineración de Residuos Sólidos.	3 - 15
3.2.2	Cálculo de los Incineradores	3 - 21
3.2.3	Balances de Masa y Energía	3 - 33
4.	ANALISIS ECONOMICO	4 - 1
4.1	Introducción	4 - 1
4.2	Costos	4 - 2
4.2.1	Costo de Producción	4 - 2
4.2.2	Costo de Mantenimiento	4 - 3
4.2.3	Costos de Operación	4 - 3
4.2.4	Amortización	4 - 3
4.2.5	Costos de Administración	4 - 4
4.2.6	Costos Financieros	4 - 4
4.3	Necesidades de Capital	4 - 6
4.4	Ingresos Posibles	4 - 9
5.	CONCLUSION.	5 - 1
	REFERENCIAS.	

## RESUMEN

Es casi nula la literatura circulante en nuestro País que versa sobre el manejo de un problema tan vital para las sociedades humanas como lo es el de la eliminación de sus residuos sólidos. Por este motivo se ha considerado de utilidad e interés presentar en este trabajo un panorama de cómo los países del mundo han venido resolviendo este problema a través del tiempo (Capítulo 1). Para esto se ha recurrido a diversos procedimientos de tecnología más o menos sofisticada y costosa (Capítulo 2).

Pensando en que México no es un País pionero en el desarrollo de las técnicas descritas en el Capítulo 2, es inevitable que tendrá que acudir a la experiencia de otros países para que mediante un estudio de todas y cada una de las técnicas probadas, elija la o las que mejor se adapten a sus condiciones económicas, políticas y sociales.

En este trabajo se analizan la posibilidad técnica de disponer de los residuos sólidos del Distrito Federal por medio de su incineración y las condiciones bajo las cuales tal procedimiento resultaría económico. Para este fin se determinaron las características de la basura relacionadas directamente con la in

cineración, tales como el poder calorífico, humedad, cenizas, metales, etc. Y mediante balances de masa y calor se dimensionan los incineradores y se calcula la energía eléctrica que puede generarse (Capítulo 3).

En el Capítulo 4, se presentan los costos, ingresos, necesidades de capital y tiempo de recuperación del capital para presentar finalmente en el Capítulo 5, las conclusiones de este trabajo con las que se sientan las bases para justificar que la incineración de los residuos sólidos es un proyecto factible técnica y económicamente. Ciertamente restan muchos aspectos por analizar, que escapan al alcance de la presente tesis, pero el proyecto de la incineración es una alternativa a la solución del problema de los residuos sólidos del Distrito Federal que deberá tenerse siempre presente. Este trabajo pretende ser una pequeña colaboración en ese sentido.

## 1. EL PROBLEMA DE LAS BASURAS.

### 1.1. En el Mundo.

Donde quiera que haya gente, habrá desechos sólidos, líquidos y gaseosos. Si éstos no se remueven continuamente, pueden desorganizar las actividades cotidianas normales del hombre, generar enfermedades y aún engendrar epidemias.

Desde tiempo inmemorial, el hombre ha comprendido la importancia de la limpieza y le ha concedido toda su atención, al igual que otras especies del reino animal que constantemente remueven o entierran todos los desechos que producen.

Cuando el hombre empezó a vivir en conglomerados, la disposición de desechos requirió de soluciones de mayor alcance y mejor planificación, lo que originó que se crearan oficinas públicas primero a nivel regional y nacional, y después a nivel internacional, terminando en la creación de INTAPUC (International Association for Public Cleansing) y el BIPC (British Institute of Public Cleaning). A medida que los problemas de limpieza de calles y disposición higiénica de basuras se complicaron con otros problemas tales como la necesidad de eliminar los lodos digeridos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas negras, un grupo de especialistas convinieron un symposium -

en el Swiss Federal Institute of Technology en Zurich en el verano de 1955 de donde surgió el IRGR (International Research Group on Refuse). Al aumentar la complejidad de los problemas sobre eliminación de basuras, la INTAPUC y la IRGR decidieron fusionarse dando origen a la ISWA (International Solid Wastes and Public Cleansing Association) cuya función ha sido y continúa siendo la de promover conferencias, congresos, exhibiciones en las que se realizan intercambios de ideas y experiencias tendientes a resolver los problemas de contaminación ambiental especialmente los causados por desechos sólidos pues tanto para la contaminación del agua, como la del aire, existen sus propias oficinas, institutos y especialistas.

El tipo de problemas cuya solución se estudia, es la recolección de desechos sólidos en las ciudades, buscando respuesta a preguntas tales como: ¿Cómo deben diseñarse los vehículos para que den máxima eficiencia de recolección evitando al máximo la obstrucción del tráfico? ¿Qué tan lejos deben estar los puntos de generación de basura de los tiraderos y sitios de tratamiento sin necesidad de estaciones de transferencia? ¿Con qué frecuencia debe recogerse la basura? etc. Además, el establecimiento de métodos, mediante los cuales el material recolectado debe analizarse (porcentaje en: peso específico, humedad, contenido de nitrógeno, fósforo y carbón, poder calorífico, con

tenido de cenizas, etc) para poder seleccionar el método de tratamiento más satisfactorio desde el punto de vista estético, higiénico y económico.

El método de disposición más sencillo ha consistido siempre en mezclar las basuras con los suelos, con lo cual se aumenta su fertilidad. Este método se ha practicado durante miles de años y ya la Biblia menciona que los desechos de Jerusalem eran usados para mejorar la fertilidad del valle de Kidrom.

En Europa ha sido práctica popular "compostar" los jardines caseros usando las basuras como fertilizante. Desgraciadamente ésto es inoperante en las ciudades donde la cantidad de desechos sólidos generados se incrementa año con año y ha alcanzado los 250 Kg/cápita/año en Suiza y más de 800 Kg/cápita/año en Estados Unidos de Norteamérica, y se tienen, además limitaciones serias de espacio. A guisa de ilustración se hace observar que existe una clara correlación entre el nivel socioeconómico y la generación por habitante:

E.U.A.	2.5 - 3.5 Kg/hab./día
Europa	1.0 - 1.5 Kg/hab./día

Latino-América 0.4 - 0.7 Kg/hab. /día.

En Inglaterra aproximadamente el 80% de las basuras se eliminan en tiraderos controlados (relleno sanitario), este método aunque ha sido imitado en muchas partes de Francia su uso es limitado en otros países tales como Suiza y Austria - los que se ven obligados a usar otros procedimientos de dis-  
posición más caros como son el composteo después del molido. En los últimos años el aspecto de la basura ha cambiado principalmente debido a la presencia de plásticos por lo que es necesario recurrir al relleno o a la incineración para su eliminación. La incineración de la basura con o sin recupera-  
ción del calor generado, es un método usado en muchas par-  
tes del mundo. Otro esfuerzo orientado a la resolución del -  
problema que constituyen los residuos sólidos, lo presenta -  
Japón. En este país la basura se comprime a grandes presio-  
nes para formar bloques los que recubiertos con asfalto se --  
destinan a diversos usos.

Finalmente el procedimiento más reciente, y también el más elaborado, para la disposición de basuras se ha desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica, donde mediante la pirólisis de las mismas se obtiene aceite combustible.

En la sección 2.2 se describirán brevemente los métodos mencio-  
nados.

## 1.2 En el Distrito Federal

### 1.2.1 Antecedentes Históricos

#### 1.2.1.1 Epoca Precolonial

A través de algunos relatos de historiadores, se concluye que los habitantes y autoridades Tenochcas, cuidaban mucho el aspecto y limpieza de la Ciudad de México, y que contaban además, con un sistema de recolección de basuras muy eficiente de acuerdo con la época. El Padre Francisco Xavier Clavijero, afirma: "Bajo el gobierno de Montecuhzuma Xocoyotzin (1473), en las ciudades no había una sola tienda de comercio, no se podía vender ni comprar fuera de los mercados y por lo tanto nadie comía en las calles, ni tiraban cáscaras ni otros despojos" ( ). Otros cronistas afirman: "Había más de mil personas que recorrían la ciudad, recogiendo la basura que hubiera tirada. El suelo no ensuciaba el pie desnudo. Además, los habitantes estaban habituados a no tirar nada en la calle".

#### 1.2.1.2 Epoca de la Colonia

De relatos de la época, se desprende que durante esta época no existía un servicio organizado de recolección aunque aparentemente los Reglamentos Municipales ya lo prevenían. Las calles de México en el año 1789 -

se encontraban intransitables por el desaseo y pasaban - muchos meses sin que fueran barridas. Es precisamente en este año cuando el Conde de Revillagigedo establece el - primer servicio regular de limpia con carros de tracción animal.

#### 1.2.1.3. México Independiente

En el año 1824, aparece el primer regl-- mento de limpia bajo la presidencia del General Guadalupe Victoria. El servicio de limpia se dió, al parecer, - por contrato a una empresa que deberfa recoger basuras - durante el día, y heces fecales durante la noche ya que - no existía un sistema de alcantarillado efectivo.

#### 1.2.1.4 Epoca de la Reforma

Se establece ya dentro del presupuesto de la Nación como gasto público, el Servicio de Limpia, que trabajaba con grandes deficiencias debido al acelerado - aumento de la población de la ciudad.

Otro dato curioso de esta época, y que nos indica que siempre ha existido el mismo problema y preoc pación, fue la propuesta de un sistema de incineración, -- el cual no fué aceptado porque se consideraba que las "e- manaciones neffticas", producto de la combustión, contami narían el aire.

En 1900 se constituye la Comisión de Limpia para el Servi  
 cio de barrido y riego de las vías públicas, para esto se -  
 contaba ya con el siguiente equipo mecánico:

- 3 Máquinas barredoras.
- 1 Carro regador de 1500 litros con bomba tipo reloj
- 4 Carros regadores de 700 litros con bomba tipo reloj.
- 6 Carros de dos ruedas para basura.
- 1 Carro recogedor.

#### 1.2.1.5 Siglo XX

Año 1929. - Se tiene ya equipo mecánico que consiste en:  
 190 Guayines de tracción animal de 2.5 m<sup>3</sup> -  
 1 Flotilla de camiones tractores y remolques  
 En este año se contaba con dos tiraderos, el  
 de Balbuena del límite oriental de la ciudad y  
 el otro en San Francisco a 7 Kms. de éste. El  
 personal de limpia ascendía en esta época a -  
 1500 personas.

Año 1938. - En el período Presidencial del Sr. General Lá  
 zaro Cárdenas, se constituye una Junta de Mejo  
 ras de los tiraderos del Distrito Federal para

aprovechar la basura, mediante la industrialización de la misma. Las plantas construidas para este efecto no continuaron funcionando por causa de sabotajes que se llevaron a cabo en forma de incendios. Estas plantas eran tres y se localizaban en Azcapotzalco, Tetepilco y la última en terrenos cercanos al Aeropuerto.

### 1.2.2 Epoca Actual

En la actualidad el problema de los residuos sólidos del Distrito Federal es análogo al que se presenta en cualquier ciudad grande del mundo, agravándose el problema año con año pues la "Sociedad del Desperdicio", como acertadamente ha denominado Marcuse a nuestras sociedades, en su afán de hacer cada vez más atractivos a la vista, mediante envoltura y empaque de otra manera innecesarios, los productos de consumo, generan cantidades crecientes de residuos.

La relación nivel socioeconómico-generación de basura encontrada a escala mundial, se presenta también en forma local en el Distrito Federal, así se tiene:

clase media	1.5	Kgs. /hab. /día
clase baja	0.3 - 0.6	Kgs. /hab. /día

El problema de la eliminación de basuras en la Ciudad de México, se ataca mediante un sistema (\*) que puede dividirse en 4 pasos fundamentales:

- a) Barrido
- b) Recolección
- c) Transporte
- d) Disposición

#### 1.2.2.1 Barrido.

En el Distrito Federal se cuenta con más de 4,000 personas dedicadas al barrido manual que cubren 7,000 Kms/día, siendo el costo de \$ 80,000,000.00 anuales, o sea, aproximadamente el 50% del presupuesto de limpia de la ciudad. También se cuenta con 120 barredoras mecánicas del tipo de 3 ruedas con un promedio de barrido de 50 Km., de las cuales únicamente el 50% está dentro de su vida útil. El rendimiento total de las barredoras mecánicas es de 5,000 Km/día con un costo anual aproximado de 16 millones de pesos o sea, el 10% del presupuesto de limpia de la ciudad. Es notoria la superioridad del barrido mecánico sobre el manual al cual debe substituirlo más completamente posible, utilizando el barrido manual únicamente en las partes de acceso difícil.

(\*) Se usará el término sistema para designar un gran número de componentes interconectados cada uno de los cuales puede tener una función diferente pero todos están encaminados hacia un propósito común.

### 1.2.2.2 Recolección

Para la recolección de los residuos sólidos-domésticos del Distrito Federal, se ha dividido a la ciudad en 27 sectores de limpia como se muestra en la figura 1.1.- Dichos sectores están distribuidos en las 16 Delegaciones políticas en que se encuentra dividido el Distrito Federal. A su vez cada sector se subdivide en "Rutas" que son los recorridos que hace cada camión recolectando la basura. En la tabla 1.1 se presenta la distribución de sectores de limpia en las delegaciones políticas así como el número de rutas y camiones por sector.

Además de los 27 sectores mencionados, existen dos sectores más, estos son el sector 28 y el sector 29. El sector 28 se denomina sector volante, cuenta con 14 camiones y está programado para reforzar periódicamente a la maquinaria y personal encargados de recolectar la basura de los 27 sectores fijos. El sector 29, con 62 camiones se denomina sector de emergencias y se encarga de sacar la basura de mercados, atender quejas y resolver de manera inmediata problemas de limpieza que se presentan de manera imprevista.

En total el Distrito Federal cuenta con 798-vehículos recolectores y 1200 personas para efectuar la limpia de la ciudad, ascendiendo el costo anual a 40 millones-

TABLA: 1.1 DISTRIBUCION DE LOS SECTORES DE LIMPIA DEL DISTRITO FEDERAL POR DELEGACIONES POLITICAS.

DELEGACION POLITICA	SECTOR	NUMERO DE RUTAS.	NUMERO DE CAMIONES.
CUAUHTEMOC* (III, IV, V, VI, VII, VIII)	1	30	36
	2	24	27
	3	38	47
	4	20	29 **
	5	12	20
VENUSTIANO CARRANZA (I, II)	6	21	28
	7	32	44
BENITO JUAREZ (X, XII)	8	29	40
	9	32	40
MIGUEL HIDALGO (IX, XI)	10	25	37
	11	19	23
	12	33	40
ATZCAPOTZALCO	13	32	36
	14	28	33
GUSTAVO A MADERO	15	20	24
	16	44	53
	17	44	45 ***
IXTACALCO	18	19	22
	19	21	22
IXTAPALAPA	20	21	26 ****
	21	9	9
COYOACAN	22	8	10
	23	18	25
A. OBREGON	24	40	40
TLALPAN	25	11	15
CUAJIMALPA, M. CONTRERAS	26A, 26B	7	10
XOCHIMILCO, TLAHUAC, MILPA ALTA.	27A, 27B, 27C	14	17

\* Los números romanos entre paréntesis corresponde al número - de cuartel.

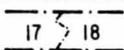
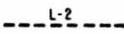
\*\* Tres de estos camiones dan servicio a mercados

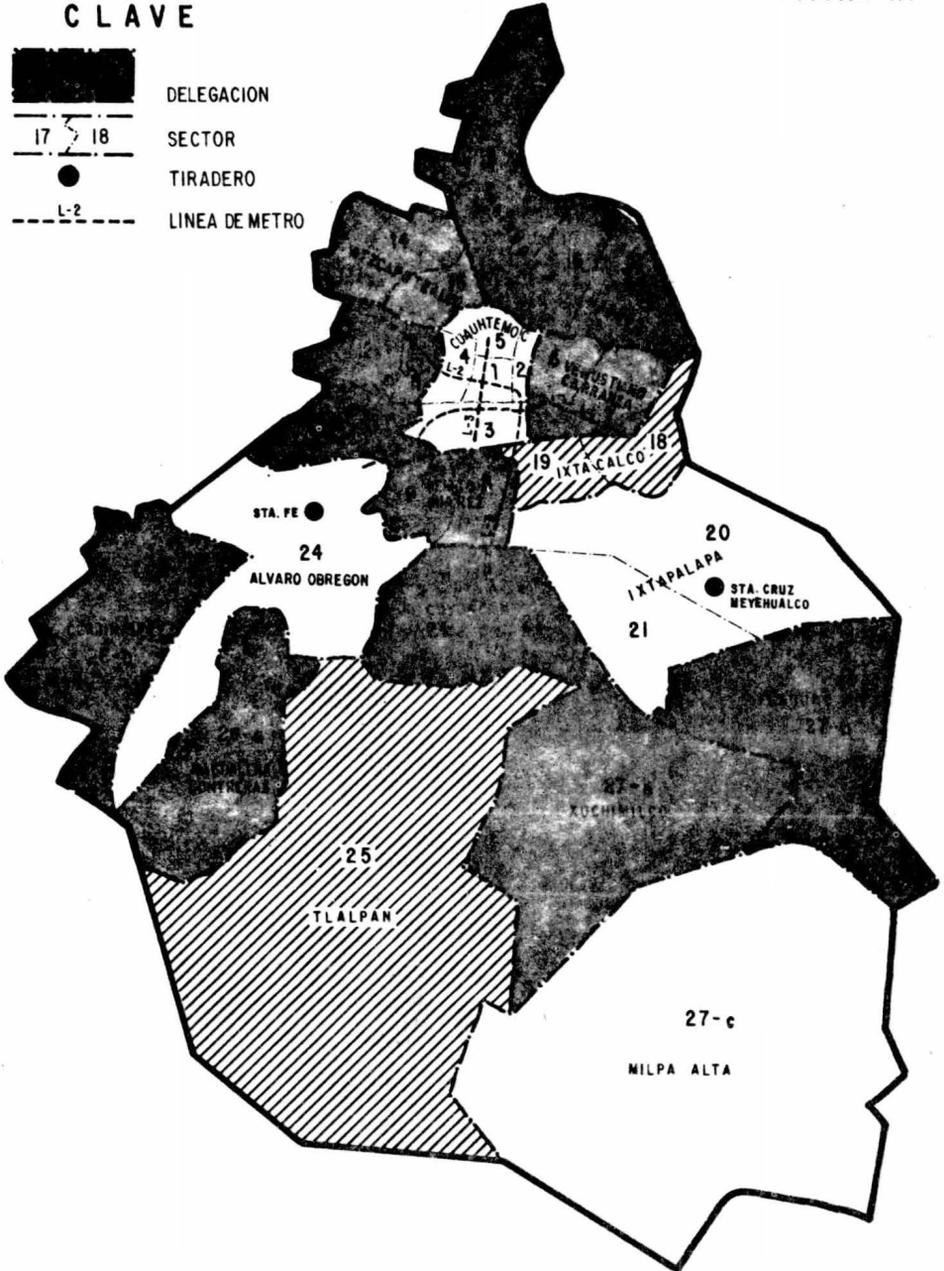
\*\*\* Dos de estos camiones dan servicio a mercados

\*\*\*\* Uno de estos camiones da servicio a mercados

FIGURA 1.1

CLAVE

-  DELEGACION
-  SECTOR
-  TIRADERO
-  LINEA DE METRO



LOCALIZACION DE SECTORES DE LIMPIA Y TIRADEROS EN EL DISTRITO FEDERAL

de pesos.

#### 1.2.2.3 Transporte.

Con el objeto de bajar los costos de transporte de la basura se encuentra en construcción la primera estación de transbordo, localizada en Tecamachalco, -- que trabajará inicialmente con una capacidad para trans--bordar 300 ton/día de los camiones recolectores de 10 m<sup>3</sup>- a 5 remolques cerrados de 20 ton. de capacidad y compacta dor de 57 m<sup>3</sup> y se encuentra en estudio la instalación de otras dos estaciones de este tipo. De esta manera los ca miones recolectores se dedicarán casi exclusivamente a recolectar, que es la operación para la cual están diseña -- dos, y no al transporte como lo hacen actualmente.

#### 1.2.2.4 Disposición Final.

Se cuenta actualmente con dos tiraderos a cielo abierto. En Santa Cruz Meyehualco se reciben ----- 4,000 ton/día de desechos los cuales son "pepenados" por familias dueñas del viaje en cuestión, en condiciones de trabajo y sanitarias verdaderamente infrahumanas. Cada familia obtiene un ingreso aproximado de \$ 40.00/viaje de -- los cuales se deduce una gratificación al chofer. El pre-

cio de venta a fábrica del producto de la pepena es de --  
\$ 100.00/viaje siendo la diferencia la plusvalía que se --  
apropian líderes e intermediarios. Pepenada la basura, se  
empuja el residuo con un tractor fuera de los sitios de --  
trabajo sin ningún plan o proyecto previo.

En el tiradero de Santa Fé se procesan en la misma forma --  
aproximadamente 1000 Ton/día de basura, con la única dife --  
rencia de que mientras en Santa Cruz los terrenos son pla --  
nos, en Santa Fé se tienen barrancadas de gran profundidad  
en donde se arrojan los desperdicios ya pepenados.

En la operación anterior se gastaban anualmente \$3,000,000.00.  
Los procesos de disposición se encuentran actualmente en rees --  
tructuración, y el primer paso en esta dirección lo constituye  
la planta de compost que se construirá en breve en la Unidad  
Aragón, con capacidad y costo de 500 Ton. /día y 23 millones -  
de pesos respectivamente.

## 2. METODO DE DISPOSICION DE RESIDUOS SOLIDOS.

### 2.1 Análisis de los Residuos Sólidos.

#### 2.1.1 Descripción de los Residuos Sólidos.

Los residuos sólidos son aquellos subproductos de las actividades humanas, que por su naturaleza no son -- susceptibles de ser transportados ni por el agua ni por el aire para su dilución ulterior en los cuerpos de aguas naturales y en la atmósfera respectivamente, que ha sido hasta la actualidad el procedimiento más común de -- disposición de desechos. Su eliminación requiere del -- transporte vehicular hasta los sitios en donde será reducido su volumen y eliminada su nocividad, mediante al -- gún método de disposición como: relleno sanitario, producción de "compost", incineración, compactación o pirólisis.

Los residuos sólidos, conocidos comunmente con el -- nombre de basura, constituyen una mezcla muy compleja y de naturaleza muy variable por lo que se presenta en la Tabla 2.1 una clasificación de los mismos. Algunas definiciones con el fin de evitar confusión en los términos usados en este estudio, se dan a continuación:

"Garbage."

(Escamocha) Son desechos que resultan de la preparación, manejo y servicio de alimentos. Se componen principalmente de mate--

ria orgánica putrescible y su humedad natural, incluyendo un mínimo de líquidos libres. Este término no incluye desechos de procesamiento de alimentos como los originados en plantas de enlatado, rastros, plantas de empaçado o industrias similares; grandes cantidades de productos alimenticios condenados por las autoridades sanitarias; conchas de ostras, ostiones o almejas, las cuales son consideradas ordinariamente como desechos industriales. El 'garbage' se origina principalmente en las cocinas de las casas, tiendas, mercados, restaurantes, y otros lugares donde la comida se vende, prepara o sirve.

"Rubbish."

Consiste en una variedad de desechos sólidos combustibles y no combustibles de casas, tiendas o instituciones. El 'rubbish' combustible está integrado por papel, trapo, cartón, cajas de madera, material de empaque, muebles, colchones y ropa de cama, hule, plástico, piel, ramas de árboles, recortes de césped y similares. El 'rubbish' --- combustible, aunque de composición química de tipo orgánico, no es altamente putrescible como lo es el 'garbage'; tiene un elevado poder calorífico cuando está seco y se quema fácilmente. El papel, trapo y cartón tienen valor de reuso.

TABLA 2.1 CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

DE ACUERDO A :	SE CLASIFICA EN:
Origen	Domésticos De Instituciones Comerciales De calle De Construcciones De Demoliciones
Composición Química	Orgánicos Inorgánicos
Naturaleza	Combustibles No - Combustibles Putrescibles No - Putrescibles
Clase de materiales -- que los forman. .	"Garbage" "Rubbish" Cenizas Basura de Calles Animales Muertos Industriales De Construcción De Demolición Sólidos de Albañal Desechos Peligrosos y especiales.

El rubbish no combustible es aquel material que no se quema a las temperaturas de los incineradores ordinarios ( 700 - 1100°C ). En su mayor parte es el componente inorgánico de la basura y está integrado por latas, metales, materia mineral, vidrio, loza, polvo, muebles metálicos, cenizas y similares; es muy estable con --- excepción de los metales que por oxidación se desinte-- gran aunque muy lentamente. Las latas, botellas y vi - drio tienen un valor de reuso.

Sólidos de  
Albañal.

Estos residuos provienen de los dispositivos de cribado establecidos como primer paso en los sistemas de trata - miento de aguas negras, y del desasolve del sistema de alcantarillado.

Residuos Só  
lidos Especia  
les o Peligro  
sos.

Son desechos que presentan problemas especiales de eli - minación o que requieren un manejo especial. Pequeñas - cantidades de tales sustancias se encuentran usualmente en la basura ordinaria. Una pequeña lata de pintura o thi - nner, un rollo de película fotográfica o un artículo casero de plástico, no constituyen ningún peligro y pueden ser dis - puestos por relleno sanitario o incineración sin ningún ma -

nejo especial. Por otro lado, grandes cantidades de estos mismos materiales crean problemas que requieren procedimientos especiales para evitar explosiones en un incinerador o fuegos peligrosos en los rellenos sanitarios. Aún bajo las condiciones de seguridad más estrictas suceden tales accidentes.

Existen también desechos industriales que son peligrosos bajo cualquier condición. Los residuos de hospitales y los materiales radiactivos requieren manejo especial sin importar su cantidad.

#### 2.1.2 Parámetros de Análisis.

El análisis de los residuos sólidos es auxiliar y en muchos casos estrictamente necesario, para planear y diseñar los sistemas de disposición de los mismos, para dictar las condiciones de operación de dichos sistemas, para evaluar sus eficiencias, para evaluar resultados de estudios piloto en la investigación sobre métodos de disposición etc. Las propiedades de los residuos sólidos que han de medirse y los parámetros de análisis, son innumerables; sin embargo no siempre es necesario efectuar un análisis exhaustivo, sino medir aquellos parámetros relacionados con el método de disposición que se ha pensado aplicar. La disposición que se ha pensado aplicar. La disposición final siempre está con-

dicionada por las circunstancias especiales que prevalezcan en la localidad; así, en el caso de la Ciudad de New York, - por ejemplo, está claro que la incineración se preferirá sobre cualquier otro método pues aunque es el más caro, es el que menos espacio requiere. Los métodos de análisis de importancia para cada método de disposición se mencionan en seguida:

- Relleno Sanitario: Materia susceptible de descomposición, rapidez de descomposición, densidad de la materia compacta - da antes y después de la descomposición, humedad, contenido de carbón, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y celulosa.
- "Composteo": Humedad, lípidos, azúcares, almidón, carbón, nitrógeno, proteínas, fósforo, potasio, hidrógeno, pH, materia orgánica fermentable, materia orgánica no fermentable, materia orgánica resistente a la descomposición bacteriana.
- Incineración: Humedad, poder calorífico, contenido de cenizas, rapidez de combustión, contenido de hidrógeno.
- Compactación: Composición porcentual, humedad, densidad, comprensibilidad. Demanda Bioquímica de Oxígeno, nitrógeno y fósforo en el agua resultante de la compresión.

Pirólisis: Composición porcentual (papel, plástico, "garbage", cuero, hule, textiles, metales magnéticos, aluminio, otros metales, vidrio verde, vidrio ámbar, vidrio incoloro), humedad. Se determina, además mediante la prueba de Fisher la cantidad de carbón, alquitrán, agua, aceite ligero y agua que se producen durante una pirólisis de la basura que se efectúa a nivel de laboratorio.

### 2.1.3 Laboratorio.

Para trabajos de investigación se requiere un laboratorio de química dotado con el equipo y sustancias químicas necesarias para efectuar todas las pruebas mencionadas en los incisos anteriores, donde se efectuaría la caracterización de los residuos y se efectuarían investigaciones de incineración, compactación y pirólisis. Además un laboratorio de Biología dedicado al estudio de la obtención de "compost" y de su uso como mejorador de suelos para cultivo.

El personal tendrá que ser multidisciplinario contando entre sus miembros a Ingenieros Sanitarios, Biólogos, Edafólogos, Agrónomos y Químicos. Es casi innecesario decir que en México, en la actualidad, muy poca gente piensa que la basura es objeto de estudio y análisis y por lo mismo en la etapa inicial de labores se deberá recurrir a la asesoría de expertos extranjeros.

## 2.2. Principales Métodos de Disposición.

Cada uno de los métodos de disposición final de basura es por sí mismo un tema sumamente amplio de tratar, existiendo aún dentro de cada uno diversas modificaciones tanto de un país a otro como de un fabricante a otro; todas buscando mayor eficiencia en la solución del problema que constituye la eliminación de la basura, y disminuir sus inconvenientes inherentes. Se hace aquí un resumen de ellos procurando resaltar su fundamento, sus ventajas y desventajas.

### 2.2.1. Relleno Sanitario.

El relleno sanitario consiste en el vaciado de los residuos sólidos directamente en el terreno de una manera tal que no existan incendios, malos olores o peligro para la salud pública, como sucede en los tiraderos a cielo abierto que es el procedimiento que se aplica en el Distrito Federal actualmente. Para lograr estas condiciones se acomoda la basura en capas de 4 m de grosor aproximadamente, se compacta, y se aplica encima una capa de tierra de 0.6 m de grosor aproximadamente.

La selección del sitio adecuado, es el paso más importante en el desarrollo de un programa de relleno sanitario satisfactorio. Deben evaluarse muchos factores para determinar la conveniencia del lugar tales como: Salud Pública y problemas de molestias causadas por una disposición sin un buen control,

buenos procedimientos operacionales, capacidad del equipo necesario, topografía, geohidrología, problemas climatológicos especiales, drenaje, uso futuro del terreno, caminos de acceso, disponibilidad de material de cubierta adecuado, localización con respecto a zonas industriales y residenciales, distancias de transporte de los residuos sólidos, posibilidad y magnitud de la posible contaminación de aguas subterráneas.

Un relleno sanitario, bien planeado y operado, tiene el atractivo de que es muy económico ( 6 a 25 pesos por tonelada dispuesta, que incluye costos del terreno, equipo, depreciación, mano de obra, operación y emergencias), y puede dar valor a terrenos de otra manera inservibles. Tiene los inconvenientes de que requiere distancias de transporte y terrenos, mucho mayores que los otros métodos; además presenta muchos problemas de operación en climas inclementes.

### 2.2.2 Obtención de "Compost" .

Composteo es la degradación bioquímica de materiales orgánicos en un material parecido al humus que está libre de olores molestos y peligro para la salud; este producto se usa como mejorador de suelos erosionados que estan faltos de la

fracción orgánica que todo suelo debe tener para ser cultivable pero debe haber agua. Al "composteo" científico moderno se le describe como la descomposición rápida, pero parcial, de la materia orgánica sólida y húmeda por el uso de microorganismos aerobios termofílicos bajo condiciones controladas. La estabilización de la materia orgánica de la basura es un proceso moderno de "composteo," se realiza por la acción de bacterias y otros microorganismos (hongos principalmente) que utilizan grandes cantidades de oxígeno y generan cantidades considerables de calor; fácilmente se mantienen temperaturas entre 71 y 77°C que aseguran la destrucción de los organismos patógenos.

Para un "composteo" aerobio eficiente deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. La materia prima debe tener una relación de carbono a nitrógeno de 50 a 1 o menor. No debe tener deficiencias en los elementos alimenticios esenciales (carbohidratos, lípidos, proteínas) y debe estar dentro de un ámbito de pH de 5.5 a 8.
2. El material debe ser molido y mezclado.
3. La humedad debe estar entre 50 y 60%.
4. El aire debe encontrarse perfectamente disperso en el material en "composteo," debe haber siempre un exceso de oxígeno.
5. Debe recircularse de 1 a 10% del "compost" producido para que sirva como semilla en la generación de más "compost."

Es difícil decir exactamente cuales son las ventajas y desventajas de este método que tiene un potencial considerable - pero que no ha sido adecuadamente usado y probado. No obstante, de la experiencia obtenida en plantas pilotos de Europa - y Estados Unidos de Norteamérica, se mencionaran las siguientes ventajas y desventajas.

#### Ventajas:

1. Una planta de "compost" da un producto utilizable que puede venderse, pagándose así, o cuando menos disminuyendo los costos.
2. Normalmente el "composteo" ofrece condiciones favorables para la recirculación de trapo, papel, cartón, vidrio, latas y metales.
3. El clima no afecta a las plantas de "compost" bajo techo.
4. Una planta de "compost" bien localizada reduce los costos de transporte.

#### Desventajas:

1. Los costos son relativamente altos ( \$ 50.00 M.N., por tonelada).
2. Si el producto tiene valor comercial, esto todavía no está comprobado y su uso estacional requeriría de procedimientos de mercadeo especiales o almacenamiento a cielo abierto.

3. Personal entrenado para operar este tipo de plantas no es fácilmente asequible.
4. Conseguir el sitio adecuado para la construcción de la planta, es difícil pues cualquier sistema de disposición de basura se considera ofensivo por la mayoría de los vecinos de las zonas aledañas.

### 2.2.3 Incineración.

La incineración de basura es el proceso de reducción de desechos combustibles a un residuo inerte mediante la combustión a elevadas temperaturas. Generalmente abate los costos de recolección y transporte de la basura, pero deben considerarse las distancias de transporte de cenizas y chatarra, subproductos de la incineración.

En las grandes ciudades la selección del sitio adecuado para la instalación de la planta es siempre un problema. Es recomendable elegir puntos céntricos para disminuir los costos de transporte pero con esto seguramente se tendrán protestas por parte de los vecinos que temen malos olores, humos, ruidos, tráfico intenso de camiones recolectores de basura y abatimiento del valor de terrenos y edificios. Además los vecinos siempre temen que el incinerador luzca como una fábrica y por más que los arquitectos diseñen exteriores agradables la presencia de la chimenea anula la labor de convencimiento.

Esto puede superarse usando extractores de con --

vección forzada; aún así en algunas ciudades pueden existir reglamentos de urbanización que prohíban la instalación de plantas de incineración.

Básicamente un incinerador se compone de las siguientes partes: 1) báscula para camiones; 2) plataforma de descarga; 3) fase de almacenamiento de los residuos sólidos que se van a quemar; 4) Equipo de alimentación al incinerador; 5) horno; 6) ventiladores; 7) chimenea; 8) precipitador electrostático; 9) fosa de cenizas.

1) Básculas. Las básculas para pesar los camiones recolectores de residuos sólidos y registradores pueden ser del tipo mecánico convencional con operación mecánica. O pueden ser del tipo, más sofisticado, de equipo electromecánico que registra información concerniente a carga neta, tipo de basura, punto de origen, identificación del camión y del operador, fecha y hora en que se pesa al camión.

Las básculas deben estar cerca del punto de entrada a la plataforma de descarga.

2) Plataforma de Descarga. Consiste en una area pavimentada sobre la cual se maniobran los camiones antes de vaciar su carga a la fosa de almacenamiento. Puede estar dentro o fuera del edificio dependiendo del clima, el dinero disponible, y del tipo de vecindad existente en el lugar de la planta.

3) Fosa de Almacenamiento. El almacenamiento de basura tiene por finalidad detener un tiempo la basura que no puede introducirse inmediatamente al horno asegurando, además, la continuidad en la alimentación al incinerador.

Las fosas de almacenamiento se construyen abajo del nivel de la plataforma de descarga y su capacidad varía de 12 a 36 horas de la capacidad de incineración. En este estudio se -- selecciona una capacidad para 15 horas de operación.

4) Equipo de Alimentación al Incinerador. La tolva y la grúa son los principales mecanismos para alimentar basura al horno.

La tolva mantiene un flujo uniforme y se localiza arriba de la parrilla del horno de modo que los residuos sólidos - desciendan y caigan sobre ella.

Para incineradores de más de 300 ton/día es indispensable una grúa de puente, con velocidades de ascenso del - tranvía de 1.52 m/seg. y velocidad del puente de 1.78 M/seg.

5) Horno. Consiste de una estructura cerrada y recubierta con material refractario, equipada con parrillas y alimentada con grandes volúmenes de aire, donde tiene lugar la mayor parte del quemado de la basura. El horno incluye las cámaras de ignición y combustión donde se efectúa, además del quemado, el precalentamiento, secado e ignición de los desechos.

El horno debe ser operado entre 700 y 1100 °C. El límite inferior asegura la destrucción de los aldehidos, mercaptanos y otros hidrocarburos de olor desagradable; la operación a temperaturas superiores al límite de 1100°C ocasionará deterioro de los refractarios y la velocidad alcanzada por los gases generados no permitirá una separación efectiva de las cenizas volátiles.

La experiencia ha demostrado que los dos principales elementos de diseño son el área de la parrilla y el volumen de combustión. Para una incineración óptima, la carga debe estar basada en un desprendimiento de calor de  $812,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2}$  <sup>(2)</sup>. El volumen de combustión se calcula en base a un desprendimiento de calor de  $178,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^3}$  <sup>(2)</sup>. Sin embargo para la basura, que varía en cantidad de materia combustible, humedad, densidad y composición química, es recomendable calcular el area de la parrilla en base a  $283-532 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$ , la cámara del horno (cámara primaria) en base a  $0.024-0.071 \frac{\text{m}^3}{\text{Ton}/24 \text{ h}}$ , y la cámara de combustión (cámara secundaria) en base a  $0.0342-0.079 \frac{\text{M}^3}{\text{Ton}/24\text{h}}$ . Los diseños efectuados según esta regla empírica deben compararse en detalle por cálculos termodinámicos de balances de materia y calor, volumen y velocidad del aire, y temperatura de operación.

6) Ventiladores. Su función es suministrar aire adecuada - mente distribuído al proceso de combustión. El 85% de dicho - aire se alimenta por debajo de la parrilla y se designa como aire primario. El 15% restante o aire secundario se introduce por arriba del fuego con el fin de mantener la turbulencia y el oxígeno necesario para completar la combustión de los gases y partículas que emanan del lecho de combustión.

7) Chimenea. Es un ducto vertical que conduce los produc - tos de combustión hacia la atmósfera e induce una succión o -- presión negativa que ayuda a la combustión. Esta succión se - origina como consecuencia de la diferencia de temperatura, y por lo tanto de densidad, de los gases de combustión y del - aire atmosférico; de modo que la succión es función tanto de la diferencia de temperaturas mencionadas como de la altura - de la chimenea. La altura y el diámetro de una chimenea se - determina por la succión requerida, la velocidad de los ga - ses y el volumen de los mismos. La succión o tiro generalmen - te varía entre 5 y 10 cm. de agua y la velocidad de los gases entre 8 y 16 m/seg. La tendencia actual es la de diseñar chi - meneas cortas que reducen el peligro para la aviación y deva - lúan menos los inmuebles de la zona. Para esto es necesario - substituir el tiro natural por un tiro inducido suministrado por extractores. Sin embargo, la difusión de contaminantes gaseosos es menor en chimeneas cortas.

#### 2.2.4 Pirólisis.

Este método se encuentra aún en su fase experimental y apenas se están dando los primeros pasos para su aplicación en gran escala. El proceso de la pirólisis consiste en un calentamiento a  $500^{\circ}\text{C}$  en ausencia de oxígeno, lo que favorece la partición de moléculas de peso molecular elevado en otras más pequeñas. La aplicación de este proceso a los residuos sólidos da como productos carbon, alquitrán, agua, aceite ligero y gas.

El reactor semicontínuo que se ha usado en la experimentación de la pirólisis de residuos sólidos se muestra en la figura 1.1. En dicho reactor se pueden pirolizar 2.3 Kg/hora de basura y es mediante el mismo que se observó la factibilidad de obtener un barril de aceite por cada tonelada de residuos sólidos. En teoría este proceso, además de resolver un problema, permitirá obtener algunos ingresos.

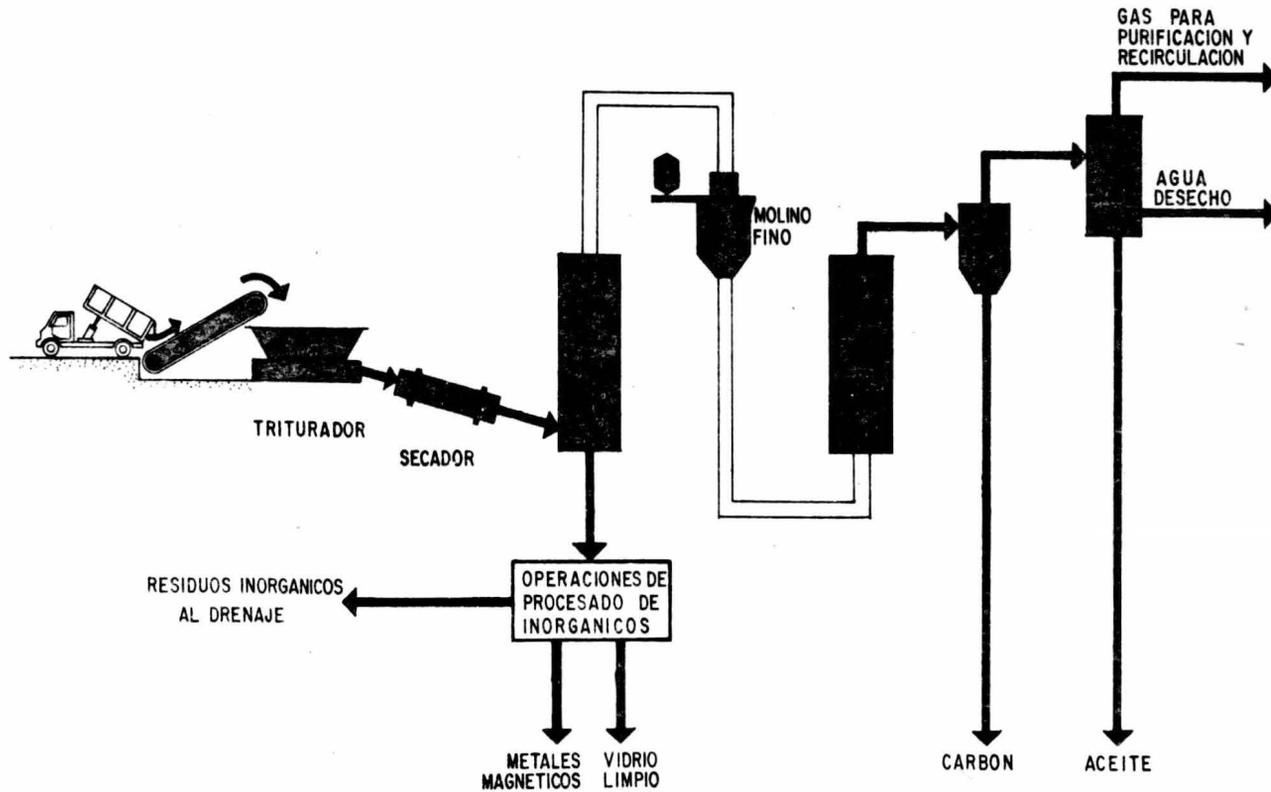


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PIROLISIS

FIGURA 2.1

### 3. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA INCINERACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN EL DISTRITO FEDERAL.

#### 3.1 Propiedades Combustibles de los Residuos Sólidos.

##### 3.1.1 Muestreo.

No habiéndose efectuado previamente estudios metódicos acerca de la naturaleza de la basura, ni en el Distrito Federal ni en ninguna otra ciudad de la República Mexicana, se revisó la bibliografía de otros países para desarrollar el método de muestreo adecuado a las condiciones existentes y facilidades disponibles.

Inicialmente se pensó en usar los 27 sectores de limpia existentes, mostrados en la figura 1.1, como sectores de muestreo. Cada sector tiene un número variable de rutas y de camiones de limpia que se anotan en la tabla 3.1, y la muestra representativa de un sector se formaría tomando aproximadamente 20 Kg. de basura de cada camión hasta completar 200 ó 300 Kg. Siguiendo este método se vió que sólo se lograba caracterizar los residuos de dos sectores por mes; de donde se desprende que la caracterización de todos los sectores requeriría un lapso de un año, tiempo demasiado largo, sin que se lograran detectar las posibles variaciones en la basura como consecuencia de los cambios estacionales de las condicio-

TABLA No. 3.1 NUMERO DE RUTAS Y CAMIONES DE LOS SECTORES DE LIMPIA.

Sector	Número de Rutas	Número de Camiones
	30	36
	24	27
	38	47
	20	29 (3 camiones de mercados)
	12	20
	21	28
	32	44
	29	40
	32	40
	25	37
	19	23
	33	40
	32	36
	28	33
	20	24
	44	53
	40	45 (2 camiones de mercados.)
3	19	22
9	21	22
0	21	26
1	9	9 (1 camión de mercados.)
2	8	10
3	18	25
4	40	40
25	11	15
26	7	10
27	14	17
28 (Sector Flotante)		14
Emergencias *		62

\* Transporta la basura de mercados y barredoras.

nes climatológicas y regímenes alimenticios principalmente.

Por lo mencionado anteriormente, se pensó en diseñar la muestra estadísticamente de modo que no hubiera necesidad de recurrir a un programa de trabajo demasiado laborioso y de larga duración, y se obtuviera información igualmente confiable en un plazo no mayor de tres meses. Con esto se podrían detectar, además, cambios estacionales en la naturaleza de los residuos sólidos de esta ciudad.

Diseño Estadístico del Tamaño de Muestra:

En estadística existen técnicas que permiten calcular el tamaño adecuado,  $n$ , de una muestra cuyo análisis dará información de toda la población ( en este caso el tamaño de la muestra se refiere al número de camiones de limpia muestreados, la población se refiere a los 798 camiones de limpia existentes en todo el Distrito Federal, y la unidad de muestra es un camión ). Sin embargo estas técnicas tienen sus limitaciones y así  $n$  está en función de la media y el error estándar de la propiedad de la muestra que nos interesa. En el caso del análisis de desechos sólidos dicha propiedad puede ser la densidad, composición, poder calorífico, humedad, etc. que es precisamente lo que se quiere cono

cer. No obstante, aprovechando datos existentes de la densidad de los residuos sólidos recabados por la Dirección de Servicios Urbanos se diseñará la muestra en función de esta propiedad y se hará la hipótesis de que el diseño en función de las otras propiedades nos daría tamaños de muestra muy cercanos al obtenido utilizando los datos de densidad.

Sea  $\theta$  un parámetro o propiedad de interés (densidad, composición, humedad, poder calorífico, etc.) y  $\hat{\theta}$  un estimador del mismo. Se busca que  $|\theta - \hat{\theta}| < \delta$ ;  $\delta$  = número real positivo donde  $\delta$  es una cota del error de estimación. Sea  $(1-\alpha)$  la probabilidad de que en muestras repetidas el error de estimación sea menor que  $\delta$

$$P (|\theta - \hat{\theta}| < \delta) = 1 - \alpha$$

$$\text{o lo que es equivalente } P (|\theta - \hat{\theta}| \geq \delta) = \alpha$$

En este problema se usará la siguiente terminología:

$\bar{Y}$  = media aritmética de la población: (peso medio de basura por camión).

$\bar{y}$  = media aritmética de la muestra.

$\delta = \bar{y} - \bar{Y}$  = grado de precisión o margen de error

$\sigma^2$  = variancia de la población.

$$\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \text{error estándar de una población infinita.}$$

$$\sqrt{\frac{N-n}{N}} \frac{\sigma}{n} = \sigma \bar{y} = \text{error estándar de la muestra finita}$$

$n$  = tamaño de la muestra

$N$  = tamaño de la población

haciendo uso de la distribución  $t$ , adecuada para muestras pequeñas, se tiene:

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{Y}}{\sigma \bar{y}} = \frac{\delta}{\sigma \bar{y}}$$

$$\sigma \bar{y} = \frac{\delta}{t}$$

o sea:

$$\frac{\delta}{t} = \sqrt{\frac{N-n}{N}} \frac{\sigma}{n}$$

de donde:

$$n = \frac{\left(\frac{t\sigma}{\delta}\right)^2}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{t\sigma}{\delta}\right)^2}$$

como  $N$  es suficientemente grande

$$n = \left(\frac{t\sigma}{\delta}\right)^2 = \frac{t^2 \sigma^2}{\delta^2}$$

con una media aritmética del peso de basura por camión de 4.8 ton.

y una variancia de 0.43 ton<sup>2</sup>;

$$\sigma^2 = 0.43 \text{ Ton}^2$$

$$\delta = 0.48 \text{ Ton (tomando como margen de error 10\% de la media aritmética)}$$

tica  $\bar{Y} = 4.8$  ton).

$$t = 2.23 \text{ para } \alpha = 5\% \text{ y } 10 \text{ grados de libertad por lo tanto}$$

$$n = \frac{(2.23)^2 (0.43)}{(0.48)^2} = 9.3 \text{ aproximadamente igual a } 10 \text{ grados}$$

de libertad supuestos, por lo que no es necesario otro tanteo.

Según este resultado el estudio de muestras consistentes de 8, 9 y 10 camiones proporcionarán información confiable de los residuos sólidos de la ciudad.

#### Selección de las muestras.

Sobre la base, aceptada comúnmente, de que la naturaleza de los residuos sólidos depende en gran medida del nivel económico de la población se propone consignar a los sectores de limpia en grupos de acuerdo al nivel de ingresos de los ciudadanos a los cuales dan servicio. Estos grupos se designarán con las letras A, B, C, D, E, F, G y de cada uno de ellos se tomarán uno o dos sectores representativos, de donde a su vez se tomarán los 8, 9 o 10 camiones que integrarán la muestra.

El plan completo de selección de las muestras se encuentra en la tabla 3.2 y el procedimiento de la integración de las muestras se representa en la figura 3.1.

TABLA 3.2 AGRUPACION DE DELEGACIONES Y CUARTELES DEL DISTRITO FEDERAL DE ACUERDO AL NIVEL DE INGRESO MEDIO DE SUS HABITANTES.

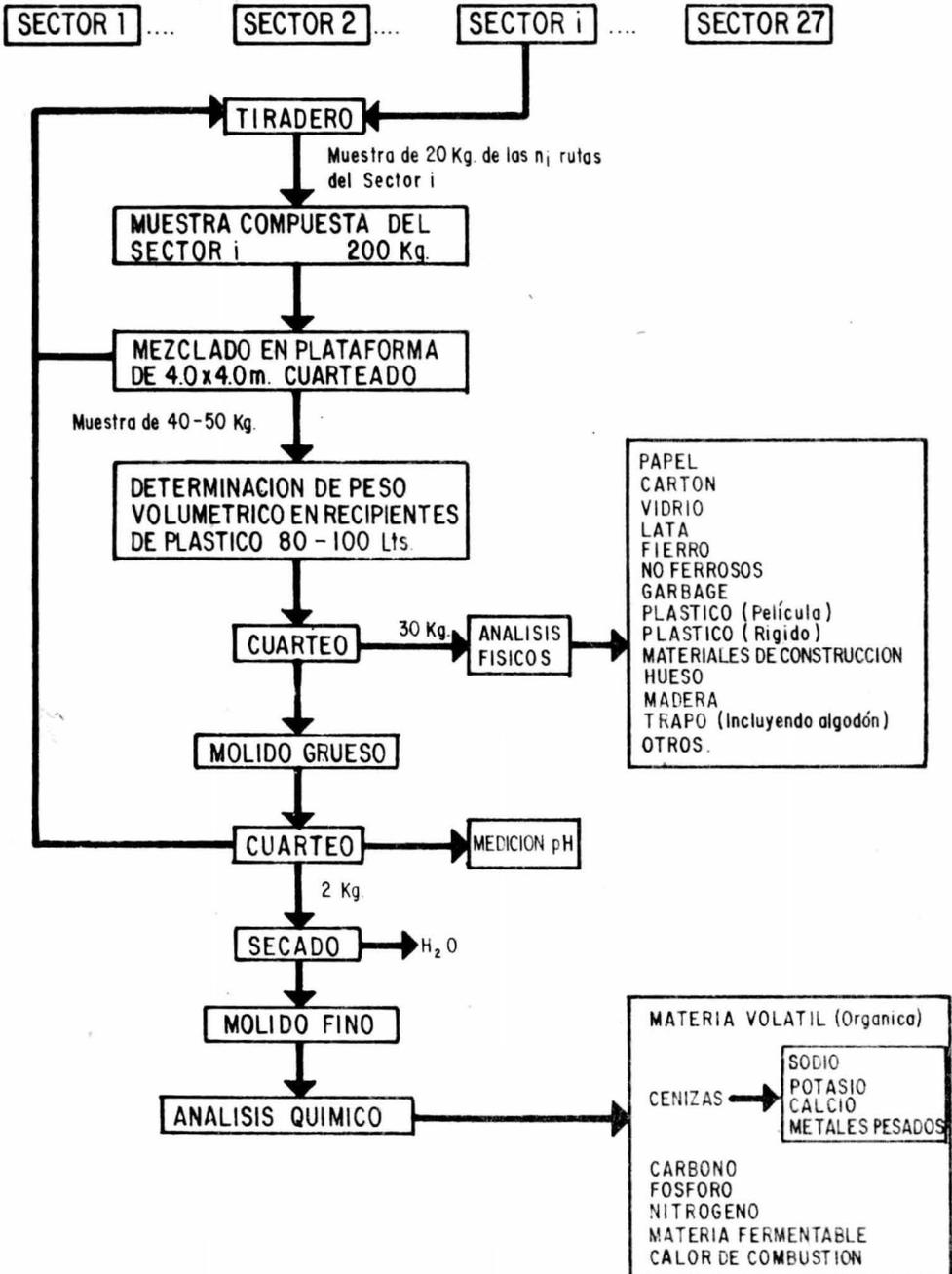
GRUPO	INGRESOS \$/MES DE LA POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA,	DELEGACION O CUARTEL,	DISPERSION RELATIVA DE INGRESOS RESPECTO A LA MEDIANA $\frac{Q}{X} \cdot 100$	POBLACION TOTAL	% DE POBLACION TOTAL QUE ES ECONOMICAMENTE ACTIVA,	SECTORES DE LIMPIA,	SECTOR DE LIMPIA REPRESENTATIVO,
A	450 - 500	Milpa Alta	64	33,557	28.0	27 C	
		Tláhuac	41	62,087	23.3	27 B	
		Xochimilco	61	117,083	27.3	27 A	27
B	800 - 900	Cuajimalpa	40	35,202	26.0	26 B	
		Magdalena Contreras	40	74,776	26.4	26 A	
		Ixtapalapa	43	533,564	27.8	20, 21	
C	900 - 1000	Ixtacalco	42	474,700	29.5	18, 19	20, 24
		Alvaro Obregón	53	466,531	30.1	24	
		Cuartel I ( V. C. ) <sup>a</sup>	15	591,294	31.3	6	
		Cuartel XI ( M. H. )	70	226,017	37.9	10	
		Gustavo A. Madero	45	1,182,895	29.9	15, 16, 17	15, 16
D	1000 - 1100	Coyoacán	74	338,850	32.1	22, 23	
		Tlalpan	65	115,528	34.0	25	
		Atzacapotzalco	48	545,513	29.9	13, 14	
		Cuartel IV ( C. )	50	102,926	38.0	3 (este sector incluye además al cuartel VIII y parte del III).	
		Cuartel VI ( C. )	52	96,870	37.5	11, 12	11, 12
E	1100 - 1200	Cuartel IX ( M. H. )	60	545,710	27.5	11, 12	11, 12
		Cuartel III ( C. )	51	140,615	36.2	5, (incluye parte cuartel V)	
		Cuartel II ( V. C. )	57	308,364	33.9	7, (incluye parte cuartel I)	
		Cuartel V ( C. )	54	113,457	35.6	5, (incluye parte cuartel V)	
F	1200 - 1300	Cuartel XII ( B. J. )	65	302,105	36.3	8, (incluye parte cuartel VIII)	4
		Cuartel VII ( C. )	63	168,689	40.6	4,	
G	1300 - 1400	Cuartel X ( B. J. )	115	197,985	41.0	9,	
		Cuartel VIII ( C. )	98	231,532	43.3	3, (incluye los cuarteles IV, VI y parte del III)	9

Q = rango semi intercuartílico X = mediana

<sup>a</sup> Las letras entre paréntesis corresponden a las iniciales de la Delegación a la cual pertenece el cuartel en cuestión. V. C. Venustiano Carranza; M. H. Miguel Hidalgo; C Cuauhtémoc; B. J. Benito Juárez.

FIGURA 3.1

ESQUEMA DEL PROCESO DE MUESTREO Y ANALISIS DE DESECHOS SOLIDOS EN EL DISTRITO FEDERAL



### 3.1.2 Descripción de los Análisis Efectuados.

Para los fines que se persiguen en este estudio se consideraron necesarias y suficientes las siguientes determinaciones: peso volumétrico, composición porcentual, humedad, materia volátil, cenizas, y calor de combustión.

Peso Volumétrico. Como se muestra en la figura No. 3.1, los 200-300--kg. de basura que se recolectaran en los tiñaderos de los camiones provenientes del sector de limpia en estudio, se mezclan perfectamente y mediante el método de cuarteo se toma una muestra más pequeña, aunque representativa, de unos 40-50 Kg. que se pesan en un recipiente de volumen conocido, 80-100 litros, con lo que se determina el peso volumétrico:

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{peso de basura en el recipiente}}{\text{volumen del recipiente}}$$

Composición Porcentual. De la muestra utilizada para la determinación del peso volumétrico, se tomaran 30 kg. los cuales se separarán ma --nualmente en los siguientes rubros, que comprenden los principales --constituyentes de la mezcla que se conoce con el nombre de basura: pa pel, cartón, vidrio, lata, fierro, metales no terrosos, "garbage," plás tico en película, plástico rígido, materiales de construcción, hueso,

madera, trapo y algodón, y otros.

El peso de cada uno de estos constituyentes divididos entre el peso de muestra analizada, multiplicado por cien dará la composición porcentual de cada una de ellas.

Humedad. Siguiendo el diagrama que se muestra en la fig. 3.1 se ve que después de cuartear 40 Kg de la basura que se usó en la determinación del peso volumétrico se toman 10 Kg los cuales se muelen de una manera gruesa y después de otro cuarteo se toma una muestra de 2 Kg. Esta muestra se deseca en una estufa eléctrica a 110°C hasta que se alcanza un peso constante. El porcentaje de humedad se calcula como sigue.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso de muestra húmeda} - \text{peso de muestra seca}}{\text{peso de muestra húmeda}} \times 100$$

Materia Volátil. La muestra de 2 Kg que se usó para la determinación de la humedad, se muele en un molino Wiley de donde sale con una textura similar a la del talc. La muestra molida se cuarteo sucesivamente hasta formar muestras de 4 g que colocadas en cápsulas de porcelana se queman con un mechero Bunsen de preferencia bajo una campana de extracción, y posteriormente se calcinan en una mufla eléctrica a 600°C durante 4 horas. Por diferencia de pesos se calcula la materia volátil:

$$\% \text{ materia volátil} = \frac{\text{peso de muestra} - \text{peso del residuo de calcinación}}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

Con el dato de materia volátil se pueden calcular el porcentaje de materia orgánica, de carbono y de hidrógeno utilizando fórmulas empíricas determinadas en otros países. (2)

$$\% \text{ materia orgánica} = \% \text{ materia volátil}$$

$$\% \text{ carbono} = \% \frac{\text{materia volátil}}{2.08}$$

$$\% \text{ de Hidrógeno} = \% \frac{\text{materia volátil}}{15.0}$$

Cenizas. La diferencia de porcentaje de materia volátil con respecto a 100 da el porcentaje de cenizas en la muestra.

Calor de Combustión. Esta prueba constituye la parte fundamental de este estudio. Su realización se efectuó en un calorímetro tipo - bomba Parr y el procedimiento seguido se describe a continuación:

- 1) Se coloca un tramo de 10 cm de alambre estándar para calorímetro entre los electrodos de la bomba de oxígeno. Al paso de la corriente este alambre se pondrá incandescente y posteriormente se fundirá; esta acción hace que se quemé la muestra cuyo calor de combustión se busca.
- 2) Se pesan de 0.8 a 1.2 gramos de la basura seca, perfectamente molida y homogeneizada, directamente en la cápsula metálica. Se coloca la cápsula en el aro de la tapa de la bomba cuidando que el alambre haga buen contacto con la muestra.

- 3) Se vierte, con una pipeta un mililitro de agua destilada para que disuelva los vapores ácidos que se desprenderán durante la combustión. Se atornilla la tapa de la bomba firmemente.
- 4) Se llena la bomba con oxígeno a 30 atmósferas manométricas a temperatura ambiente. Si accidentalmente se pone demasiado oxígeno se vacía la bomba y se repite la operación.
- 5) Se llena la cubeta del calorímetro con  $2\ 000 \pm 0.5$  gramos de agua destilada. La temperatura del agua debe estar de  $1.5$  a  $2^{\circ}\text{C}$  abajo de la temperatura ambiente.
- 6) Se coloca la cubeta en la chaqueta calorimétrica y se introduce cuidadosamente la bomba. Se tapa el calorímetro.
- 7) Se monta la banda de hule y se arranca el motor encargado de efectuar la agitación. Se deja trabajando al motor durante 5 minutos hasta alcanzar el equilibrio, térmico. Se ajusta el lente de lectura del termómetro. Se lee y registra la temperatura del calorímetro con una exactitud de  $0.01^{\circ}\text{C}$  durante 5 minutos con intervalos de un minuto.
- 8) Se acciona el interruptor de la unidad de ignición para encender la carga exactamente en el inicio del minuto sexto, registrando el tiempo y temperatura exactos en el punto de encendido.
- 9) Se leen y registran las temperaturas (tomadas sin amplificador) a 45, 60, 75, 90 y 105 segundos después del encendido. Después del período de incremento rápido (más o menos de 4 a 5 minutos después del encendido) se ajustan los lentes de lectura y se registran las temperaturas hasta el centésimo de grado más próximo a intervalos de 1 minuto

hasta que la diferencia en lecturas se mantenga constante durante 5 minutos. Generalmente la temperatura alcanza un máximo y luego desciende lentamente. El incremento neto es igual a la diferencia entre la temperatura inicial en el momento del encendido y la temperatura máxima final de sarrollada en el calorímetro. Se toma el 60% de este incremento neto y se adiciona a la temperatura del punto de encendido. Por interpolación se calcula el tiempo en el cual se alcanza esta temperatura.

- 10) Después de completar estas lecturas, se para el motor, se desmonta la banda de hule, y se levanta la cubierta de la chaqueta; se limpia el bulbo del termómetro con un lienzo limpio hasta quitar cualquier traza de agua, y se coloca la cubierta sobre el soporte; se desconecta la conexión de encendido de la terminal de la bomba y se levanta la cubeta y la bomba fuera de la chaqueta.
- 11) Se remueve la bomba de la cubeta y se alivia la presión residual; se desatornilla la parte superior de la bomba. Se examina el interior de la bomba y se desecha la prueba si se encuentran evidencias de combustión incompleta.
- 12) Se lava el interior de la bomba con un chorro de agua destilada recojiéndose cuantitativamente las aguas de lavado en un matras. Estas aguas de lavado se titulan con una solución alcalina 0.075 N, usando anaranjado de metilo o rojo de metilo como indicador. Después de la titulación se conserva la solución para la determinación posterior de azufre en la muestra.
- 13) Cuidadosamente se quitan las porciones de alambre que no se quemaron, se enderezan y se mide su longitud. Se resta esta longitud de los 10 cm iniciales.

14) Se calcula el calor de combustión de acuerdo a la siguiente fórmula:

a = tiempo de encendido

b = tiempo ( medido hasta el 0.1 minuto más cercano) necesario para que la temperatura alcance el 60% de su incremento neto.

c = tiempo del inicio del período (después del aumento de temperatura) durante el cual la rapidez de cambio de la temperatura es constante.

ta = temperatura en el tiempo de encendido

tc = temperatura.

r<sub>1</sub> = rapidez de aumento de la temperatura durante los 5 minutos -- siguientes al punto de ignición ( °C/min).

r<sub>2</sub> = rapidez de disminución de la temperatura durante los 5 minutos siguientes al tiempo C ( °C/min ). Si la temperatura continuo subiendo en lugar de bajar después del tiempo C, restaigase la cantidad r<sub>2</sub>, ( c · b) en lugar de agregarla en el -- cálculo del aumento de temperatura corregido.

C<sub>1</sub> = mililitros de solución alcalina 0.075 N usada para titular la acidez.

C<sub>2</sub> = porcentaje de azufre en la muestra.

C<sub>3</sub> = centímetros de alambre consumidos en la ignición.

W = energía equivalente de el calorímetro ( dato suministrado por el fabricante) en calorías por grado centígrado.

m = masa de muestra en gramos.

t = tc - ta - r<sub>1</sub> (b-a) + r<sub>2</sub> (c-b)

e<sub>1</sub> = C<sub>1</sub> si se usa álcali 0.0725 N

e<sub>2</sub> = 14 C<sub>2</sub> m

e<sub>3</sub> = 2.3 C<sub>3</sub> cuando se usa alambre de cromo-niquel Parr 45 CIO, o  
= 2.7 C<sub>3</sub> cuando se usa alambre No. 34B & S

Hg = calor de combustión total.

$$Hg = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad [ = ] \quad \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

En la realización de esta prueba se forma algo de agua - por la oxidación del hidrógeno presente en la muestra. Esta reacción - subtrae algo de calor cedido por la combustión y se toma en cuenta - aplicando la siguiente ecuación.

Hn = calor de combustión neto

$$Hn = \frac{Hg - 10.30 (H \times 9)}{1.8} = \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

H = % de hidrógeno en la muestra.

### 3.1.3 Resultados.

Se realizó una campaña de muestreo y análisis durante los meses de Enero y Febrero aplicando las técnicas descritas anteriormente, y con la colaboración de la Dirección de Servicios Urbanos del Departamento del Distrito Federal y de la Sub-Secretaría del Mejoramiento del Ambiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

Los resultados de dicha campaña se presentan en las tablas 3.3 y 3.4, siendo los datos de esta última los de mayor interés para el estudio de incineración, motivo de esta tesis.

Sin embargo no debe perderse de vista que los valores encontrados son representativos de la época de estudio únicamente. La naturaleza de los residuos sólidos seguramente se verá afectada como consecuencia de las variaciones estacionales.

De los datos que se presentan se desprende que el contenido de "garbage" ( material de cocina ) es alto (36.5%), lo cual es propio de países con un nivel económico no alto; esto le confiere a la basura del Distrito Federal una humedad elevada (41.2%), aunque no tanto que requiera el empleo de combustibles auxiliares ( ) en el caso de plantearse su incineración.

Sin embargo debido a que también los porcentajes de plás-

ticos (4.5 %), papel y cartón (21.7%) y trapo y algodón (3.5%), son elevados, los residuos sólidos de ésta ciudad tienen un poder calorífico relativamente elevado (3 000 Kcal/Kg en base libre de humedad y de cenizas).

Es dicho valor del poder calorífico de los residuos sólidos, que por su magnitud, permite secar la basura y aún aprovecharse energía para otros fines, como se verá más adelante.

TABLA 3.3.—COMPOSICION PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DOMESTICOS DEL DISTRITO FEDERAL.

Componente.	11(Ene. 23, 73)	11(Ene. 30, 73)	11(Feb. 6, 73)	16(Feb. 8, 73)	16(Feb. 13, 73)	17(Feb. 20, 73)	17(Feb. 22, 73)	18(Feb. 27, 73)	Promedio.
Papel	18.2	14.7	18.8	17.3	12.7	17.8	17.4	17.2	16.8
Cartón	6.0	5.8	3.3	4.7	3.1	6.3	6.2	4.0	4.9
Vidrio	5.8	14.7	12.2	10.3	7.8	7.3	7.6	3.3	8.6
Lata	6.2	2.5	2.3	4.7	2.2	2.0	2.4	1.8	3.0
Fierro	-	0.4	-	-	-	-	-	-	0.1
Metales no ferrosos	-	0.2	-	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
Desperdicios de cocina	24.8	34.0	53.0	43.0	35.8	34.0	35.4	32.3	36.5
Plástico película	2.2	2.3	2.9	3.4	2.3	5.9	4.2	1.2	3.1
Plástico rígido	2.0	1.0	1.5	3.4	0.3	1.0	1.0	0.8	1.4
Materia de construcción	2.2	3.6	-	1.0	4.8	2.3	2.7	2.6	2.4
Hueso	2.0	3.7	1.5	2.8	1.4	1.2	1.2	1.9	2.0
Hule	1.0	-	-	-	1.8	-	-	-	0.4
Madera	0.2	0.2	-	-	-	0.6	0.6	0.4	0.3
Trapo y algodón	1.5	3.1	3.3	3.4	2.4	4.9	5.6	3.8	3.5
Cuero	-	0.8	-	-	1.4	1.3	1.3	0.4	0.7
Finos no separables ***	26.4	13.2	1.0	4.1	11.0	10.8	12.6	15.2	11.8
Materia perdida ****	1.5			-	13.1	3.8	1.1	14.9	4.3

\* Número de sector muestreado.

\*\* Fecha de muestreo.

\*\*\* Materia de tamaño inferior a 1 cm.

\*\*\*\* Materia que se pierde durante la separación física de los materiales y el pesado de los mismos.

TABLA 3.4

PARAMETROS DE IMPORTANCIA EN LA INCINERACION  
DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL DISTRITO FEDERAL.

P A R A M E T R O	No. de Sector Muestreado ( fecha de muestreo)								PROMEDIO
	11 (Ene.23)	11 (Ene.30)	11 (Feb.6)	16 (Feb.8)	16 (Feb.13)	17 (Feb.20)	17 (Feb.22)	18 (Feb.27)	
Peso Volumétrico ton/m <sup>3</sup>	0.26	0.29	0.25	0.24	0.28	0.25	0.24	0.27	0.26
Humedad, %	37.5	45.6	45.6	35.2	41.3	31.8	52.6	40.0	41.2
Materia volátil, %	90.0	90.5	89.5	92.5	88.0	91.0	91.3	87.7	90.1
Cenizas, %	10.0	9.5	10.5	7.5	12.0	8.9	8.6	12.2	9.9
Hidrógeno, %	6.0	6.04	5.96	6.16	5.86	6.06	6.09	5.85	6.0
Carbono, %	43.3	43.5	43.0	44.5	42.3	43.8	43.9	42.1	43.3
Azufre, %	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
Poder calorífico grueso, Kcal/Kg	2160		3810	3700	3850	3300	2860		3300
Poder calorífico Neto, Kcal/Kg	2065		3500	3260	3540	2970	2540		3000

### 3.2 Anteproyecto de Incineración con Recuperación de Energía.

#### 3.2.1 Antecedentes Históricos de la Incineración de Residuos Sólidos.

Con el fin de tener algunas nociones de la evolución que ha sufrido la idea de incinerar los residuos sólidos de las ciudades a través de diferentes épocas y en diferentes lugares se presenta a continuación una reseña de la historia de la incineración de residuos sólidos.

#### Evolución de los Incineradores en Europa

A Mr. Alfred Fryer de Nattingham, Inglaterra se le ha dado el crédito de diseñar el primer incinerador de basura. El inventó el Destructor Fryer en 1874 que constituyó el primer incinerador municipal. Sin embargo, a consecuencia de los malos olores que producía salió al mercado el Jones Fume Cremator en 1839 diseñado por Charles Jones de Ealing, Inglaterra, que utilizaba coque como combustible auxiliar.

A principios del siglo XX, Bulnois y Brodie inventaron un método de alimentación de basura que usaron en conjunción con 12 celdas Fryer y un Jones Fume Cremator.

En 1893 hizo su aparición el sistema de ayuda -- mutua en el cual la cámara de combustión se dividió en dos celdas separadas con controles de aire y fuego separados. El aire inducido artificialmente es el factor principal para lograr altas temperaturas (680-1200°C). Fue aquí donde se observó que se estaba desperdiciando una gran cantidad de calor que podía ser aprovechada para diversos usos tales como generación de vapor, generación de electricidad, etc.

En la Europa continental, los primeros incineradores se construyeron en Alemania en 1896, con una temperatura de operación de 200°C.

La única innovación fundamental hecha a los incineradores en Europa después del sistema de ayuda-mutua fue el iniciador de horno rotatorio (tipo Volund) que se hizo en Dinamarca en 1930. Otra innovación importante se tuvo hasta los primeros años de la década 50 con la introducción de parrillas atizadas mecánicamente. Estas parrillas constituyen la diferencia fundamental entre los incineradores antiguos y los incineradores modernos.

Evolución de los Incineradores en Estados Unidos de Norteamérica. ( EU ).

El primer incinerador que tuvo éxito en EU fué - el construído en 1885 por el Tnte. H. I. Reilly. Este incinerador -- consistía básicamente de una cámara de ladrillo con una parrilla de secado de "garbage" colocada arriba de una parrilla primaria. - La masa húmeda de "garbage" se secaba gradualmente por el calor -- procedente de la combustión de carbón o madera en la parrilla -- primaria, usando convección natural. En este primer incinerador el quemado se efectuaba lentamente y a baja temperatura.

Los primeros incineradores no tuvieron tanto éxito como los británicos debido a la tendencia de adaptar incineradores existentes para otros fines sin efectuar primero estudios de ingeniería. Esto hizo exclamar a Mr. M.N. Baker " En ninguna rama de los servicios municipales se ha progresado tan poco como en la disposición del "garbage." Esto se debe a que ni las autoridades ni el público en general aprecian la recolección y disposición sanitaria de las mismas; y, además, porque rara vez se reconoce que los problemas incidentes en la disposición final de la basura son en medida importantes, de caracter ingenieril y que, por lo tanto, deben ser recomendados a ingenieros".

En 1901 se construyó el primer incinerador Decarie. En este incinerador se producía vapor suficiente para accionar -- los ventiladores de convección forzada.

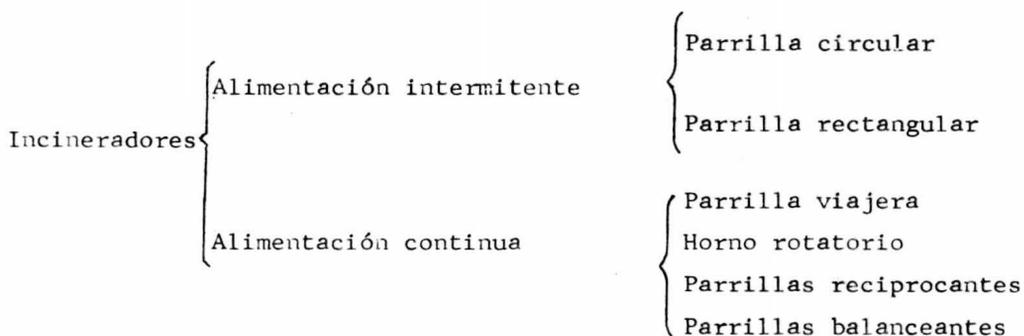
El primer incinerador para quemar basura, en lugar del puro "garbage"; se construyó en New York en 1905. En 1906 se --- instaló en Montreal una planta productora de electricidad. El ma-- yor cambio que se hizo a los incineradores de tipo ayuda-mutua in-- troducidos de Inglaterra fué el reemplazamiento del hogar de se-- cado por una parrilla en 1940.

Las parrillas atizadas automáticamente se introduje-- ron en los últimos años de la década 1940-50 ( anteriormente las - parrillas estaban diseñadas para sostener el lecho de material com-- bustible y permitir el flujo de aire a través del mismo; estas con-- sistían de rejas de hierro colado). También se introdujeron venti-- ladores de convección forzada, precalentadores de aire y válvulas para controlar la entrada de aire.

Hasta 1949 el único tipo de incinerador atizado me-- canicamente fué el "horno rotatorio". En 1949 se instaló en la plan-- ta de St. Louis Missouri un incinerador con atizadores balancean-- tes y en 1953 se instalaron en New York atizadores de parrillas -- viajeras.

### Configuración de los Incineradores Actuales

El diseño de los incineradores está influenciado en gran medida por el tipo de parrilla que se seleccione. Una clasificación general de los incineradores se presenta en el siguiente esquema.



Actualmente la mayoría de los incineradores europeos utilizan el calor generado en la incineración de la basura para la producción de vapor o electricidad.

Algunos de los incineradores Europeos que tienen diseños de parrillas especiales son el Volund (Paris, Francia), Martín (Munich, Alemania), Düesseldorf (Düesseldorf, Alemania), Van Roll (Hamburgo, Alemania), Kamap (Düesseldorf, Alemania) y Esslinger.

En el Japón se empezó a desarrollar la tecnología de la incineración de basura en 1955, aunque las temperaturas alcanzadas eran muy bajas y la combustión muy pobre. Sin embargo - en 1963 el gobierno japonés puso en marcha un plan de cinco años para desarrollar la tecnología mencionada mediante estudios de incineración en América y Europa y caracterización de los residuos sólidos de las ciudades japonesas. En la actualidad cuentan con los siguientes diseños típicos: planta de Edogama (Tokio), incinerador de Isogogo, planta Nishi-Yodo (Osaka), planta de la Ciudad de Kamakura, incinerador Mitsubishi.

### 3.2.2. Cálculo de los incineradores .

Se ha establecido antes que las partes importantes que constituyen un incinerador son: sistema de alimentación, parrillas, enfriadores de cenizas, enfriadores y limpiadores de los gases, chimenea, sistema de eliminación de cenizas. No es la finalidad de este trabajo el diseño detallado e integral del incinerador sino demostrar mediante un balance de energía y un análisis económico la factibilidad técnica y económica de la disposición de la basura mediante la incineración. Es necesario mencionar también que este estudio no toca el aspecto de contaminación atmosférica (bajo las condiciones de operación del incinerador se forman óxidos de nitrógeno, NO y NO<sub>2</sub>, que originan el smog fotoquímico, además de que los gases de combustión acarrean cantidades considerables de cenizas) ni de su control (mediante lavadores de gases y precipitadores electrostáticos).

El diseño se hará en función de las características de los incineradores Düsseldorf como el presentado en la figura 3.2 por ser esta una de las compañías que ha construido mayor número de unidades en el mundo lo que, obviamente, garantiza mayor experiencia y conocimiento del problema.

El cálculo de los incineradores se hará en base a los datos obtenidos experimentalmente ex profeso para este estudio. Se tratará, hasta donde sea posible, de que el planteamiento sea lo más racional; sin embargo en numerosos puntos habrá de recurrir

se a los datos empíricos y a las recomendaciones de constructores y expertos en la materia.

Se hace a continuación el cálculo funcional de una de las tres unidades que se proponen para incinerar la basura que genera actualmente el Distrito Federal. Se limitará este estudio a contemplar las condiciones actuales del problema, sin pretender siquiera analizar su proyección hacia el futuro.

a) Datos del problema.

Basura generada en el D. F.	5 000 T/día
Capacidad de cada incinerador	1 640 T/día
Poder calorífico de los residuos sólidos en base libre de humedad y cenizas	3 000 Kcal/Kg
Húmedad de los residuos sólidos	41.2 %
Contenido de cenizas	10 %
Número de incineradores	3

b) Cálculo de las parrillas

Capacidad necesaria de incineración:

$$1640 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{14 \text{ hrs.}} \times \frac{1\,000 \text{ Kg}}{1 \text{ Ton}} = 68\,300 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

De los datos presentados en la tabla 3.5 se ve que se hace necesaria la instalación en paralelo de 3 parrillas MW9 lo que daría una capacidad de  $78\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$  o sea 14.2 % de sobrediseño.

Cada parrilla con 6 cilindros de 1.5 m y 5.6 m de diámetro y longitud respectivamente y con 1.14 m de separación entre

TABLA 3.5 CARACTERISTICAS DELAS PARRILLAS DUSSELDORT

Tipo	Capacidad de Incineración Kg/ h	Número de Cilindros	Diámetro de Cilindros m	Longitud de Cilindro m
MW1	4 000	6	1.5	1.6
MW2	6 000	6	1.5	2.1
MW3	8 000	6	1.5	2.6
MW4	10 000	6	1.5	3.1
MW5	12 000	6	1.5	3.6
MW6	15 000	6	1.5	4.1
MW7	18 000	6	1.5	4.6
MW8	22 000	6	1.5	5.1
MW9	26 000	6	1.5	5.6
MW10	30 000	6	1.5	6.1

\* Estas capacidades se tienen cuando se quema basura con un poder calorífico inferior entre 800 y 2 200 Kcal / Kg.

cilindro y cilindro; de acuerdo a la figura 3.2 tendrá una área de:

$$\text{Area por parrilla} = 6 (5.6) 1.5 + 5 (5.6) (0.3) = 58.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total de parrillas} = 58.8 \times 3 = 176.4 \text{ m}^2$$

$$\text{Capacidad de las parrillas} = \frac{68\,300 \text{ Kg/h}}{176.4 \text{ m}^2} = 387.2 \frac{\text{Kg}}{\text{h m}^2}$$

Lo cual está dentro de las condiciones de operación promedio como se vió en el inciso 2.2.3.

La ubicación de las parrillas, considerando la figura 3.2 requerirá un espacio aproximado de 11.6 m en el sentido del flujo por 21.8 m en la dirección perpendicular al flujo como se muestra en la figura 3.2 a.

c) Volumen de la cámara de combustión.

En el inciso 2.2.3 se mencionó que el cálculo del volumen del incinerador se hace en base a un desprendimiento de calor de  $178\,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h m}^3}$  por lo que:

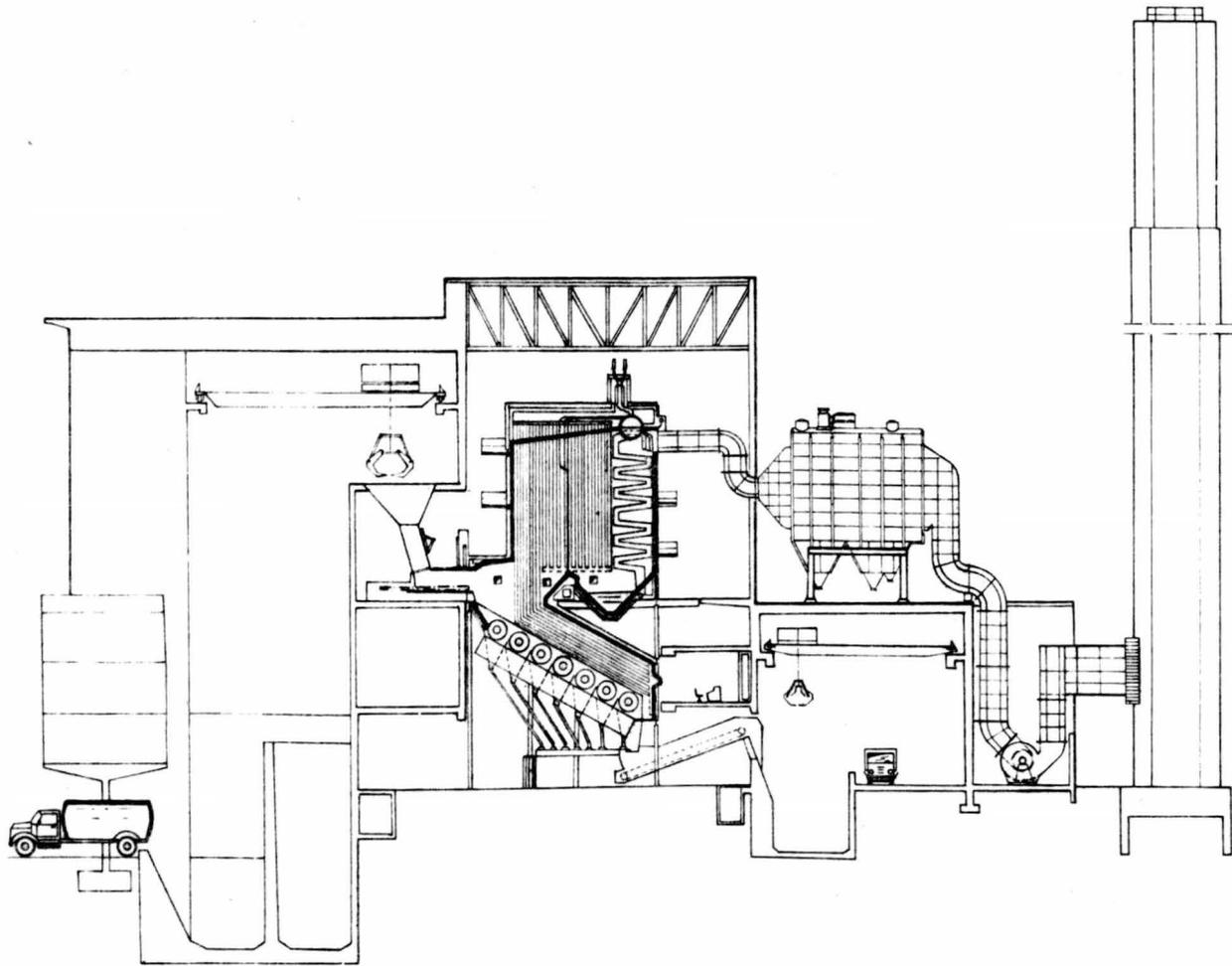
Calor desprendido por la combustión de los residuos sólidos:

$$3\,000 (1 - 0.412 - 0.1) = 1464 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$(1\,464 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}) (68\,300 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}) = 100,000,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

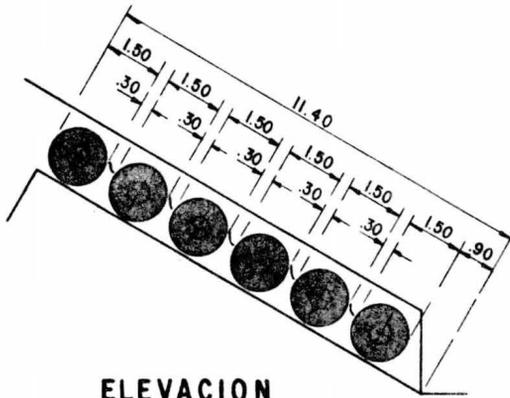
$$\text{Volumen de la cámara de combustión: } \frac{100,000,000 \text{ Kcal/h}}{178,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h m}^3}} = 561 \text{ m}^3$$

$$\text{Altura de cámara: } \frac{561 \text{ m}^3}{176.4 \text{ m}^2} = 3.18 \text{ m}$$

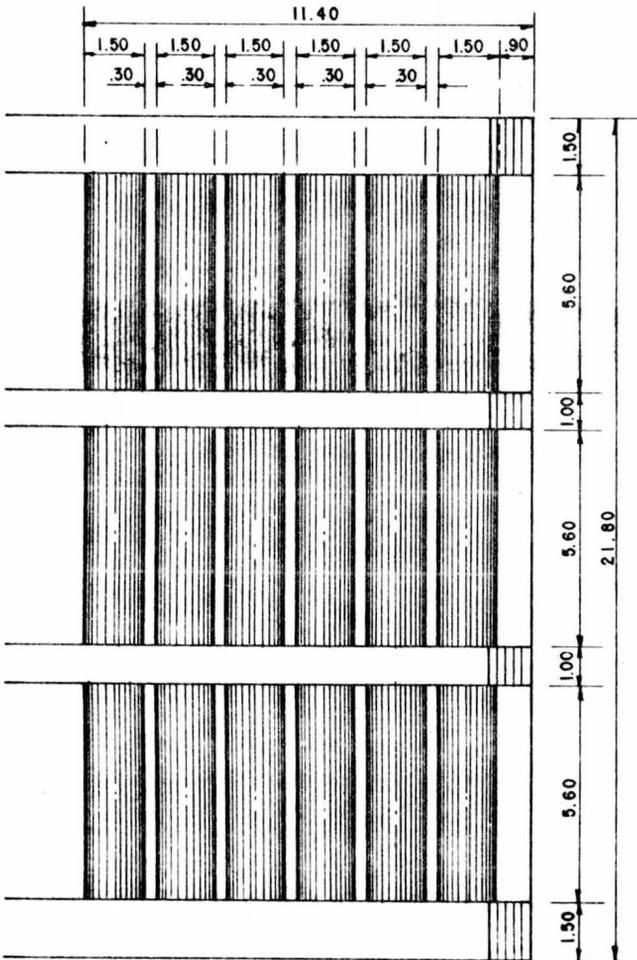


INCINERADOR DUESSELDORF

FIGURA 3.2



ELEVACION



P L A N T A

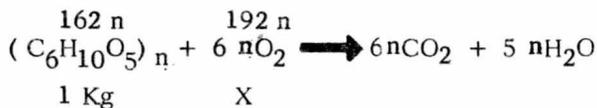
DISPOSICION DE LAS PARRILLAS

d) Necesidades de aire.

El cálculo del aire necesario se hará en base al aire teórico o estequiométrico que necesita la celulosa para su combustión, ya que es este compuesto el principal constituyente de la basura libre de humedad y de cenizas.

Además la celulosa tiene un poder calorífico bien determinado de  $4\,450 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg de celulosa}}$ , lo que facilita mucho los cálculos (1).

La fórmula de la celulosa es  $(C_6H_{10}O_5)_n$  y la ecuación química que describe su combustión es la siguiente:



Oxígeno teórico requerido para oxidar 1 Kg de celulosa:

$$X = \frac{192 n}{162 n} \times 1 \text{ Kg} = 1.182 \text{ Kg de } O_2/\text{Kg de celulosa.}$$

Aire teórico necesario.

Tomando la composición del aire como 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno en volumen, se calculará la composición en peso para determinar el aire teórico necesario:

Base: 100 gmol de aire.

Componente	% mol	No. de gmol	P.M.	g	% peso
O <sub>2</sub>	21	21	32	672	23.3
N <sub>2</sub>	79	79	28	2212	76.7
				<u>2884</u>	<u>100.0</u>

Por lo que: % en peso de oxígeno en el aire = 23.3%

$$\begin{aligned} \text{Aire teórico requerido} &= \frac{1.182 \text{ Kg de O}_2 / \text{Kg celulosa}}{23.3 \text{ Kg de O}_2 / 100 \text{ Kg aire}} \\ &= 5 \frac{\text{Kg de aire}}{\text{Kg de celulosa}} \end{aligned}$$

Con el fin de asegurar una combustión completa, se considera un exceso de aire que se calcula en la siguiente forma:

Aire en exceso

Considerando la figura 3.3 tomada de la referencia (1) se observa que el exceso de aire requerido se determina en función de la humedad de la basura y de la temperatura del horno. La primera es de 41.2 % y la segunda se tomará de 1 100° C de acuerdo a las consideraciones presentadas en el inciso 2.2.3.

Por lo tanto:

$$\text{Aire en exceso} = 70 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Aire alimentado} &= 5 (1 + 0.7) \frac{\text{Kg de aire}}{\text{Kg de celulosa}} \\ &= 8.5 \frac{\text{Kg de aire}}{\text{Kg de celulosa}} \end{aligned}$$

Los cálculos siguientes se efectúan tomando como base de referencia 10<sup>6</sup> Kcal desprendidas.

$$\begin{aligned} \text{Aire por } 10^6 \text{ Kcal} &= \frac{8.5 \text{ Kg aire}}{\text{Kg celulosa}} \times \frac{1 \text{ Kg celulosa}}{4 450 \text{ Kcal.}} \\ &= 1.9 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kcal}} = 1910 \frac{\text{Kg aire}}{10^6 \text{ Kcal}} \end{aligned}$$

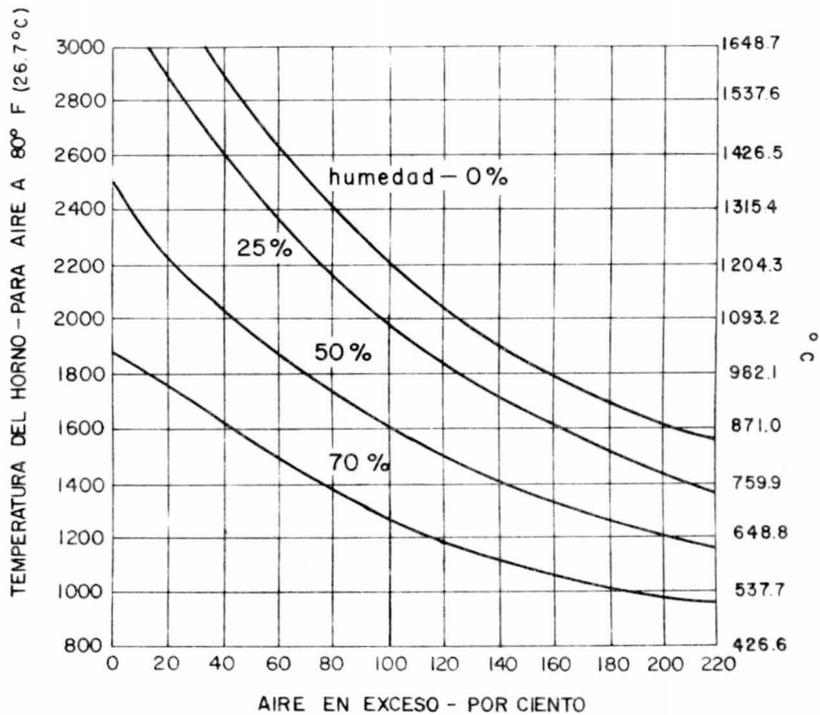


Fig. No. 3.3 Temperatura del gas del horno en un horno refractario en términos de exceso de aire y — contenido de humedad.

$$\begin{aligned}\text{Aire total alimentado} &= 1\,910 \frac{\text{Kg aire}}{10^6 \text{ Kcal}} \times 100 \times 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \\ &= 191 \times 10^3 \frac{\text{Kg aire seco}}{\text{hr}}\end{aligned}$$

Para determinar el volumen de aire se calcula su densidad a 585 mm Hg y 22° C.

$$d = \frac{PM}{RT} = \frac{(0.77 \text{ atm}) (29 \text{ Kg/Kgmol})}{(0.082 \frac{\text{atm m}^3}{\text{Kgmol}^\circ\text{K}}) (295^\circ\text{K})}$$

$$d = 0.92 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Volumen de aire seco alimentado} = \frac{191\,000 \text{ Kg/hr}}{0.92 \text{ Kg/m}^3} = 208\,000 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

Considerando una hñedad relativa y temperatura de 40% y 22° C respectivamente (es decir una hñedad absoluta  $H = 0.007 \text{ Kg}$  de agua/ Kg de aire).

El volumen de aire hñedo será de:

$$V_H = \frac{760}{585} \left[ \frac{(22.4 \frac{\text{m}^3}{\text{Kgmol}}) (t+273)^\circ\text{K}}{(29 \frac{\text{Kg}}{\text{Kgmol}}) (273)^\circ\text{K}} + \frac{22.4 \frac{\text{m}^3}{\text{Kgmol}} (t+273)^\circ\text{K} H \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg aire}}}{(18 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kgmol}}) (273)^\circ\text{K}} \right]$$

$$V_H = 1.097 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{Kg aire}}$$

$$\begin{aligned}\text{Volumen de aire hñedo alimentado} &= 1.097 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \times 191\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \\ &= 209\,527 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Masa de agua en el aire} \\ \text{alimentado (hñedad)} &= 0.007 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg aire seco}} \times 191\,000 \frac{\text{Kg aire seco}}{\text{hr}} \\ &= 1\,337 \frac{\text{Kg agua}}{\text{hr}}\end{aligned}$$

Este aire se alimentará por convección forzada utilizando para ello sopladores, alimentando el 5% sobre el fuego y el 85% restante bajo fuego.

e) Cálculo de los sopladores.

Los sopladores alimentarán el 85% del aire total por debajo del lecho de basura o sea:  $0.85 (209,527 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}) (\frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ seg}})$   
 $= 49.4 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} .$

Para lo cual tienen que vencer la resistencia presentada por un espesor de basura que se calcula como sigue:

$$\text{Capacidad de las parrillas} = 387 \frac{\text{Kg}}{\text{h m}^2}$$

$$\text{Peso volumétrico de la basura húmeda} = 260 \text{ Kg/m}^3$$

Tomando como base una hora:

$$\text{Espesor inicial del lecho} : \frac{387 \text{ Kg/m}^2}{260 \text{ Kg/m}^3} = 1.49 \text{ m}$$

Según la opinión de expertos en esta materia, un espesor de 1 m origina una caída de presión de 16 pulgadas de agua. Comparada con esta, se considerará despreciable la caída de presión por fricciones en los ductos.

McCabe (6) presenta los siguientes datos de eficiencias para ventiladores centrífugos.

Eficiencia estática,  $n_s$  ..... 60 %

Eficiencia dinámica,  $n_d$  ..... 40 %

Eficiencia total,  $n$  ..... 70 %

Con los cuales se calculará la potencia necesaria de los ventiladores.

$$\text{Potencia} = \frac{W \Delta P}{N_s \rho}$$

donde: W = gasto en masa de aire

$$= 191,000 + 1\,337$$

$$= 192,337 \frac{\text{Kg de aire húmedo}}{\text{h}}$$

$$\Delta P = \text{caída de presión} = (16 \text{ in H}_2) (1.49)$$

$$= 23.5 \text{ in de agua} = 0.06 \text{ Kg/cm}^2$$

$N_s$  = eficiencia estática (eficiencia con la cual se convierte la energía eléctrica en presión) = 0.6

$\rho$  = densidad del aire húmedo

$$= \frac{192\,337 \text{ Kg/h}}{209\,527 \text{ m}^3/\text{h}} = 0.92 \text{ Kg/m}^3$$

Sustituyendo valores, la potencia resulta de: P = 569 Kw

Así la potencia necesaria para ventilación es de 569 Kw por incinerador. Como se pondrán 3 parrillas en paralelo para cada incinerador se suministrará el aire mediante 3 ventiladores de  $\frac{569}{3} = 190$  Kw cada uno.

En resumen, se solicitarán ventiladores a los fabricantes con las siguientes características:

Número de ventiladores por incinerador : 3

Capacidad de cada ventilador : 69 842 m<sup>3</sup>/h

Presión de entrega del aire (Patm + P) : 0.853 Kg/cm<sup>2</sup>

Potencia de cada ventilador : 190 Kw. ( 255 HP)

f) Volumen de gases generado.

Para calcular el volumen de gases generado, hay que considerar lo siguiente:

- . Agua que entra con la basura, agua que entra con el aire, agua formada durante la combustión y agua para enfriamiento de cenizas.
- . Dióxido de carbono que se forma durante la combustión.
- . Oxígeno que sale en los gases.
- . Nitrógeno que entra en el aire.
- . Dióxido de azufre formado por la combustión.

Agua que entra con la basura, agua que entra con el aire, agua formada durante la combustión y agua para enfriamiento de cenizas.

Agua que entra con la basura:  $0.41(68\ 300 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}) = 28\ 000 \text{ Kg/h}$

Agua que entra en el aire = 1 337 Kg/h

Agua que se forma durante la combustión; esta se forma de acuerdo a la siguiente ecuación química  $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Como el hidrógeno que entra con la basura es:

$$0.06 (1 - 0.412 - 0.1) (68\,300 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}) = 2\,000 \text{ Kg/h}$$

el agua formada será :

$$\left(\frac{18}{2}\right) \left(2\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}\right) = 18\,000 \text{ Kg/h}$$

Agua para enfriamiento de cenizas:

$$\text{masa de cenizas} = (68\,300 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}) (0.10) = 6\,830 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$C_p \text{ cenizas} = 0.25 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Temperatura inicial de cenizas} = 650 \text{ } ^\circ\text{C}^{(3)}$$

$$\text{Temperatura final de cenizas} = 66 \text{ } ^\circ\text{C}^{(3)}$$

$$\text{Masa de agua} = Ma \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$C_p \text{ agua líquida} = 1.0 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\lambda_{\text{agua}} \begin{matrix} 92^\circ\text{C} \\ 585 \text{ mm Hg} \end{matrix} = 542 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\text{Temperatura inicial del agua} = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura final del agua} = 92^\circ\text{C}$$

Como el calor perdido por las cenizas es el mismo que el ganado de enfriamiento, resulta:

$$\begin{aligned} Ma \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \left( \frac{1 \text{ Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (92 - 20)^\circ\text{C} + Ma \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \left( 542 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) = \\ = \left( 6\,830 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \right) \left( 0.25 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (650 - 66)^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$Ma = 958 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Masa de agua total} = 28\,000 + 2\,337 + 18\,000 + 958 = 48\,295 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Dióxido de carbono que se forma durante la combustión.

Este se forma de acuerdo a la siguiente ecuación química.



como el carbono que entra con la basura es:

$$0.433 (1 - 0.412 - 0.1) (68\,300 \text{ Kg/h}) = 14\,400 \text{ Kg/h}$$

el CO<sub>2</sub> formado será:

$$\left( \frac{44}{12} \right) (14\,400 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}) = 51\,800 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Oxígeno que sale en los gases:

Como se vió en el inciso d) se tiene un 70% de aire en exceso

el cual contiene 23.3% en peso de oxígeno, se tiene:

$$\text{oxígeno alimentado en exceso: } (191\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}) (0.7) (0.233) = 31\,200 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

oxígeno para la oxidación del azufre: 167 Kg/h (ver oxidación del azufre).

$$\text{oxígeno que sale} = 31\,200 - 167 = 31\,033 \text{ Kg/h}$$

Nitrógeno que entra en el aire: (es igual al nitrógeno que sale en los gases).

$$(191\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}) (0.667) = 127\,500 \text{ Kg/h}$$

Dióxido de azufre formado en la combustión.

Este se forma de acuerdo a la siguiente ecuación química:



como el S que entra con la basura es:

$$0.005 (1 - 0.412 - 0.1) 68\,300 \text{ Kg/h} = 167 \text{ Kg/h}$$

el  $\text{SO}_2$  formado será:

$$\left( \frac{64}{32} \right) 167 = 334 \text{ Kg/h}$$

oxígeno consumido para la oxidación del S

$$\left( \frac{32}{32} \right) 167 = 167 \text{ Kg/h}$$

Conociendo las cantidades de cada uno de los gases de la mezcla gaseosa que sale del horno se calculará el peso molecular medio y a continuación la densidad de dicha mezcla.

Peso molecular medio:

Base: 1 hora

Gas	Kg	P M	Kgmol
$\text{H}_2\text{O}$	48 295	18	2 683.00
$\text{CO}_2$	52 800	44	1 200.00
$\text{N}_2$	127 500	28	4 553.00
$\text{O}_2$	31 033	32	970.00
$\text{SO}_2$	167	64	2.61
	259 795		9 407.00

$$\text{Peso molecular medio} = \frac{\text{masa}}{\text{número de moles}} = \frac{259\,795}{9\,407}$$

$$= 27.62 \frac{\text{Kg}}{\text{Kgmol}}$$

$$\text{y } d = \frac{\text{PM}}{\text{RT}}$$

donde:

$d$  = densidad de la mezcla gaseosa,  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$P$  = presión de la mezcla gaseosa (igual a la presión atmosférica).  
 $= 585 \text{ mm Hg} = 0.772 \text{ atm}$

$T$  = temperatura media de los gases en la chimenea.

$$= \frac{\text{temp. horno} + \text{temperatura de salida}}{2}$$

$$= \frac{1100^\circ\text{C} + 149^\circ\text{C}}{2} = 624.5^\circ\text{C} = 898^\circ\text{K}$$

$$R = 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{Kgmol}^\circ\text{K}}$$

la temperatura de salida de los gases de  $149^\circ\text{C}$  se tomó de la figura 3.4(1).

Por lo tanto :

$$d = \frac{PM}{RT} = \frac{(0.772 \text{ atm}) (27.6 \frac{\text{Kg}}{\text{kgmol}})}{(0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{Kmol}^\circ\text{K}}) (898^\circ\text{K})}$$

$$d = 0.29 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$\text{y volumen de gases} = \frac{259,795 \text{ Kg}/\text{h}}{0.29 \text{ Kg}/\text{m}^3} = 895,845 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.2.3. Balances de masa y energía.

Se presenta el balance de masa como un resumen de los cálculos efectuados; y el balance de energía para conocer el calor aprovechable.

Balance de masa:

Base : 1 hora

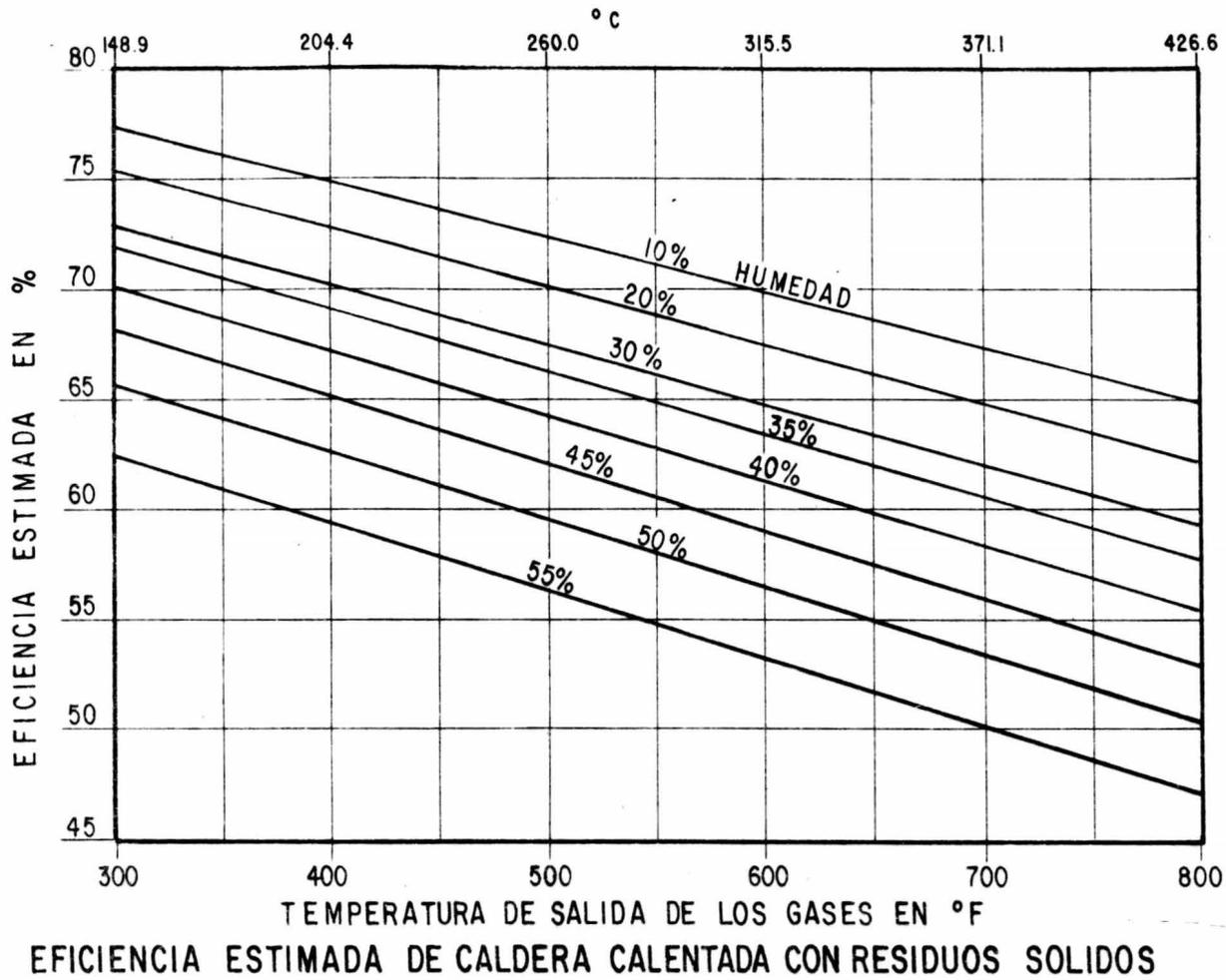


FIGURA 3.4

$$\text{Basura : } 68\,300 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \\ (20^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Gases: } 259\,795 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \\ (149^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Aire: } 192\,337 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \\ (\text{H} = 40\%) \\ (\text{T} = 20^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Agua: } 958 \text{ Kg/h} \\ (20^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Cenizas: } 4\,030 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \\ (66^{\circ}\text{C})$$

$$\text{TOTAL: } 261\,595 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$\text{TOTAL : } 263\,825 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

como la diferencia entre entradas y salidas es inferior al 1% no se afinarán más los cálculos.

Balance de energía.

calor que ceden los gases:

temperatura inicial = 1 100 °C

temperatura final = 149 °C

$$C_p \text{ Gases} = 0.33 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

$$Q = (0.33 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}}) (1\,100 - 149^{\circ}\text{C}) 259,795 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$Q = 81.4 \times 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Esto significa que del calor generado se aprovecha el 74% en la generación de vapor.

Según la referencia <sup>(1)</sup>  $554 \times 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$

pueden generar 200,000 Kwatt, por lo tanto  $81.4 \times 10^6 \times 3 =$

$$= 244 \times 10^6 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \text{ generarán } 88,000 \text{ Kwatt.}$$

#### 4. ANALISIS ECONOMICO

##### 4.1. Introduccion.

El análisis económico del proyecto de quemar la basura del Distrito Federal se hará en base a los datos presentados por Ferrostal, S.A., representantes de la empresa Alemana "Vereignite Kasselwerke A G" Duesseldorf que tiene experiencia en la construcción de incineradores. Dichos datos corresponden a una planta real en Alemania.

Se supone aquí que el análisis, aunque efectuado con datos vigentes en el año de 1972, conserva su validez si se acepta que cualquier alteración en los egresos (causada por fenómenos tales como los inflacionarios) será compensada por una alteración equivalente en los ingresos.

##### DATOS:

Capacidad:	1 640 Ton / día
Número de obreros por turno:	23
Número de turnos:	3
Ingenieros de Producción por turno:	1
Ingeniero de Mantenimiento:	1

##### COSTOS:

Costo anual de mantenimiento:	\$5,850,000.00
Materiales varios para operación:	\$1,056,000.00
Consumo de agua:	270 000 m <sup>3</sup> / año

## INVERSIONES:

Maquinaria:	\$ 170,000,000.00
Edificio, o instalaciones:	\$ 70,000,000.00

## 4.2. Costos.

## 4.2.1 Costo de Producción.

## Personal Obrero:

salarios(3x70 obreros con un salario promedio de \$ 60.00/día. \$ 3,780,000.00

## Prestaciones:

seguro social	13	%
aguinaldo	10	%
séptimo día	17	%
vacaciones	2.2	%
prima vacaciones	1.5	%
fondo vivienda	5	%
	<hr/>	
	48.7	%

(\$3,780,000.00x 0.487 = 1,840,860.00)= \$5,620,860.00

## Personal Técnico:

## Sueldos:

1 ing. /turno/planta = \$ 10,000/mes  
1 ing. /turno/3 plantas = 8,000/mes

total = (10,000 x 9 + 8,000 x 3) 12 = 1,368,000/año

## Prestaciones:

Aguinaldos	4	%
Vacaciones	2	%
Prima vacaciones	0.164	%
Seguro social	7.35	%
Ley Federal del Trabajo =		
=(1,368,000.00 x 0.06164 = 84,324)		
seguro social = 1,260,000.00 x 0.16593 = 209,072		
		<u>\$ 1,661,396.00</u>

Total Costos Producción: \$ 7,282,256.00

#### 4.2.2 Costos de mantenimiento.

Para una planta de capacidad de 1 640 Ton/día se obtuvo en Alemania un costo anual de mantenimiento.....\$ 5,850,000.00

por lo tanto:

total costos de mantenimiento  
= 3 x 5,850,000.00 = \$ 17,550,000.00

#### 4.2.3. Costos de operación.

materiales varios: \$1,056,000.00 x 3 = \$3,168,000.00

agua: 270,000 x 3 x 0.10  $\frac{\$}{\text{m}^3}$  = 81,000.00

Total Costos de Operación: \$ 3,249,000.00

#### 4.2.4. Amortización.

Tomando 3% de depreciación para maquinaria y edificios, entonces:

Maquinaria:

\$ 170,000,000.00 x 3 x 0.03 = \$ 15,300,000.00

Edificios e Instalaciones:

\$ 70,000,000.00 x 3 x 0.03 = 6,300,000.00

Total Costos de Amortización. \$ 21,600,000.00

## 4.2.5 Costos de Administración.

Sueldos:	
1 gerente general (\$20,000/mes)(12 meses)	= 240,000.00
1 ingeniero jefe (\$15,000/mes)(12 meses)	= 180,000.00
1 jefe contador (\$6,000/mes)(12 meses)	= 72,000.00
10 empleados (\$2,000/mes empleado) (10 empleados)(12 meses)	= 240,000.00
Total de sueldos;	\$ 732,000.00
Gastos de Oficina papel, tибres, teléfono, abogado, etc.	
	= 240,000.00
Prestaciones:	
Ley Federal del Trabajo 732,000.00 x 0.06164	= 45,120.00
Seguro Social 528,000.00 x 0.16593	= 87,611.00
Total de Prestaciones	\$ 132,731.00

Total de Costo de Administración : \$ 1,104,731.00

## 4.2.6 Costos Financieros

Equipo:  
Financiamiento completo de equipos por medio de un crédito extranjero (de la compañía Constructora de incineradores) con un interés del 7% anual y pagos semestrales.

Coefficiente de amortización por semestre usando la ecuación de anualidad.  $R = \frac{pi(1+i)}{(1+i)^n - 1}$

i = interés por período = 3.5 % semestral

P = suma de dinero actual

R = pago uniforme al final de cada período

n = número de períodos = 20 semestres

$\frac{R}{P} =$  Coeficiente de amortización por semestre.

$$\frac{R}{P} = \frac{0.035 (1 + 0.035)^{20}}{(1 + 0.035)^{20} - 1} = .070361$$

lo que en 20 semestres representa 1.40722

$$\text{interés anual promedio} = \frac{1.40722 - 1}{10} = .040722$$

interés pagado cada año por la compra

del equipo: (510,000,000.00 x .040722 = 20,768,220.00)

Edificio e Instalaciones.

$$\frac{R}{P} = \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

donde:  $i = 6\%$  semestral  
 $n = 20$  semestres

$$\text{entonces } \frac{R}{P} = \frac{0.06 (1 + 0.06)^{20}}{(1 + 0.06)^{20} - 1} = 0.087185$$

lo que representa en 10 años 1.7437

$$\text{interés promedio por año} = \frac{1.7437 - 1}{10} = 0.07437$$

interés pagado por año = (210,000,000.00) (0.0743) = 15,617,700.00

Total Costos Financieros: \$ 36,385,920.00

Resumiendo se tiene:

Costos Variables:

Personal Obrero	\$ 5,620,860.00
Personal Técnico	1,661,396.00
Mantenimiento	17,550,000.00
Servicios de Proceso	81,000.00
Materiales varios (operación)	3,168,000.00
Sub-Total	<u>28,081,256.00</u>

## Costos Fijos:

Amortización	\$ 21,600,000.00
Gastos de Administración	1,104,731.00
Gastos Financieros*	36,385,920.00
Sub-Total	<u>\$ 59,090,651.00</u>

Costos Totales: \$ 87,171,907.00/año

\* En este caso los intereses representan una carga igual al 72% del costo de producción más gastos de administración. Es una carga demasiado elevada para este tipo de industria.

## 4.3. Necesidades de Capital.

Para emprender un proyecto de esta naturaleza se necesita contar con el siguiente capital:

## Inversión Fija :

Maquinaria.	\$ 510,000,000.00
Edificios e Instalaciones.	210,000,000.00
Terrenos: (60,000 m <sup>2</sup> a \$120.00 metro cuadrado.	<u>7,200,000.00</u>
Total.	\$ 727,200,000.00

Capital de Trabajo:(para 3 meses de operación).

Personal.  $7,282,256.00 \div 4 = 1,820,564.00$

Mantenimiento  
 $17,550,000.00 \div 4 = 4,387,500.00$

Operación 3,249,000.00  $\div$  4 = 812,250.00

Administración  
1,104,731.00  $\div$  4 = 276,183.00

Total: \$ 7,296,497.00

#### Gastos durante la Construcción.

durante la construcción, que durará 24 meses aproximadamente se requiere:

#### Personal:

1 ing. (24 meses	\$ 360,000.00
1 jefe de compras (18 meses )	90,000.00
1 jefe contador (18 meses )	144,000.00
20 empleados (almanistas, vigilantes, etc.)	<u>900,000.00</u>
	\$1,494,000.00

Prestaciones 25 % 373,500.00

Total personal \$1,867,500.00

#### Entrenamiento de Personal.

3 Ings. durante 4 meses  
en plantas similares en el  
extranjero:

Sueldos	\$ 120,000.00
Prestaciones	30,000.00
Viáticos 5,000/mes	60,000.00
Peajes	<u>36,000.00</u>
Total.	\$ 246,000.00

Gastos de Oficina durante 24 meses	\$ 168,000.00
Gastos de Viaje	120,000.00
Abogados, Auditores, Asesores, etc.	80,000.00
	<hr/>
Total.	\$ 368,000.00

Total de Gastos Durante la Construcción : \$ 2,473,500.00

Resumiendo se tiene:

Inversión Fija	\$ 727,200,000.00
Capital de Trabajo	7,296,000.00
Gastos durante la Construcción	2,473,500.00
	<hr/>
Total.	\$ 742,469,997.00

#### 4.4 Ingresos Posibles.

Se ha demostrado en el capítulo anterior que es posible generar 88,000 Kw de la incineración de los residuos sólidos del D. F. lo que equivale a 770,880,000 Kw-hora por año. Puesto que el transporte colectivo de la Cd. de México (metro) consume --- anualmente 273,750,000 K2-hora la energía generada puede abastecer las demandas actuales así como las posibles demandas futuras. Considerando un precio de \$ 0.18 por Kw-hora el valor - total de la energía generada será de:

$$770,880,000 \text{ Kw-hora} \times \frac{\$0.18}{\text{Kw-hora}} = \$138,758,400.00/\text{año}$$

Según la opinión de expertos del proceso de la incineración de residuos sólidos, se genera chatarra mezclada con un valor de --- \$ 200.00/Ton. Puesto que la basura del D. F. contiene un 5% de materiales metálicos, el valor de tal chatarra será de:

$$5,000 \text{ Ton/día} \times 0.05 \times 365 \times 200 = \$ 18,250,000.00/\text{año}$$

Por lo tanto los ingresos totales ascenderán a:

$$\$ 157,008,400.00/\text{año}.$$

Puesto que la energía eléctrica no se venderá y se destinará en - su totalidad al consumo del "metro", el impuesto sobre la renta afectará únicamente a la venta de chatarra. Esto es:

$$\text{Ingresos por venta de chatarra} = \frac{18,250,000}{157,008,400} \times 100 = 11.62\%$$

Costos de producción =  $87,171,907 \times 0.116 = \$ 10,133,036.00$

Utilidad Bruta =  $18,250,000.00 - 10,133,036 = \$ 8,116,964$

Impuestos =  $8,116,964.00 \times .42 = \$ 3,409,124.00$

Utilidad antes de Impuestos igual a:

Ingresos Totales - Costos Totales

$157,008,400 - 87,171,907.00 = \$ 69,836,493.00$

Utilidad neta es igual a :

Utilidad antes de impuestos - impuestos

$69,836,493.00 - 3,409,124.00 = \$ 66,427,369.00$

Remanente en caja es igual:

Utilidad + Amortización - el abono al crédito

$66,427,369.00 + 21,600,000.00 - 72,000,000.00 = \$ 16,027,369.00$

Tiempo en que se paga el crédito es igual:

$$\frac{\text{Crédito}}{\text{Utilidad} + \text{Amortización}} = \frac{720,000,000.00}{66,427,369.00 + 21,600,000.00}$$

$$\frac{720,000,000.00}{88,027,369.00} = 8.2 \text{ años}$$

## 5. CONCLUSION.

Las 5 000 T/día de residuos sólidos que se generan en el Distrito Federal presentan propiedades regulares para su incineración (11.2% de humedad, 10% de cenizas y un desprendimiento de calor de 1 460 Kcal por Kg de basura), Aún así, la incineración de tales residuos, es capaz de generar 770,880,000  $\frac{\text{Kw-h}}{\text{año}}$  que representa 2.82 veces la energía que consume actualmente el transporte colectivo "metro". Es precisamente el hecho de que tanto el sistema de transporte colectivo como el sistema de manejo de los residuos sólidos son de la competencia de una sola Dependencia (el Departamento del Distrito Federal) lo que hace a este proyecto interesante y digno de mayor análisis; pues indiscutiblemente que el renglón de costos de transporte ( \$40,000,000.00 /año) puede abatirse considerablemente si en lugar de transportar basura se transporte electricidad, además de los beneficios directos de la incineración que permitirían que la inversión inicial de \$ 742,469,997.00 se pagara en 8.2 años, o sea 11.8 años antes de que termine el plazo de vida útil asignada a las instalaciones.

Sin embargo, deberá tenerse siempre en mente que este estudio es parcial y que no plantea, ni técnica, económica ni socialmente, los problemas aparejados con la incineración de basuras tales como la contaminación atmosférica y la disposición de cenizas.

REFERENCIAS.

(BIBLIOGRAFIA)

1. Glenn R. Fryling, Editor  
Combustión Engineering  
Combustion Engineering, Inc. New York  
1966
2. American Public Works Association  
Committee on Refuse Disposal  
Municipal Refuse Disposal  
Chicago, Illinois.  
1966
3. Elmer R. Kaiser  
Incineration Design and Operation  
School of Engineering and Science,  
New York University.  
1966
4. Carl T. Ripberger  
Incineration a State of The Arts  
Morgantown, West Virginia  
1968
5. William G. Cochran  
Sampling Techniques 2a. Edición  
John Wiley & Sons, Inc.  
New York.  
1963
6. McCabe, W. R.  
Elements of Chemical Engineering  
McGraw Hill Book Company, Inc.  
New York  
1936
7. IX Censo Nacional de Población  
México, 1970
8. Swiss Federal Institute for Water Supply,  
Sewage Purification and Water Pollution Control  
Section for Solids Wastes.  
Methods of Sampling and Analysis of Solid Wastes.  
1970

9. Internacional Solid Wastes and Public Cleansing Association (ISWA)  
Boletín Informativo No. 1 (septiembre de 1969)  
y No. 4 (enero de 1971).
  
10. F. Fisher and H. Schrader, "Crude Tar Determination With an Aluminum Distillation Apparatus"  
Zeit. Angew. Chem 33, (1), 172-175 (1920).