

Nº 92  
251.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

LA RECUPERACION DE ENERGIA EN  
EQUIPOS DE INCINERACION DE  
DESECHOS SOLIDOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :

RAMOS DOMINGUEZ JOSE MARCIANO



MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON  
CALIA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



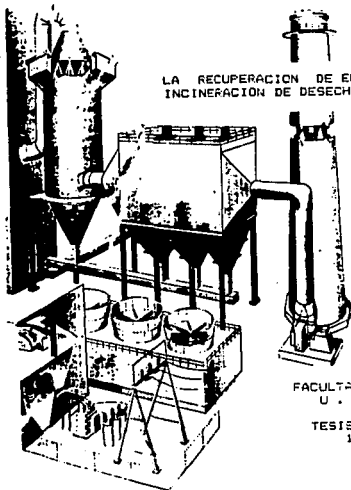
## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

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

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

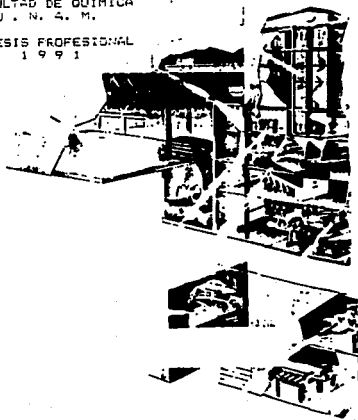
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

LA RECUPERACION DE ENERGIA EN EQUIFOS DE  
INCINERACION DE DESECHOS SOLIDOS MUNICIPALES



FACULTAD DE QUIMICA  
U. N. A. M.

TESIS PROFESIONAL  
1991



## I N D I C E

CAPITULO 1	
INTRODUCCION Y GENERALIDADES-----	6
CAPITULO 2	
SITUACION EN EL DISTRITO FEDERAL	
GENERACION-----	9
RECOLECCION-----	9
TRATAMIENTO Y DISPOSICION-----	10
COSTOS-----	
ASPECTOS LEGALES-----	11
PROYECTO DE DISPOSICION Y MANEJO-----	16
CAPITULO 3	
INCINERACION	
CARACTERISTICAS-----	17
INCINERADORES-----	21
PARRILLAS-----	27
CAPITULO 4	
CRITERIOS DE SELECCION	
CRITERIOS DE SALUD-----	30
SELECCION DE SITIO-----	38
SELECCION DE TECNOLOGIA-----	38
SELECCION DE EQUIPO ANTICONTAMINANTE-----	49

## CAPITULO 5

### LA RECUPERACION EN OTROS PAISES

EUROPA-----	56
ALEMANIA-----	59
CANADA-----	63
JAPON-----	67
ESTADOS UNIDOS-----	72

## CAPITULO 6

### POTENCIAL DE APLICACION EN LA CIUDAD DE MEXICO (D.F.)

PLANTA DE CIUDAD UNIVERSITARIA-----	76
PLANTA DE SAN JUAN DE ARAGON-----	80
SECTOR ELECTRICO-----	84
POSIBILIDADES PARA LA CIUDAD DE MEXICO---	86

CONCLUSIONES -----	92
--------------------	----

### APENDICES

APENDICE A DESARROLLO DEL PROYECTO. PUNTOS A CONSIDERAR----	95
APENDICE B NORMAS OFICIALES SOBRE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-----	96
APENDICE C PLANTAS DE INCINERACION-----	97
APENDICE D CRITERIOS DE DISEÑO-----	106
APENDICE E BASES PARA LA SELECCION DE UN INCINERADOR DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-----	109
APENDICE F PARAMETROS DE INCINERADORES MUNICIPALES-----	111
BIBLIOGRAFIA-----	113

C A P I T U L O 1

INTRODUCCION

Los países en el mundo se han dado cuenta de que no es posible crecer sin tomar en cuenta cuales son los efectos de este desarrollo. En las grandes ciudades existen diversos problemas que deberán resolverse tarde o temprano, uno de tantos es la generación de desechos sólidos municipales, mejor conocida como basura. Las grandes ciudades son productoras de grandes cantidades de basura.

Durante algún tiempo muchos países adoptaron la opción de enterrar la basura mediante una técnica de relleno sanitario; sin embargo actualmente esta técnica en las grandes ciudades no se puede aplicar y países como E.U., Inglaterra, Francia y Alemania entre otros han buscado nuevas formas de tratar a la basura.

La ciudad de México considera, de acuerdo a las autoridades que el método de relleno sanitario es el adecuado, según el D.D.F.; pero si esto fuera lo adecuado porque existe tanta basura por cualquier parte, ¿que es lo que no funciona?, ¿el sistema de recolección, transporte, tratamiento, disposición, manejo de los desechos solidos urbanos, etc? ; no lo sabemos, lo que si sabemos es que el método o los métodos actuales en la ciudad de México no son eficientes.

Enterrar la basura considerando la cantidad de recursos que tiene ésta, no es una técnica adecuada. Las plantas transformadoras de residuos orgánicos en un mejorador de suelos conocida como "compost", han fracasado en varios países y la ciudad de México no fue la excepción.

La planta de tratamiento de desechos solidos de San Juan de Aragón se ve amenazada con ser desmantelada y transformada en una estación de transferencia por incoasteable, de acuerdo con sus directivos la planta no es rentable porque el precio del producto es muy bajo (\$ 50.00/Kg ) y los subproductos que deberían llegar a la planta para compensar el bajo precio del producto no llegan. solo en grandes cantidades pudiera ser rentable su producción. Existe la opinión de reactivarla con una gran inversión que el D.D.F. no tiene.

La ciudad de México D.F. genera cerca de 12.000 toneladas diarias de basura (según cifras oficiales) y necesita un consumo de aproximadamente 4500 Mw de energía. Un método de tratamiento que disminuya el volumen de los desechos hasta en un 95% y que además genere la energía necesaria para el consumo interno de la planta o en su caso la venta de energía excedente, pudiera ser una opción atractiva, en principio mejor que enterrar la basura.

Quizás la solución al problema de la cantidad de basura generada en esta gran ciudad sea utilizar una combinación de distintos métodos para su tratamiento (incinerar, enterrar, transformar mediante microorganismos, reciclar, etc.). La incineración es una técnica que en países desarrollados ha funcionado de manera general.

La técnica de incineración de la basura genera una cantidad de energía tal que se puede comparar con un combustible pobre. Esta energía se recupere o no se genera, en caso de recuperarse se puede utilizar para generar vapor o generar energía eléctrica.

Es muy probable que la solución al gran problema de la basura sea el no generarla, pero mientras esto sucede debemos buscar otras alternativas en vez de enterrarla.

El presente trabajo tiene la intención de dar a conocer la técnica de incineración de residuos sólidos MUNICIPALES, así como las diversas experiencias de algunos países que han decidido utilizarla. Se plantea la situación actual de los desechos sólidos municipales en el D.F. y, se sugiere esta técnica como tratamiento de los desechos no orgánicos, en principio, como parte de la solución al problema de la basura en esta ciudad.

Se sugiere la generación de energía como una opción más económica al proceso y no se pretende proponerla como una solución a la demanda de energía eléctrica de esta ciudad, sino como una aportación complementaria a dicha solución.

### GENERALIDADES

Cada 24 horas se producen en el mundo aproximadamente 4 millones de toneladas de desechos sólidos (domésticos e industriales). Suponiendo un recipiente cuya base fuese un cuadrado de 100 metros de cada lado y su altura de 2 Km. este sería llenado diariamente por los desechos producidos en todo el mundo.

Entendemos por reciclaje el aprovechamiento de algunos materiales que se encuentran en los desechos sólidos. Su finalidad es por un lado evitar la eliminación de los materiales útiles y por otro reducir los costos por recolección, transporte y eliminación.

Dentro de los procesos de transformación, el más común es la transformación de las basuras orgánicas en un mejorador de suelos por microorganismos.

El vertedero controlado es un proceso mediante el cual se forman capas de basura de 1.5-2.5 metros que se cubren con 30 cm. de tierra de manera sucesiva.

### NECESIDADES DE UNA ADECUADA DISPOSICION

Quando la basura se acumula en un sitio al aire libre sin tratamiento alguno, se presentan problemas, entre los cuales tenemos:

- 1.- La proliferación de insectos.
- 2.- La fauna nociva.
- 3.- Olores desagradables a distancia.
- 4.- Diseminación de germenés patógenos.
- 5.- Incendios constantes
- 6.- Contaminación de agua.
- 7.- Degradación del área.



## CAPITULO 2

## SITUACION EN EL DISTRITO FEDERAL

El manejo de los desechos sólidos ha sido reflejo de las características del proceso de urbanización de la ciudad de México. La generación de basura y su manejo, han crecido en relación al tamaño de la población, los niveles de ingresos y los patrones de consumo.

## CIFRAS IMPORTANTES

	1950	1991
PRODUCCION DE BASURA (Kg/hab.)	0.37	0.90
DESECHOS NO DEGRADABLES	5%	50%
GENERACION (1988)	11 MIL TONELADAS/DIA	
CAP. DE RECOLECCION(1)	87.47%	
DOMICILIOS	67%	
VIA PUBLICA	9%	
COMERCIO INDUSTRIA Y HOSPITALES	74%	
PERSONAL PARA RECOLECCION	25 MIL EMPLEADOS	
	10 MIL PEPEÑADORES	
VEHICULOS PARA RECOLECCION	2 MIL	
TRACTOCAMIONES	114	
ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	11	
DISTANCIA MAXIMA PARA TRANSFERENCIA	15 KILOMETROS	
TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS SOLIDOS MUNICIPALES		
RELLENO SANITARIO	CAPACIDAD	
	TON/DIA	
NORTE Y ORIENTE	2,000	
SUR Y PONIENTE	3,000	
LINEAS DE INCINERACION	3 CON CAP. DE 30 TON/DIA	
(EN PRUEBAS DE ARRANQUE)		
PLANTA DE TRATAMIENTO	750 TON/DIA DE CAPACIDAD	
(NO TRABAJA)		
COSTOS POR HABITANTE (1989)	1000 pesos/mes (1)	

(1) La basura es la solución, Antonio Deffis Caso, 1989

Las estaciones de transferencia se encuentran distribuidas en el Distrito Federal según lo muestra la figura 2.1

figura 2.1

ESTACIONES DE TRANSFERENCIA Y SITIOS DE DISPOSICION FINAL EN EL DISTRITO FEDERAL.

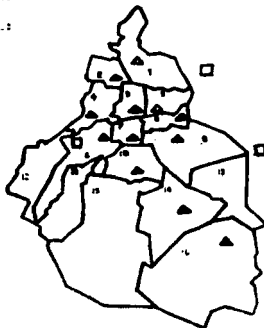
símbología.

ESTACIONES DE TRANSFERENCIA:

SITIOS DE DISPOSICION FINAL:

DELEGACIONES:

- 1.- GUSTAVO A MADERO
- 2.- AZCAPOTZALCO
- 3.- CUAHUTEMOC
- 4.- MIGUEL HIDALGO
- 5.- V. CARRANZA
- 6.- ALVARO OBREGON
- 7.- BENITO JUAREZ
- 8.- IZTACALCO
- 9.- IZTAPALAPA
- 10.- COYOACAN
- 11.- M. CONTRERAS
- 12.- CUAJIMALPA
- 13.- TLAHUAC
- 14.- XOCHIMILCO
- 15.- TLALPÁN
- 16.- MILPA ALTA



La generación de residuos sólidos municipales por delegación y los municipios del Área conurbada se ilustran en las tablas 2.1 y 2.2.

TRATAMIENTO Y DISPOSICION

La ciudad de México cuenta con los rellenos sanitarios como una alternativa actual para la disposición de los desechos sólidos municipales, cabe señalar que de acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, esta medida tiene carácter nacional.

tabla 2.1  
 GENERACION DE DESECHOS MUNICIPALES POR DELEGACION  
 (1988)

DELEGACION	BASURA DOMEST. TONELADAS/DIA	OTROS	TOTAL	%
ALVARO OBREGON	471	167	638	6.4
ATZCAPOTZALCO	363	199	562	5.6
BENITO JUAREZ.	422	240	662	6.6
COYOACAN	564	194	758	7.7
CUAJIMALPA	87	29	116	1.1
CUAHUTEMOC	588	693	1281	12.8
GUSTAVO A. MADERO	998	532	1530	15.2
IXTACALCO	367	176	543	5.4
IXTAPALAPA	852	513	1365	13.6
M.CONTRERAS	143	46	189	1.9
M.HIDALGO	483	348	831	8.3
MILPA ALTA	33	21	54	0.5
TLAHUAC	79	43	122	1.2
TLALPAN	231	79	310	3.0
V.CARRANZA	407	467	874	8.7
XOCHIMILCO	142	66	208	2.1
TOTAL	6230	3618	10043	100.0

Incluye desechos de hospitales, mercados y comercios no incluye desechos industriales, ni de almacenes comerciales los cuales son recolectados por el sector privado.

FUENTE: DIRECCION TECNICA DE DESECHOS SOLIDOS, D.D.F.

#### ASPECTOS LEGALES

En relación a aspectos legales, hablando de desechos sólidos municipales existe poco al referirnos a incineración; sin embargo al referirnos a desechos sólidos y protección al medio ambiente, existe la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, las normas oficiales mexicanas, para el D.F. la ley orgánica y reglamento de limpia. A continuación se enuncian algunos fragmentos relacionados con los desechos sólidos en estos documentos:

TABLA 2.2

DESECHOS SOLIDOS GENERADOS EN CADA MUNICIPIO  
 AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO  
 TONELADAS /DIA (1986)

MUNICIPIO	DESECHOS MUN.		OTROS C	TOTAL		%
	A	B		A+B	A+C	
ATIZAPAN DE						
ZARAGOZA	258	224	1653	1911	1877	25.7
COACALCO	161	145	103	264	248	3.4
CUAUTITLAN	109	74	**	109	74	1.0
CUAUTITLAN						
IZCALLI	412	412	204	616	616	8.5
CHIMALHUACAN	11	11	-	11	11	0.1
ECATEPEC	463	463	278	741	741	10.2
HUIXQUILUCAN	60	57	39	99	96	1.3
IXTAPALUCA	344	258	-	344	258	3.3
LOS REYES LA						
PAZ	173	173	88	261	261	3.6
NAUCALPAN	1107	1085	938	2045	2023	27.8
NETZAHUAL-						
COYOC	521	521	31	552	552	7.6
NICOLAS R.	121	36	-	121	36	0.5
TECAMAC	21	18	-	21	18	0.2
TLALNEPANTLA	403	403	*	403	407	5.5
TULTITLAN	71	32	47	116	79	1.1
<b>TOTAL</b>	<b>4235</b>	<b>3912</b>	<b>3381</b>	<b>7616</b>	<b>7293</b>	<b>100.0</b>

A desechos municipales generados.

B desechos municipales recolectados

C otros desechos

\* desechos juntos con Atizapan de Zaragoza

\*\* desechos juntos con Cuautitlan Izcalli.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente.

Artículo 9.- En el Distrito Federal la Secretaría ejercerá las atribuciones a que se refiere el artículo anterior y el departamento del Distrito Federal ejercerá las que prevén las autoridades locales, sin perjuicio de las que competen a la asamblea de representantes del Distrito Federal, ajustándose a las siguientes disposiciones especiales.

A. Corresponde a la Secretaría:

IX.-Proponer al ejecutivo federal las disposiciones que regulen las actividades relacionadas con los materiales ó residuos peligrosos. En coordinación con la Secretaría de Salud.

X.-Proponer al ejecutivo federal las disposiciones que regulen los efectos ecológicos de los plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de Salud y de Comercio y de Fomento Industrial.

Artículo 22.- Se consideran prioritarios, para efectos de otorgamientos de estímulos fiscales que se establezca conforme a la ley de los ingresos de la Federación, las actividades relacionadas con la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al medio ambiente.

Artículo 36.- Para los efectos de esta ley, se entiende por norma técnica ecológica, el conjunto de reglas científicas ó tecnológicas emitidas por la secretaria, que establezcan los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos y parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades ó uso y destino de bienes que causen ó puedan causar desequilibrio ecológico ó daño al ambiente y, además que uniforme principios, criterios, políticas y estrategias en la materia.

Las normas técnicas ecológicas, determinaran los parámetros dentro de los cuales se garanticen las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al medio ambiente.

Artículo 37.- Las actividades y servicios que originen emanaciones, emisiones, descargas ó depósitos que causen ó puedan causar desequilibrio ecológico ó producir daño al ambiente ó afectar los recursos naturales, la salud, el bienestar de la población, ó los bienes propiedad del estado ó de los particulares, deberán observar los límites y procedimientos que se fijen en las normas técnicas ecológicas aplicables.

Artículo 134.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo se consideran los siguientes criterios.

I.-Corresponde al estado y a la sociedad prevenir la contaminación del suelo.

II.-Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación del suelo:

III.- Es necesario racionalizar la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; e incorporar técnicas y procedimientos para reuso y reciclaje.

IV.- La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas.

Artículo 135.- Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran, en los siguientes casos:

I.- La ordenación y regulación del desarrollo urbano.

II.- La operación de los sistemas de limpia y disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios;

III.- Las autorizaciones para la instalación y operación de confinamientos o depósitos de residuos, y

IV.- El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

Artículo 136.- Los residuos que se acumulan o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

I.- La contaminación del suelo.

II.- Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos.

III.- Las alteraciones en el suelo que alteren su aprovechamiento, uso y explotación.

IV.- Riesgos o problemas de salud.

Artículo 137.- Queda sujeto a autorización de los gobiernos de los estados o, en su caso de los municipios con arreglo a las normas técnicas ecológicas que para tal efecto expida la secretaría, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, y disposición final de los residuos sólidos municipales. Los materiales peligrosos se sujetarán a lo dispuesto en el capítulo V de este mismo título.

Artículo 138.- La secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para:

I.- La implantación de alternativas y mejoramiento de los sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales, y

II.- La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.

Artículo 139.- Toda la descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes se sujetará a lo que disponga esta ley, sus disposiciones reglamentarias y las normas técnicas ecológicas que para tal efecto se expidan.

Artículo 140.- Los procesos industriales que generen residuos de lenta degradación se llevarán a cabo con arreglo a lo que disponga el reglamento correspondiente.

Artículo 141.- La Secretaría de Comercio y Fomento Industrial promoverá la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos.

En lo que respecta a la participación ciudadana tenemos:

Artículo 157.- El gobierno federal promoverá la participación y responsabilidad de la sociedad en la formulación de la política ecológica, la aplicación de sus instrumentos, en acciones de información y vigilancia en general, en las acciones ecológicas que emprenda.

#### Ley Orgánica del Departamento del Distrito Federal

De acuerdo a lo establecido en el artículo 23 de la ley orgánica de D.D.F., el sistema de limpia, recolección y disposición final es un servicio público al servicio de la ciudadanía.

Entendemos por "servicio público" la actividad organizada que se realice conforme a las leyes o reglamentos vigentes en el Distrito Federal, con el fin de satisfacer en forma continua, uniforme, regular y permanente, necesidades de carácter colectivo"

Del reglamento de limpia de D.D.F. tenemos:

Artículo 1.- "El servicio de limpia de la Cd. de México, de las poblaciones del D.F. y de las calzadas que comuniquen entre sí estas poblaciones, estará encomendado

al D.D.F. quien lo prestará con la operación del vecindario por conducto de las oficinas respectivas y las demás dependencias conexas del propio departamento"

Artículo 7.-Las basuras y desperdicios provenientes de las vías públicas serán recolectados precisamente por el personal de limpia o cualquier otro autorizado para el caso por el D.D.F.

Artículo 25 de la ley orgánica.-" A fin de que una empresa pueda prestar el servicio público, será necesario que además de darse los presupuestos que prescriben los artículos anteriores de este capítulo, el Presidente de la República, a través del jefe del D.D.F., le otorgue una concesión en la que se contengan las normas básicas que establece el artículo 27, así como las estipulaciones contractuales que proceden en cada caso."

El concesionamiento sólo podrá hacerse para personas físicas o morales de nacionalidad mexicana y serán por tiempo determinado, y al cumplirse, los bienes utilizados por el concesionario, bienes de uso público, volverán al poder del D.D.F., al término de la concesión.

En caso de una ampliación en el plazo de estas concesiones, sólo podrá ser autorizada por el Presidente de la República, mediante proposición del regente capitular, siempre y cuando el concesionario demuestre que ha cumplido con los términos y obligaciones de la concesión respectiva.

#### PROYECTO DE DISPOSICION Y MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS

En 1979, la entonces Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas a través de la Dirección General de Ecología Urbana, publicó las normas del proyecto Sistema de Manejo y Disposición de los Resechos Sólidos, que cuando menciona los métodos de disposición final dice:

Se estima que el medio mexicano podrá optar por los siguientes métodos de disposición final:

- 1.-Planta de recuperación de subproductos y formación de composta.
- 2.-Incineración
- 3.-Relleno sanitario.



## CAPITULO 3

## INCINERACION

Dado que el presente trabajo se ubica en la incineración, a continuación se hace un estudio sobre lo que entendemos por incineración de desechos sólidos municipales y sus características.

La incineración se define como una combustión controlada para convertir los desechos combustibles en productos gaseosos y en residuos sólidos ( cenizas) que contengan principalmente materiales no combustibles.

Esta reacción química llamada oxidación libera gran cantidad de energía, que esteriliza el residuo (cenizas), ocasiona la destrucción de compuestos mal olientes o tóxicos y se obtiene la energía necesaria para transformar agua en vapor.

En cualquier proceso químico si no se logra un mezclado íntimo entre los reactivos, así como las condiciones de temperatura, presión y el tiempo de residencia apropiado la reacción será incompleta. En el caso de la incineración no hay excepción, si la reacción no es completa se generan productos no deseados como humos, sustancias tóxicas, desechos que aun contengan material combustible, con todos los problemas ambientales que se pueden generar (esto se analizará en otro capítulo).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente los objetivos de la incineración son:

- a.- Reducción del volumen de los residuos en relación al material alimentado de 90-97.5 % .
- b.- Lograr una combustión completa de todos los materiales, con el fin de obtener un producto sólido, inerte compacto y libre de material putrescible.

- c.- Obtener la combustión completa de los productos que son gases de la incineración, con el fin, que después de un adecuado tratamiento para el control de la contaminación del aire se descarguen a la atmósfera.

Aunque se necesitan equipos auxiliares se puede pensar o no en la recuperación de energía. Cuando se estudia en forma conjunta el tratamiento de basuras por incineración se plantea la recuperación de energía por varias razones, entre estas están las siguientes:

- 1.- La combustión de basuras libera de 1000-2000 Kcal. por Kg. de basura, lo que la asemeja a un combustible que se considera pobre. Como la energía la recuperemos o no se genera por el efecto del proceso, en primera instancia la opción suele ser atractiva.
- 2.- Si mediante la adquisición de equipo complementario el pago, de los gastos de mantenimiento y operación del mismo se consigue por la venta de energía. La recuperación viene a reducir el costo global del tratamiento de basuras.

La heterogeneidad de los desechos ocasiona aspectos que en cada caso son problemas particulares, entre estos se encuentran los siguientes:

- a.- La heterogeneidad dimensional, desde los objetos finos hasta los grandes, sugiere la utilización de equipos trituradores sumamente costosos para grandes capacidades.
- b.- La variación en lo compacto de los productos ocasiona que los tiempos de combustión sean distintos por lo que es difícil obtener la mezcla aire-combustible necesaria para una buena combustión.

Los factores principales que determinan las actividades de adoptar la incineración como una alternativa para el tratamiento de los desechos sólidos son:

- La cantidad de residuos a incinerar.
- Poder calorífico de las basuras.
- Gastos de inversión.
- Gastos de operación.
- Costo ecológico.

En lo que concierne a la cantidad de desechos la tabla 3.1 nos indica la cantidad mínima de basuras a tratar en cuanto a incineración se refiere.

tabla 3.1

CANTIDAD DE DESECHOS SOLIDOS QUE SE RECOMIENDAN	
TRATAMIENTO	CANTIDAD MINIMA TON./DIA
INCINERACION SIN RECUPERACION DE ENERGIA	30-40
INCINERACION CON RECUPERACION DE ENERGIA	150-250

Definimos el poder calorífico como el total de calor liberado por unidad de peso de material incinerado, este es un parámetro importante y necesario para el diseño de un incinerador y está relacionado con la composición de los desechos, si el contenido del material orgánico es alto, el poder calorífico es menor, de esto se observa que el valor límite aconsejable para adoptar el sistema de incineración es de 1,000 Kcal./kilogramo.

Además del poder calorífico se recomienda conocer la composición del material combustible y su humedad.

Para lograr una mejor combustión es deseable que se sepa cual es la composición química de los desechos, tales como: la concentración de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre así como la composición física, donde son de importancia los porcentajes en peso, la humedad, material no combustible. La humedad es un parámetro importante, si su valor es elevado además de disminuir el poder calorífico, disminuye la inflamabilidad. Se considera como un máximo para adoptar un sistema de incineración el 35%.

Dentro de las etapas básicas requeridas para la incineración se consideran las siguientes:

- Separación.
- Preparación.
- Alimentación.
- Incineración primaria.
- Incineración secundaria.
- Tratamiento de los gases.

**Separación:** En esta etapa se realiza la separación de los materiales no combustibles por medios magnéticos y gravitacionales. El vidrio y otros materiales no magnéticos pueden ser separados por sistemas de aire a presión o separación centrífuga, la separación de metales ferrosos se logra con sistemas electromagnéticos o en su defecto de manera manual. Aun con sistemas sofisticados de separación es imposible separar a un 100 % el material no combustible; se trata de reducir la fracción no combustible a menos del 5% en peso. Los materiales no combustibles pueden ser vendidos a empresas que los usan como materia prima para sus procesos con lo cual se pueden obtener ingresos adicionales.

**Preparación:** En esta etapa se logra reducir de tamaño los desechos por medio de un triturador o combinación de ellos. de esta manera se logra una mayor área superficial entre el oxígeno del aire y el material que se quemará.

En la mayoría de los sistemas de incineración no se considera esta etapa porque los costos de estos equipos, son muy altos e incluso dependiendo de su capacidad pueden costar en algunos casos más que el mismo incinerador.

**Alimentación:** Esta debe ser lo más continua posible, con la intención de evitar atascos. Es recomendable tener una reserva entre dos alimentaciones sucesivas para asegurar el cierre del horno para evitar la entrada de aire y la salida de los gases de combustión.

**Incineración:** Una vez que se ha alimentado el desecho a la tolva de alimentación, éste entra a la cámara de combustión primaria, donde se realiza un calentamiento y un quemado de tipo inicial, posteriormente se quema y los gases salen a la cámara secundaria donde se utiliza otro quemador y se suministra aire para completar la combustión.

**Tratamiento de los gases:** los gases salen por la parte superior del horno y pasan a un sistema de purificación para gases, una vez limpios se mandan a la chimenea.

La altura y el diámetro de la chimenea se determina por la succión requerida, la velocidad de los gases y la cantidad de gases. Si se desea colocar una chimenea corta, es necesario sustituir el tiro natural por un tiro inducido suministrado por extractores. Sin embargo la difusión en chimeneas cortas es menor.

Los contaminantes que se emiten pueden ser: partículas de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, aldehídos, ácidos orgánicos, amoníaco, óxidos de azufre, ácido clorhídrico.

De acuerdo con un estudio del Departamento del Distrito Federal, los mas significativos son los polvos, que son partículas con una composición aproximadamente entre 5-20 % y un contenido de materia inorgánica que se estima entre 70- 90 %.

En el proceso de incineración las partes medulares son el incinerador, el horno y las parrillas. A continuación se hace una descripción de estas partes del proceso, usados en la mayoría de los incineradores.

#### INCINERADORES:

##### INCINERADOR DE PARRILLA ESTACIONARIA

Es el más simple de los incineradores utilizados para los desechos sólidos, consta de una cámara con mamparas y tiene una capacidad de 100 Kg./hora.

El material se alimenta al incinerador de forma manual o automática a través de la puerta de carga depositándose sobre la parrilla, la cual se localiza en la cámara primaria, donde un quemador inicia la combustión de los residuos (basuras), el aire necesario para la combustión se introduce por tiro forzado o inducido a través de los puertos de entrada localizados arriba y abajo de la parrilla.

En este punto se inicia el mezclado y la combustión. Los gases de combustión de la primera cámara pasan a la segunda cámara donde su combustión es total, finalmente los gases se dirigen hacia la chimenea. Si se desea se pueden colocar cámaras adicionales para una mayor combustión de los gases.

Este tipo de incineradores se construyen por lo general de ladrillo o de metal recubierto con ladrillo resistente al calor. Para que exista un buen funcionamiento es necesario que los puertos de entrada de aire estén bien diseñados y ubicados, esto implica que la unidad no debe ser sobrecargada.

Entre sus desventajas mencionaremos que existen grandes cantidades de partículas sin quemar que van a dar al pozo de cenizas e incluso material combustible queda sin quemar, por el diseño de las parrillas, tienden a sobrecalentarse y con el tiempo se doblan, haciendo necesaria su sustitución. Además, el ladrillo refractario necesita un mantenimiento continuo. En la figura 3.1 se muestra un incinerador de este tipo.

### INCINERADOR DE DOS CAMARAS CON AIRE CONTROLADO

Este tipo de incinerador realiza la combustión en condiciones casi estequiométricas con base a un sistema de aire controlado. Su capacidad aproximadamente es de 1250 Kg./hora estando capacitado, para trabajar por lotes o de manera continua, realizándose la combustión en el hogar más que en las parrillas.

El sistema consiste en una cámara primaria en la cual el desecho es alimentado y encendido por medio de un quemador auxiliar con gas o aceite. En esta, una cantidad de aire controlada se introduce arriba y abajo de la carga, el cual puede ser ligeramente superior o inferior al requerido estequiométricamente, posteriormente los gases de este proceso pasan a una segunda cámara donde se calientan más, con un quemador, y se adiciona aire con el fin de obtener una combustión que sea completa para compuestos orgánicos o volátiles. (Dado que existen altas temperaturas se eliminan olores y humo, lo que genera un gas limpio). Un incinerador de este tipo se muestra en la figura 3.2

### INCINERADOR DE HORNO MULTIPLE

Este incinerador está diseñado para materiales con bajos valores caloríficos, por lo que no crea altas temperaturas en la zona de combustión. Consta de un brazo mecánico, que mueve continuamente el material con la finalidad de facilitar su combustión. Requiere una gran cantidad de combustible para mantener la temperatura en la zona de combustión.

El incinerador consta de 4 hogares o más, uno arriba de otro, introduciéndose los desechos por la parte superior en donde se enciende, continuándose en los demás hogares, siendo el último utilizado como un enfriador de las cenizas.

### INCINERADOR DE LECHO FLUIDIZADO

En este incinerador el aire es suministrado a través del fondo de un horno vertical, lo que hace flotar y calienta una masa de arena u otro material, que atrapa las partículas de desechos sólidos para que sean quemadas completamente. el sistema es autosuficiente cuando el calor producido se utiliza para mantener la temperatura del aire.

Es necesario que los desechos sean triturados y se distribuyan uniformemente a lo largo del lecho; de lo contrario el proceso será inestable, se requieren grandes cantidades de energía para triturar y suministrar los desechos, siendo el aire el que se impulsa. Existen incineradores de alta temperatura (1600 °C) pero se debe tener cuidado con los óxidos de nitrógeno. Un horno de este tipo se ilustra en la figura 3.3

### INCINERADOR DE HORNO ROTATORIO

El horno es un cilindro grande que rota sobre llantas de acero que giran sobre rodillos, presentando una ligera pendiente que permite que el material se mueva a lo largo de él. El cilindro debe estar cubierto con material refractario y los desechos se alimentan por la parte más alta del cilindro que es encendido por un quemador.

El aire para la combustión es suministrado por medio de un ventilador de tiro inducido que se localiza en la parte posterior del cilindro. La velocidad de giro, así como el movimiento de los desechos a través de él dependen de su tamaño.

El equipo de este tipo de incineradores es grande, por lo que se requiere un terreno amplio para su instalación, los costos iniciales son muy altos y los de operación dependen de la cantidad de combustible necesario para el quemador y la energía necesaria para llevar los gases a los sistemas de purificación. Entre sus ventajas están la de utilizar un hogar móvil, su resistencia a la temperatura de operación es alta. Un horno rotatorio se ilustra en la figura 3.4

figura 3.1  
INCINERADOR DE PARRILLA ESTACIONARIA

1.-CHIMENEA.2.-CAMARA DE COMBUSTION,3.-PARRILLAS.4. DESECHOS.  
5.- POZO DE CENIZAS.6.-PUERTOS DE AIRE SUPERIORES.7.-PUERTOS  
DE AIRE INFERIORES.8.-COMPUERTA DE REMOCION DE CENIZAS.9.-  
COMBUSTIBLE AUXILIAR,10.-REFRACTARIO.

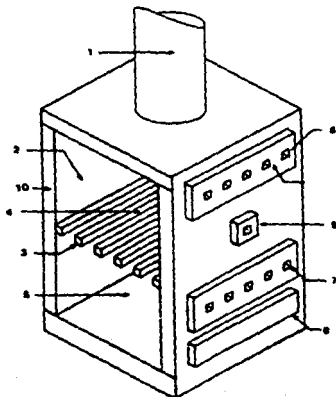




figura 3.2  
 INCINERADOR DE CAMARAS MULTIPLES  
 DE AIRE CONTROLADO

1.- PUERTO DE FLAMA, 2.- CAMARA DE IGNICION. 3.- CAMARA DE COMBUSTION SECUNDARIA, 4.- PARWILLAS, 5.- COMPUERTAS DE LIMPIEZA  
 6.- CAMARA DE MEZCLADO, 7.- PUERTOS DE AIRE, 8.- CORTINA PARA DIRIGIR LOS GASES.

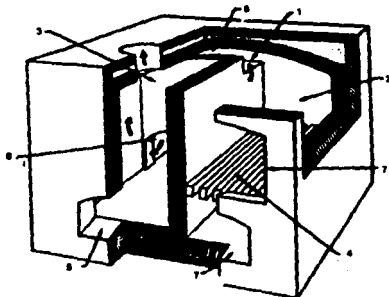


figura 3.3  
 INCINERADOR DE LECHO FLUIDIZADO

1.-TRANSPORTADOR DE BASURA, 2.-SUMINISTRO DE AIRE, 3.-GASES,  
 4.-ELIMINACION DE ESCORIA, 5.-TRANSPORTADOR DE CARBON

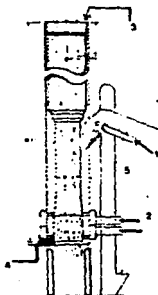
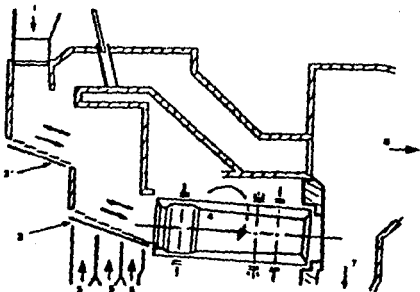


FIGURA 3.4

## INCINERADOR DE HORNO ROTATORIO

1.- TOLVA DE ALIMENTACION. 2.- PARRILLAS DE SECADO, 3.-  
PARRILLAS DE IGNICION, 4.- CILINDRO ROTATORIO, 5.- DUCTOS  
DE AIRE, 6.- GASES, 7.- CENIZAS.



## PARRILLAS

### PARRILLAS SIN-FIN.

Son bandas transportadoras metálicas, donde la parte superior se utiliza como parrilla. Un motor eléctrico a baja velocidad hace girar la banda por medio de ruedas dentadas. El intervalo de velocidad de esta parrilla está entre 12 y 24 metros por hora. Es necesario que el sistema este compuesto por dos o más parrillas con un desnivel de 0.5-1.0 m. con el objeto de agitar los desechos. La figura 3.5 muestra este tipo de parrillas.

### PARRILLAS ALTERNAS

Son un conjunto de barras o placas, que presentan movimientos de vaivén, lo que permite que el desecho sólido se agite y voltee. Las barras o placas están unidas por medio de bielas o motores eléctricos o cilindros hidráulicos que son los que imparten el movimiento. La parrilla presenta un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal de  $6$  y  $20^\circ$ . En la figura 3.6 se muestra esta parrilla.

### PARRILLAS DE GIRO ANGULAR

Consisten en una serie de segmentos de cilindro de longitud variable de acuerdo a las dimensiones del horno. La operación de los segmentos origina un movimiento alterno girando alrededor de un pivote, ubicado en un extremo delantero mas abajo, con lo que se logra, un movimiento de arriba hacia abajo de la masa de los desechos sólidos. Una parrilla de este tipo se ilustra en la figura 3.7

### PARRILLA CILINDRICA ROTATORIA

Son una serie de cilindros rotatorios colocados uno a continuación de otro formando una parrilla inclinada, estos cilindros transportan los desechos con una suave agitación. En cada cilindro se encuentra un regulador de velocidad que se adapta a la cantidad de desechos que entran y a la capacidad del incinerador. En la figura 3.8 se muestra el funcionamiento de esta parrilla.

figura 3.5

## PARRILLAS SIN-FIN

1.- TOLVA DE ALIMENTACION, 2.-PARRILLAS SIN FIN, 3.-AIRE, 4.-  
CENIZAS, 5.-GAS.

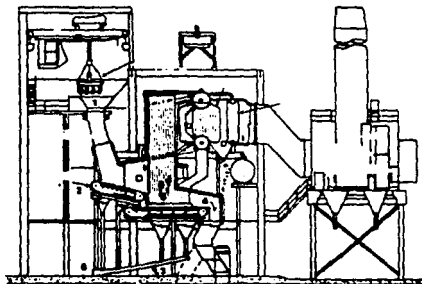


figura 3.6

## PARRILLAS ALTERNAS

1.- TOLVA DE ALIMENTACION, 2.-ALIMENTADOR DE DESECHOS, 3.-  
PARRILLA MOVIL . 4.- PARRILLA FIJA. 5.-AIRE, 6.- GAS, 7.-  
CENIZAS

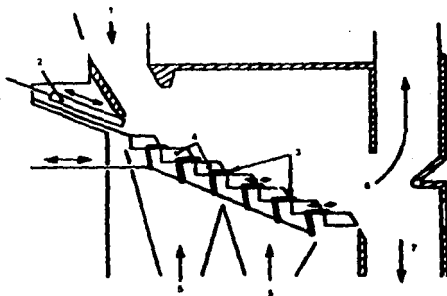


figura 3.7

## PARRILLA DE GIRO ANGULAR

1.-TOLVA DE ALIMENTACION DE DESECHOS, 2.-GAS, 3.-PARRILLAS DE SECADO, 4.-AIRE, 5.-PARRILLAS DE COMBUSTION, 6.-PARRILLAS DE QUEMADO, 7.-CENIZAS.

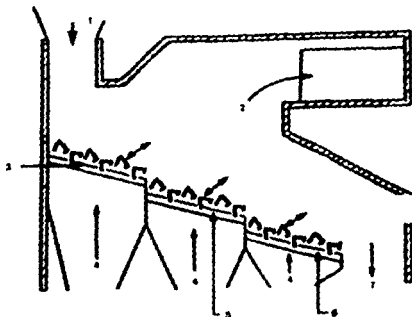
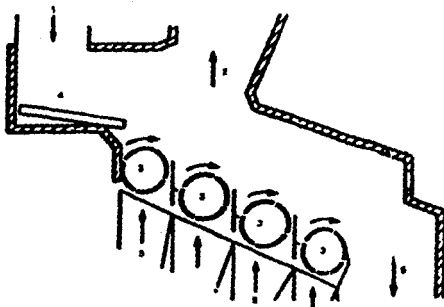


figura 3.8

## PARRILLA CILINDRICA ROTATORIA

1.-TOLVA DE ALIMENTACION DE DESECHOS, 2.-GAS, 3.-PARRILLAS CILINDRICAS, 4.-ALIMENTACION, 5.- AIRE, 6.- CENIZAS.



## CAPITULO 4

## CRITERIOS DE SELECCION

## SALUD

La mayor parte de las restricciones legales y disposiciones aplicables al tratamiento de los desechos sólidos se justifican por que su efecto repercute en el beneficio de proteger y fomentar la salud.

Entre los riesgos se incluye la transmisión de enfermedades a personas y animales, así como factores perjudiciales para el medio ambiente, como: olores, humos, gases, polvos, ruidos, cenizas, modificación en el suelo, modificación en las características del agua, además de la contaminación hacia los vecinos.

Dada la importancia, analizaremos para el tema que nos ocupa algunas características de problemas ambientales y a la salud por incineradores (experiencias en otros países).

## PRODUCTOS DE LA INCINERACION

En la incineración se producen tres tipos de productos de manera general, los residuos o cenizas, los gases y la energía. Los residuos sólidos se generan en dos puntos interiores del horno con mayor facilidad, en el fondo de las parrillas donde se les denomina cenizas de fondo y en los puntos más alejados de las cámaras de combustión en cuyo caso son llamadas cenizas volantes (fly ash), estas deben ser recolectadas por equipos como precipitadores electrostáticos, filtros del tipo fabric filter o absorbedores.

Cada dispositivo de control incrementa la cantidad y cambia la naturaleza de los residuos sólidos retenidos. Una relación entre el control de la calidad del aire y la calidad de las cenizas se muestra en la tabla 4.1 (datos tomados del estudio que realizó la National Incinerator Testing and Evaluation Program en Canadá).

## CONDUCTA DE LOS METALES EN LA INCINERACION

La mayoría de los compuestos que impactan el medio ambiente y que son tóxicos son los metales pesados, específicamente aquellos como: plomo, cadmio, arsénico, berilio, mercurio y selenio. Existen otros que se pueden identificar en emisiones y cenizas de los incineradores, tales como: níquel, galio, talio, zinc, cobre, aluminio y manganeso.

El evaluar los metales en incineración es importante por que son resistentes y fácilmente fijables por cambios en los procesos de incineración como son incrementos de temperatura, modificación en el diseño y la operación. Se debe entender que los metales mediante la incineración no sufren alteración alguna.

tabla 4.1

METALES FILTRABLES EN CENIZAS VOLATILES DE INCINERADORES PARA DESECHOS MUNICIPALES (MSW) PARA VARIOS CONTAMINANTES DEL AIRE. DISPOSITIVOS DE CONTROL (a)

	ABSORBEDOR SECO-HUMEDO	ABSORBEDOR HUMEDO	FABRIC FILTER
<b>METALES TOTALES (mcg/g. de ceniza) (b)</b>			
CADMIO	37	67	299
COBRE	652	666	536
PLOMO	1919	3792	7055
ZINC	5154	9391	13676
<b>PORCIENTO DE METALES TOTALES FILTRABLES EN TERMINOS COPTOS (c)</b>			
CADMIO	62	69	
COBRE	5	16	41
PLOMO	25	56	75
ZINC	32	60	17
<b>PORCIENTO DE METALES TOTALES FILTRABLES EN TERMINOS LANGOS (d)</b>			
CADMIO	62	83	100
COBRE	30	42	69
PLOMO	63	80	95
ZINC	49	73	54

a) cenizas de un incinerador de desechos municipales de la ciudad de Quebec usando una planta piloto de control para la contaminación del aire.

- b) promedio de 6 muestras (absorbedor seco-humedo y fabric filter) ó 4 muestras (absorbedor húmedo).
- c) suma de las fracciones a y b en el procedimiento SCE ( SEQUENTIAL CHEMICAL EXTRACTION ).
- d) suma de las fracciones a, b y c por el procedimiento SCE.

Durante la incineración se destruyen los desechos como papel, plástico y otros materiales que contienen retardantes y dispersantes que se liberan en el horno. El quemado de estos materiales combustibles liberan metales que contienen estos retardantes o dispersantes, son arrastrados a las emisiones de la chimenea o son concentrados en las cenizas.

Los metales al no estar atrapados en las matrices voluminosas, son volatilizados y condensados sobre las superficies de las partículas de cenizas volantes (fly ash) y su concentración se incrementa con la disminución del tamaño de partícula.

Una gran fracción de estas partículas son capturadas por los dispositivos de control y otras existen en las chimenea con un tamaño respirable (menor de 10 micras en diámetro) y fácilmente ingeribles, además, debido al pequeño tamaño, esto provoca grandes y cortas dispersiones. Esto se ha demostrado en los incineradores y lo que se conoce sobre partículas que contienen metales liberados en fuentes fijas y móviles.

Se ha notado en los estudios de los metales en los incineradores de Swedish y Canadá que en ausencia de un extenso control varios metales, en particular el mercurio, existe en forma de vapor y escapa fuera de las chimeneas, este cambio en su estado físico incrementa los problemas de su manejo.

La filtrabilidad de los metales sobre las partículas de las cenizas volantes (fly ash) es importante por varias razones. El tamaño de la partícula incrementa la biodisponibilidad de área superficial expuesta al medio filtrante. La presencia de los metales cercanos a la superficie de tales partículas son también filtrables.

Los altos contenidos de cloro de los desechos sólidos municipales (basura), resultan en un acomplejamiento significativo de los metales como cloruros metálicos, que son en general más solubles al agua que otras formas más estables.

Ciertos metales, especialmente el plomo se vuelve rápidamente soluble en agua bajo condiciones alcalinas. En la figura 4.1 se observa el comportamiento del plomo y cadmio en función del pH para cenizas volantes.



La filtrabilidad de los metales en las cenizas de los incineradores es otra forma de medir su peligrosidad. La tabla 4.3 muestra los datos de cenizas de 30 incineradores de E.U. analizando su filtrabilidad por medios federales.

Estos resultados indican que las cenizas de los incineradores exhiben características tóxicas de residuos peligrosos. Los estudios indican que los incineradores equipados con absorbedores de gases ácidos pueden liberar niveles peligrosos de plomo cuando son tratados usando agua destilada o agua pluvial.

Las cenizas de los incineradores no son manejadas normalmente como residuos peligrosos y de hecho se depositan en los rellenos sanitarios junto con los desechos no combustibles.

#### DIOXINAS

Las dioxinas ( policlorados dibenzo-p-dioxina ) y furanos ( policlorodibenzofuranos ), PCDD y PCDF. Se ha encontrado que se forman en el ambiente por la combustión de compuestos orgánicos en presencia de cloro.

En pruebas de cenizas volantes y emisiones en chimeneas de plantas de quemado de basuras se han encontrado PCDD Y PCDF. La tabla 4.4 muestra el total de dioxinas encontradas en varios incineradores.

#### RELACION ENTRE LA TEMPERATURA DEL HORNO Y PCDD/PCDF

De varias pruebas se encontró que existe un intervalo de temperatura para la disminución de dioxinas como se muestra en la figura 4.2.

Después de hacer varias pruebas con otros incineradores se encontró una ecuación empírica que nos indica la cantidad de PCDD +PCDF existente.

$$PCDD+PCDF = A \cdot \exp(-t/b)$$

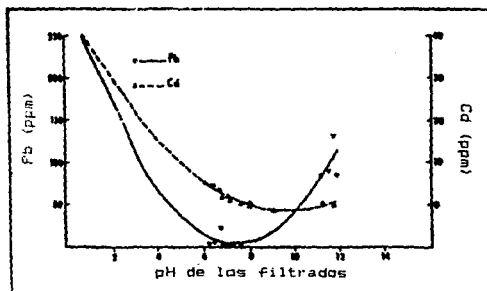
donde  $A = 5.2 \text{ E } 07$

$b = 40.6$

$t = C$

$PCDF+PCDD = \text{ng/m}^3$

Figura 4.1  
EFECTO DEL pH SOBRE LA SOLUBILIDAD DE PLOMO Y CADMIO



El comportamiento de los metales liberados en los incineradores y su acumulación en el medio acuático posee riesgos sustanciales en el medio ambiente. La tabla 4.2 compara los intervalos de concentración de varios metales tóxicos de las cenizas en los incineradores de desechos sólidos municipales encontrados en los suelos (naturales).

tabla 4.2

CONCENTRACION DE METALES EN CENIZAS VOLANTES Y SUELOS NATURALES

METAL	INTERVALO DE CONCENTRACION (PARTES POR MILLON)	
	CENIZAS VOLANTES	SUELO NATURAL
PLOMO	2300-50000	10-13
CADMIO	100-2000	0.1-0.2
ARSENICO	10-750	2.0
MERCURIO	8-300	0-05-0.08

tabla 4.3

DATOS DE PRUEBAS DE TOXICIDAD PARA PLOMO, CADMIO Y OTROS POR PROCEDIMIENTO DE EXTRACCION.

CENIZAS	PLOMO	CADMIO	OTROS
<b>CENIZAS VOLANTES (FLY-ASH)</b>			
NUMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS	87	85	95
NUMERO DE MUESTRAS SOBRE LIMITES E.P.	83	83	87
PORCENTAJE DE MUESTRAS SOBRE LIMITE E.P.	95	96	100
PROMEDIO DEL TOTAL DE MUESTRAS (mg./litro)	23(a)	28.4	-
<b>CENIZAS DE FONDO</b>			
NUMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS	245	210	245
NUMERO DE MUESTRAS SOBRE LIMITES E.P.	93	4	94
PORCENTAJE DE MUESTRAS SOBRE LIMITE E.P.	38	2	38
PROMEDIO TOTAL DE LAS MUESTRAS (mg./litro)	6.7	0.19	-
<b>CENIZAS COMBINADAS</b>			
NUMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS	366	272	366
NUMERO DE MUESTRAS SOBRE LIMITE E.P.	171	54	176
PORCENTAJE DE MUESTRAS SOBRE LIMITES E.P.	47	20	48
PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRAS (mg./litro)	7.4	0.68	-

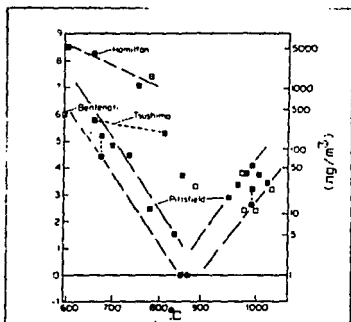
a) se define como limite E.P. para desechos peligrosos en plomo 50 mg./lt. y en cadmio 1 mg./lt.

tabla 4.4  
TOTAL DE PCDD Y PCDF Y CO EN VARIOS INCINERADORES DE DESECHOS  
MUNICIPALES .

PLANTA	PCDD ng/Nm <sup>3</sup>	PCDF	CO ppm	°C
HAMPTON	13000	24000	1000	
	670	3700		
HAMILTON	1700	7000	480	738
	1300	4000	300	764
CHICAGO	61	490	70	
ALBANY	300	88	200	
PEI,ONT	123	156	40	788
	64	100	14	1038
STAPELFELD	40	120	-	
	20	90	-	
PEEKSKILL	18	40	30	
PITTSFIELD	76	270	140	677
PITTSFIELD	55	144	144	700
PITTSFIELD	8	17	30	760
PITTSFIELD	0.7	5	9	843
PITTSFIELD	0.8	10	7	843
PITTSFIELD	14	16	5	980
PITTSFIELD	28	39	14	980
PITTSFIELD	24	38	16	1030
WUSZBURG	36	54	40	
	12	10	31	
TULSA	19	19	16	
NEUSTADT	80	95		
	5	9		
MARION	1.5	2	17	
	0.8	1	14	
QUEBEC	1030	560	160	
	0.4	0.9	170	
MONTREAL	0.75	0.54	1.2	
	0.01	0.02	0.03	

algunas plantas tienen dos datos porque se trabajaron  
a dos temperaturas una mínima y otra la máxima.

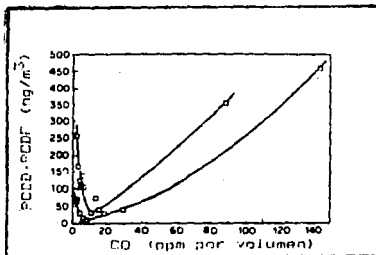
figura 4.2  
 IMPORTAMIENTO DE LAS DIOXINAS EN HORNO DE PITTSFIELD



CO vs. TEMPERATURA Y CONC. DE OXIGENO

En la combustión de combustibles fósiles es conocido que el monóxido de carbono es un indicador efectivo de una buena combustión; sin embargo para el caso de las dioxinas al incrementarse el CO estas aumentan también según lo muestra la figura 4.3

figura 4.3  
 RELACION ENTRE EL CO Y LA CANTIDAD DE PCDD+PCDF



### SELECCION DEL SITIO

Para la selección del sitio donde será ubicada la nueva planta de incineración se consideran de importancia para una adecuada decisión los siguientes criterios:

- 1.- Áreas urbanas inmediatas.
- 2.- Recuperación de energía.
- 3.- Disponibilidad de servicios públicos.
- 4.- Densidad de tráfico y vías de acceso para vehículos.
- 5.- Parámetros meteorológicos.
- 6.- Dimensión de las instalaciones.
- 7.- Topografía.
- 8.- Distancias de rutas de recolección.
- 9.- Zonas de almacenamiento de las cenizas.
- 10.- Educación de la población.
- 11.- Nivel económico.
- 12.- Aceptación.
- 13.- Disponibilidad.

### SELECCION DE TECNOLOGIA

Las tecnologías que producen energía de los desechos sólidos municipales, se pueden agrupar en tres categorías, las dos primeras son de quemado en masa, sea de tipo modular ó "in-situ". Denominar sistemas de quemado en masa implica que los desechos sólidos municipales no tienen tratamiento anterior, lo que en ocasiones limita su tamaño y su manejo.

En la tercer categoría los desechos se queman después de haber pasado por un proceso donde se remueven los materiales no combustibles, este se denomina combustible derivado de desecho porque produce un combustible de un alto poder calorífico por kilogramo, conocido como RDF.

#### TECNOLOGIA DE QUEMADO EN MASA (site- built)

Los sistemas "Site-built" se denominan así porque se construyen totalmente en el lugar donde quedará instalada la planta. Ésta puede ser de pared refractaria ó de paredes de agua.

Hoy las unidades de paredes de agua incrementan su popularidad porque se obtiene un menor costo de operación y mantenimiento, su eficiencia de operación es mayor que en los sistemas refractarios. Se ha colocado como la tecnología más usada en sistemas de quemado en masa (site-built).

La eficiencia térmica de los sistemas de paredes de agua es típicamente alrededor de 70% comparada con el 60% de los sistemas refractarios. La eficiencia mayor se consigue porque el calor de la combustión se recupera en ambas partes, por las paredes de agua del horno y por las secciones inferiores del calentador, además, una menor cantidad de exceso de aire es necesario para enfriar el horno, al reducir el aire en exceso, disminuye la cantidad de gas que se debe tratar en el equipo de control, reduciendo los costos de operación.

Los sistemas de quemado en masa "in-situ" se usan de forma común para capacidades mayores de 300 ton./día de desechos sólidos municipales.

#### PROBLEMAS CON SISTEMAS DE QUEMADO EN MASA.

- 1.- Dificultad en la precisión del control de temperatura del calentador.
- 2.- Corrosión por la alta temperatura en los tubos de los calentadores por compuestos como: HCl, HF y Cl<sub>2</sub>.
- 3.- Erosión y problemas de mantenimiento con el equipo.
- 4.- Necesidad de limpiar los tubos de los calentadores, sobrecalentadores y economizadores de manera frecuente.
- 5.- Incremento de la corrosión de los sobrecalentadores y economizadores.
- 6.- Entrada de materiales parcialmente quemados entrans al sistema de disposición de cenizas.

Las grandes plantas en E.U. operan con 2250 ton./día aunque plantas de 4000 ton./día se están empezando a planear. Existen 32 sistemas planeados de quemado en masa y 25 serán para generar electricidad. Un diagrama de un incinerador de quemado en masa se muestra en la figura 4.4

#### TECNOLOGIA DE QUEMADO EN MASA (modular)

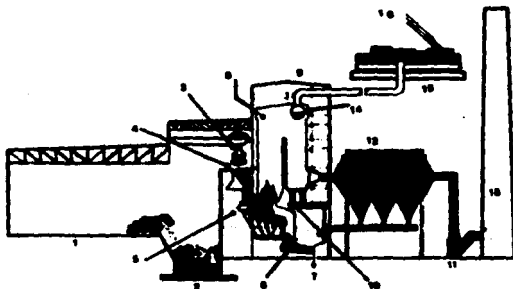
La tecnología de incineración modular es una tecnología de quemado en masa originada en E.U. para la disposición de desechos industriales y de instituciones creados en el lugar.

Los sistemas de combustión modular incluyen módulos prefabricados y diseñados para alimentación de los desechos, combustión primaria, combustión secundaria, recuperación de energía, manejo de cenizas etc. Estos módulos son ensamblados en el lugar donde se instalará la planta. Un esquema típico se muestra en la figura 4.5

Figura 4.4

SISTEMA TÍPICO DE QUEMADO EN MASA  
CON GENERACION DE ENERGIA.

1.-AREA DE RECEPCION CERRADA,2.-POZO DE DESECHOS,3.-GRUA,  
4.-TOLVA DE ALIMENTACION DE DESECHOS,5.-ALIMENTADOR VIBRATORIO,6.-SISTEMA RECUPERADOR DE MATERIALES.  
8.-CALENTADOR,9.-LINEA DE VAPOR PARA TURBOGENERADOR,10.-  
GENIZAS DEL CALENTADOR 11.-VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO,12.-  
PRECIPITADOR ELECTROSTATICO, 13.- CHIMENEA,14.- REHERVIDOR  
15.-TURBOGENERADOR,16.-LINEA ELECTRICA.



Los incineradores modulares consiguen eficiencias típicas del 60%. Estos incineradores han sido particularmente atractivos para el desarrollo de sistemas a pequeña escala porque:

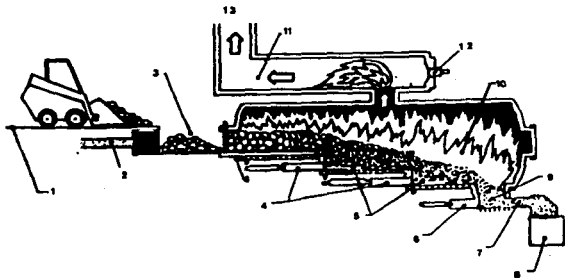
- 1.- Tienen un costo de capital más bajo (un promedio de 54,000 dólares por tonelada-día comparados con 62,500 de los sistemas in-situ).
- 2.- Un tiempo de construcción corto (12-24 meses contra 24-36 meses para sistemas de construcción in-situ).
- 3.- Flexibilidad en su tamaño.
- 4.- Uso de módulos de procesamiento múltiple.



figura 4.5

## SISTEMA TÍPICO DE COMBUSTIÓN MODULAR

1.-PISO DE MANIOBRA INCLINADO, 2.-BRAZO DE ALIMENTACION, 3.-TOLVA, 4.-SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CENIZAS, 5.- TURBO DE AIRE, 6.-DESCARGA DE CENIZAS, 7.-CANAL DE CENIZAS, 8.-EXTINTOR DE CENIZAS, 9.-COLECTOR DE CENIZAS, 10.- CAMARA DE COMBUSTION PRIMARIA, 11.-CAMARA DE COMBUSTION SECUNDARIA, 12.-QUEMADO DE COMBUSTIBLE FOSIL, 13.- HACIA LA CALDERA.



Existen plantas de 25 TPD en Sitka, 300 TPD en Tuscaloosa, Alabama incluyendo una en construcción en Fremont, California de 480 TPD. La mayoría de las 29 que operan en E.U., 25 aproximadamente producen vapor, una produce electricidad.

## COMBUSTIBLE DERIVADO DE DESECHO (RDD)

En el sistema RDD los desechos se procesan antes de la combustión con el fin de remover los materiales no combustibles y reducir las partículas de tamaño, variando el grado. El resultado es un combustible procesado homogéneamente con un poder calorífico de 2600 Kcal/Kg (580 · BTU · libra) comparado con 2250 Kcal/Kg (4500 BTU/lb) de los desechos sin procesar.

Los RDF pueden ser de un calidad mas controlada, la mayoría de los hornos y calentadores reducen su tamaño, los costos de capital decrecen en el equipo, la combustión puede ser mejor controlada; la corrosión de los tubos, ensuciamiento y los niveles de emisión de partículas, experimentados en la incineración en masa, son reducidas. El proceso permite una mayor eficiencia de recuperación y mejora la comercialización de los materiales por la separación de estos.

Existen un número de inconvenientes en el uso de RDF como combustible, además, que estos son inherentes en el uso de los desechos sólidos municipales como combustible. Estos problemas incluyen: altos niveles de polvos fugitivos, probabilidad de explosión en las plantas de quemado y en los dispositivos de trituración, costos de capital elevados, periodos complejos de implementación entre otros.

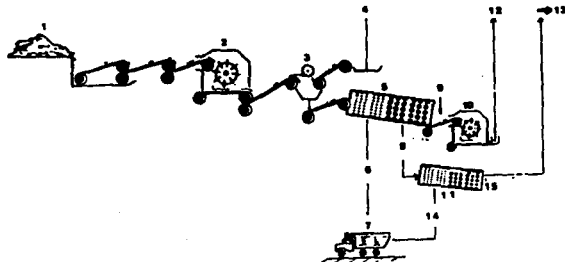
Tres tipos de RDF se producen, siendo el mas usado las pelusillas de RDF denominada fRDF la cual se produce por separación de los desechos, su grado de trituración depende del tamaño según su aplicación.

Las aplicaciones básicas de RDF como combustible son dos: quemado con carbón pulverizado y utilizado sólo como combustible primario para calderas. Un esquema típico de producción de fRDF se muestra en la figura 4.6

figura 4.6

#### LINEA DE PROCESO PARA OBTENER "RDF"

- 1.-DESECHOS CRUDOS, 2.- TRITURACION PRIMARIA, 3.-SEPARACION MAGNETICA, 4.-CANAL DE AIRE PARA METALES FERROSOS, 5.-TAMBOR TAMIZADOR, 6.-FRACCIONES PEQUERAS, 7.- RESIDUOS HACIA LOS RELLENOS SANITARIOS, 8.-FRACCION MEDIA, 9.-FRACCION GRANDE, 10.-TRITURACION SECUNDARIA, 11.- TAMIZADO SECUNDARIO, 12.- ALMACENAMIENTO DE RDF, 13.- RDF HACIA EL HORNO
- 14.-FRACCION PEQUERA, 15.-FRACCION GRANDE.



### QUEMADO SIMULTANEO

Existe una extensión de quemar los desechos, lo cual se hace mediante la técnica de un quemado simultáneo de dos combustibles. En los calentadores de fuego en suspensión la pelusilla finamente triturada de FRDF se sopla al horno de fuego suspendido con carbón pulverizado.

La mezcla de carbón y RDF se quema como bolas de fuego en el horno, este medio turbulento provee un mezclado de combustible y aire, reduciendo la cantidad de aire en exceso suministrado de 5 a 20 %.

La combustión ocurre de una manera muy rápida, la rapidez de calentamiento es sensible a los cambios de alimentación del calentador; sin embargo los RDF no se utilizan más del 15 al 20 % del calor que entra al calentador (caldera) de carbón de fuego suspendido, el valor calorífico no uniforme de los RDF comparados con el carbón tiene un efecto negativo en mayores cantidades. Los hornos de este tipo consiguen eficiencias térmicas del 88%. Un sistema de quemado simultáneo se muestra en la figura 4.7

#### VENTAJAS

- 1.- Un intervalo de aplicación grande.
- 2.- Usar los calentadores existentes.
- 3.- Se contrarresta la corrosividad de los gases ácidos.
- 4.- El uso de RDF provee de una fuente alterna de energía.

#### DESVENTAJAS

- 1.-Alta erosión en el equipo de alimentación neumática
- 2.-Incremento significativo de cenizas de fondo.
- 3.-Incremento en los problemas de escoriamento del calentador por la cantidad de vidrio y metal en RDF.
- 4.-Aumento de cenizas volantes.
- 5.-Altos costos de mantenimiento.
- 6.-Limitaciones en el volumen.
- 7.-Los RDF deben quemarse continuamente.

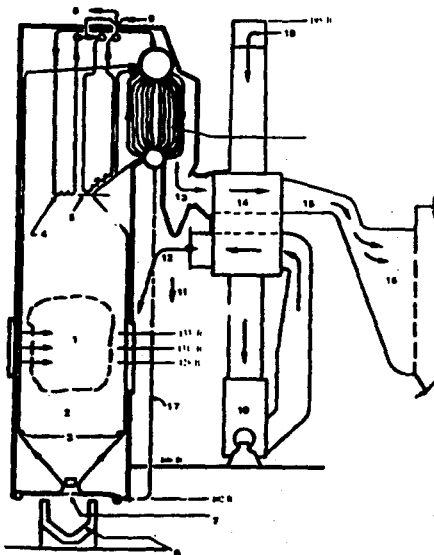
#### CALENTADORES (CALDERAS) DEDICADOS

Las calderas dedicadas son un acercamiento a la utilización de los RDF. Estos calentadores se diseñan especialmente para aceptar RDF como combustible primario y de manera usual tienen sistemas de quemado de parrillas ó sistemas de semisuspensión a través de cilindros rotatorios o incineradores de lecho fluidizado.

Figura 4.7

## CALENTADOR DE FUEGO SUSPENDIDO MODIFICADO PARA QUEMAR RDF

1.-SECCION DE QUEMADO DE CARBON Y RDF.2.- HORNO.3.-PAREDES DE AGUA, 4.-SOBRECALENTADOR PRIMARIO, 5.- SOBRECCALENTADOR 6.-TOLVA PARA CENIZAS DE FONDO,7.- PARRILLA DE DESCARGUE, 8.- TURBINA, 9.-ESPREADO DE AGUA,10.- VENTILADOR DE TIRO FORZADO,11.- AIRE A CAJA DE AIRE, 12.- POZO DE AIRE, 13.- ENTRADA DEL GAS CALIENTE,14.- CALENTADOR DE AIRE, 15.- SALIDA DEL GAS FRIO,16.- GAS HACIA EL PRECIPITADOR ELECTROSTATICO, 17.- SECCION DE CONVECCION,18.-ENTRADA DE AIRE.



La combustión ocurre lentamente, las calderas de parrilla son capaces de mantener una salida de energía constante. Las calderas de semi-suspensión son en esencia calderas de fuego suspendido equipados con parrillas o transportadores.

Los RDF son sopladados dentro del horno, las partículas grandes se queman en suspensión y las partículas pesadas que quedan fuera de la suspensión se queman en la parrilla, estabilizándose así la salida de energía, sin embargo estos calentadores no son sensibles a cambios en la alimentación como los calentadores de fuego suspendido.

Los calentadores dedicados de RDF tienen eficiencias térmicas de 70 a 75% que son mayores que los de quemado en masa.

El uso de la tecnología adecuada se debe evaluar en base a sus ventajas, desventajas, costo social e impacto en el medio ambiente de una manera muy cuidadosa. La tabla 4.5 y 4.6 nos puede ayudar como una guía de referencia solamente. Un estudio técnico económico para cada necesidad será el que seleccione la tecnología apropiada.

tabla 4. 5  
COMPARACION DE LAS TECNOLOGIAS PARA OBTENER ENERGIA DE LOS DESECHOS SOLIDOS.

CARACTERISTICAS COMPARATIVAS	Q U E M A D O		RDF
	EN MASA	MODULAR	
T y P de vapor	medio	bajo	alto
sistema de nivel	bajo-medio	alto	bajo-medio
flexibilidad tamaño/expansión	medio	alto	bajo-medio
facilidad de imple- mentación y operación	medio	alto	bajo
grado de control sobre la combustión	bajo-medio	bajo-medio	alto
tiempo de construcción	medio	bajo	alto
costo de capital	medio	bajo	alto
durabilidad del sistema	medio-alto	medio	bajo-medio

nota: esta tabla solo se puede usar como un medio de referencia.

tabla 4.6  
ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS

CARACT. DEL PROCESO	TECNOLOGÍA
PROCESO	QUEMADO IN-SITU
TIPO DE ALIMENT.	COMO SE RECIBEN
ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE LOS DESECHOS	POZO CON GRUA SUPERIOR
DESECHOS ALIMENTADOS	TOLVA CON CANAL DE GRAVEDAD
COMBUSTION	UNA CAMARA DE COMBUSTION (LINEA REFRACTARIA O PAREDES DE AGUA) -AIRE EN EXCESO -PARRILLAS VIAJERAS INCLINADAS.
RECUPERACION DE ENERGIA	CALDERA CON PAREDES DE AGUA (INTEGRAL) Y/O SISTEMAS DE CALOR DE DESECHO DE TURBO DE AGUA.
MANEJO Y CONTROL DE CENIZAS	POZO DE CENIZAS O TANQUE EXTINTOR
CONTROL DE CONTAMINACION DE AIRE	PRECIPITADOR ELECTROST. O BAGHOUSE CON RESERVEDOR SI SE REQUIERE.
CAPACIDAD(3)	300 TPD O MAS
EFICIENCIA TERMICA	70% PAREDES DE AGUA 60% REFRACTARIO

Tabla 4.6

## ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS TECNOLOGIAS

CARACT. DEL PROCESO	TECNOLOGIA
PROCESO	QUEMADO MODULAR
TIPO DE ALIMENT.	COMO SE RECIBEN
ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE LOS DESECHOS	PISO INCLINADO CON GRUA (1)
DESECHOS ALIMENTADOS	TOLVA CON APILAMIENTO DE CARGA HORIZONTAL
COMBUSTION	CAMARA PRIMARIA Y CAMARA SECUNDARIA (LINEA REFRACTARIA (2)), SUMINISTRO DE AIRE EN LA PRIMER CAMARA -AIRE EN EXCESO EN LA SEGUNDA CAMARA
RECUPERACION DE ENERGIA	TUBOS DE AGUA O TUBOS DE H2O CALDERA DE CAJON DE DESECHO
MANEJO Y CONTROL DE CENIZAS	POZO DE CENIZAS CON TRANSPORTADOR O TANQUE EXTINGUOR CON TRANSPORTADOR DE CENIZAS
CONTROL DE LA CONTAMINACION DE AIRE	PRECIPITADOR ELECTROST. O BAGHOUSE CON ABSORBEDOR SI SE REQUIERE
CAPACIDAD (3)	300 TPD O MENOS
EFICIENCIA TERMICA	60-65%

tabla 4.6

## ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS TECNOLOGIAS

CARACT. DEL PROCESO	TECNOLOGIA
PROCESO	REFUSED DERIVED FUEL
TIPO DE ALIMENT.	PROCESADOS PARA REDUCIR EL TAMAÑO DE PARTICULA Y SEPARAR MATERIALES NO COMBUSTIBLES
ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE LOS DESECHOS	INCLUYE ALMACENAJE INICIAL, PISO INCLINADO O POZO, SEPARACION DE MATERIALES PELIGROSOS Y SISTEMAS DE ALIMENTACION A LAS LINEAS DE PROCESO, EQUIPOS DE PROCESO
DESECHOS ALIMENTADOS	PULVERIZADOR O QUEMADOR EN SUSPENSION (SPREADER STOCKER)
COMBUSTION	UNA SOLA CAMARA DE COMBUSTION CON PARRILLA (PARED DE AGUA O REFRACTARIA) AIRE EN EXCESO, PARRILLA HORIZONTAL, TRANSPORTADOR Y UN QUEMADO INICIAL PARA RDF o UNA SOLA CAMARA DE QUEMADO EN SUSP. (PAREDES DE AGUA O REFRACTARIO) Y CO-QUEMADO CON CARBON Y RDF EN UN 10-15% DEL CALOR QUE ENTRA
RECUPERACION DE ENERGIA	CALDERA DE PARED DE AGUA (INTEGRAL)
MANEJO Y CONTROL DE CENIZAS	POZO DE CENIZAS CON TRANSPORTADOR
CONTROL DE LA CONTAMINACION DE AIRE	PRECIPITADOR ELECTROST. BAGHOUSE CON ABSORBEDOR SI SE REQUIERE
CAPACIDAD(3)	200 TPD O MAS
EFICIENCIA TERMICA	SUPERIOR AL 88 % PARA EQUIPOS DE FUEGO EN SUSPENSION



- (1) algunos sistemas modulares están equipados con peso y grúa superior.
- (2) recientemente se ofrecen comercialmente cámaras de combustión de paredes de agua para pequeña escala.
- (3) estas capacidades solo sirven de referencia, sistemas de quemado en masa van de 200-2250 TPD, para sistemas modulares se empiezan a construir de mas de 300 TPD como el de Fremont, CA. de 480 TPD.

#### SELECCION DE EQUIPO ANTICONTAMINANTE

La tarea de un planeador de proyectos es la evaluación correcta del impacto al medio ambiente por la planta incineradora de basura según las alternativas que esta tenga, se debe entender que no existe ninguna planta que no tenga impacto al medio ambiente, lo deseable es que este sea mínimo. Los obstáculos principales para instalar un incinerador son: que tenga, mínimas emisiones de humo, olores y gases. La carga emocional frecuente de productos contaminantes tóxicos como las dioxinas.

#### EMISIONES AL AIRE

Los contaminantes emitidos por el cañón de las chimeneas normalmente en incineradores de basuras, han sido publicados en los estandares de calidad de la EPA, entre estos tenemos como mas significativos los siguientes ilustrados en la tabla 4.7

tabla 4.7

#### SUSTANCIAS CONSIDERADAS CONTAMINANTES Y NO CONTAMINANTES SEGUN LOS PATRONES DE CALIDAD DE LA EPA.

----- criterio contaminantes -----	criterio no contaminantes
particulas suspendidas	ácido clorhídrico
dioxido de nitrógeno	ácido fluorhídrico
dioxido de azufre	cadmio.
monóxido de carbono	mercurio.
plomo	berilio
hidrocarburos totales	dioxinas(PCDDY PFDD)
-----	-----

En la siguiente tabla 4.8 se enumera el equipo disponible comercialmente para el control y remoción de contaminantes.

tabla 4.8

## TECNOLOGIAS DE CONTROL PARA LA CONTAMINACION DE AIRE

CONTAMINANTES DEL AIRE	TECNOLOGIA DE CONTROL				
CONTAMINANTES	PP	BH	A	CPC	RNC
PARTICULADOS	X	X			
OXIDOS DE NITROGENO				X	X
DIOXIDO DE AZUFRE			X	X	
MONOXIDO DE CARBONO				X	
PLOMO, BERILIO Y OTROS METALES PESADOS		X (1)	X (2)		
HIDROCARBUROS					
GASES ACIDOS			X	X	
DIOXINAS Y OTRAS TRAZAS DE ORGANICOS		X		X	

PP= precipitador electrostático, BH=baghouse, A=absorbedor seco ó húmedo, CPC= control del proceso de combustión, RNC=reducción no catalítica.

(1) Los baghouse consiguen eficiencias superiores en la remoción de partículas finas, los metales pesados y dioxinas se prefiere absorberlos.

(2) Los absorbedores remueven emisiones de gases ácidos. también remueven algunos metales pesados que se encuentran en los gases.

En la tabla 4.9 se muestran las emisiones típicas de contaminantes gaseosos al aire cuando se queman desechos sólidos municipales.

## CONTROL DE PARTICULAS

Para el control del material particulado las emisiones de partículas deben controlarse por medio de un precipitador electrostático ó un filtro físico denominado "baghouse".

tabla 4.9

## DESCARGA DE CONTAMINANTES AL AIRE POR LA INCINERACION DE UNA TONELADA DE DESECHOS SOLIDOS

CONTAMINANTE	CANTIDAD ( Kg. )
MATERIAL	
PARTICULADO(a)	0.68
OXIDOS DE AZUFRE	0.68
MONOXIDO DE CARBONO	15.90
OXIDOS DE NITROGENO	0.90
HIDROCARBUROS	0.68
HCl (ESTIMADO)	0.27

(a) el proceso arroja 15.6 Kg y el precipitador electrostático retira el 95 %, con lo cual solo emiten 0.68 Kg. .

El precipitador electrostático tiene historia en las plantas de incineración de desechos sólidos municipales, ha demostrado una alta capacidad de remoción de partículas y una alta rentabilidad, operando adecuadamente en cierto intervalo de temperatura; sin embargo su eficiencia de recolección de partículas de tamaño respirable (menos de 2 micras) es reducida, es muy sensible a la variación de la composición de los desechos, existe un alto potencial de corrosión por los gases ácidos.

El sistema baghouse o filtros de fabrica, comprenden sistemas de unidades modulares, cada uno contiene numerosos baffles o filtros tubulares. Su eficiencia en la remoción de partículas de tamaño respirable comparado con el precipitador electrostático es mayor. Los baghouse son dispositivos de filtración física, son menos sensibles a las variaciones del proceso como: carga de partículas, distribución del tamaño, composición del desecho, flujo etc.; sin embargo los sistemas baghouse tienen desventajas, la mezcla puede incendiar el equipo porque el intervalo de temperaturas de operación es menor que el de un precipitador electrostático.

## CONTROL DE GAS ACIDO

Los procesos de incineración de desechos sólidos municipales producen cantidades contaminantes significativas de gases ácidos como se ilustra en la tabla 4.10

tabla 4.10

CONTAMINANTE	INTERVALO DE CONCENTRACION (PARTES POR MILLON)
ACIDO CLORHIDRICO	400-600
ACIDO FLUORHIDRICO	10-20
DIOXIDO DE AZUFRE	100-700

Muchos países europeos han regulado la emisión de estos tres contaminantes por mucho tiempo. Los gases ácidos se remueven por absorbedores en seco, húmedos ó semisecos.

absorbedores húmedos (wet scrubbers): estos sistemas utilizan soluciones líquidas alcalinas para neutralizar los gases de combustión. Los absorbedores húmedos consiguen una alta eficiencia de remoción de óxidos de azufre y gases ácidos, tienen mayor tiempo operando que los absorbedores en seco.

Absorbedores en seco (dry scrubbers): estos sistemas utilizan un espolvoreado alcalino para neutralizar los ácidos, sus ventajas son su alta eficiencia de separación, no hay descarga de aguas sucias, bajo consumo de potencia, disminución en problemas de corrosión. Siendo su desventajas el aumento en la disposición de los desechos sólidos, una limitada experiencia en su operación.

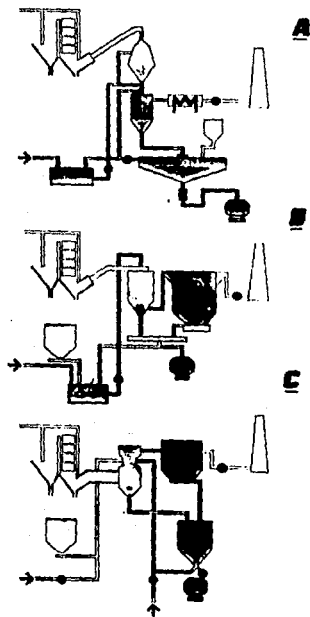
El proceso semiseco se basa en una disolución de cal en agua ajustándose a las cantidades de gases a tratar de tal forma que se elimina el agua por evaporación. El material de la reacción se precipita como un producto seco en los electrofiltros. El consumo de cal es mayor que en el proceso húmedo.

Existen varios sistemas, secos totalmente, húmedos y semisecos, siendo de estos tres el más óptimo el sistema en seco desde el punto de vista económico. Estos tres procesos se ilustran en la figura 4.8 (A.-proceso húmedo, B.-proceso semiseco, C.-proceso seco).

#### CONTROL DENTRO DEL PROCESO DE COMBUSTION

El control dentro del proceso reduce las emisiones de sustancias contaminantes, esto se logra mediante la optimización en las condiciones de combustión. Comercialmente existen medios para minimizar las emisiones de CO, el total de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dioxinas.

figura 4.8  
TRATAMIENTO DE GASES ACIDOS



Buenos diseños implica facilidad para mantenimiento, una óptima combinación de temperatura y tiempo de residencia, buen mezclado con oxígeno suficiente, temperatura de operación adecuada, tiempo y turbulencia.

No se han alcanzado totalmente. Se sugieren temperaturas menores de 815.5 °C (1500 °F) y tiempos de residencia de 1-2 segundos. Una buena turbulencia es necesaria para minimizar la emisión de dioxinas.

Técnicas adicionales para el control de la combustión practicadas en Europa y Japón han demostrado que en la combustión de lecho fluidizado, las emisiones de gases ácidos y óxidos de azufre se controlan mediante el suministro de polvos alcalinos directamente dentro del horno. Estas técnicas no son comerciales aun en E.U.; pruebas en Swedich indican que la remoción de dióxidos de azufre y gas ácido alcanzan eficiencias comparadas con los absorbedores.

#### CONTROL POR LA SEPARACION DE LOS DESECHOS

Otro método potencial en la reducción de emisiones de contaminantes al aire está en la separación en los desechos de materiales como vidrio, aluminio, papel periódico y plásticos antes de que lleguen al incinerador.

#### DESECHOS SOLIDOS RESIDUALES

Existen tres tipos de desechos sólidos que deben ser dispuestos en la plantas incineradoras, estos son:

- Desechos de líneas alternas.
- Cenizas de fondo.
- Cenizas volantes .

Los desechos no procesables, no combustibles y crudos son dispuestos en rellenos sanitarios, las cenizas de fondo consisten en cenizas y residuos que se mantienen sobre las parrillas de la cámara, después de que los desechos se han quemado. Las cenizas y los residuos típicamente están compuestos de 24-25 % de desechos crudos, 7-8% son cenizas y 17-18% son no combustibles. En sistemas RDF por su proceso de selección el contenido ceniza/residuo es de 7-8 %

Los desechos deben estar regulados de manera tal que se denominen o no como residuos peligrosos. Para la regulación norteamericana los residuos de desechos sólidos de casas solamente no se definen como peligrosos, deben de ser dispuestos en rellenos sanitarios.

Para el caso en que la planta acepte desechos de otra índole como compañías, oficinas y industrias, se deben denominar residuos peligrosos.

#### AGUAS CONTAMINADAS DEL PROCESO

Los tipos de agua sucia generada son agua de uso sanitario y agua de uso industrial. El agua sucia del proceso se maneja en un circuito típicamente cerrado con recirculación. La tabla 4.11 nos indica el intervalo para análisis de aguas sucias de incineradores municipales en Estados Unidos.

Tabla 4.11  
INTERVALO DE PARAMETROS PARA EL ANALISIS TIPICO DE  
AGUAS DE INCINERADORES MUNICIPALES

PARAMETROS	AGUA	CENIZAS DE FONDO +	EQUIPO DE CAPTURA ++
pH	8.4	8.4-11.5	1.8-5.0
T (°C)	-	20.0-43	27.5-73.1
SOLIDOS SUSP. (mg/l)	0	450-1860	90-1350
SOLIDOS DISUELTOS (mg/l)	56	360-2660	450-8840
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	56	1120-3140	540-9160
ALCALINIDAD CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	160	120-720	0-80
CLORUROS (mg/l)	7	98-680	200-3540
DUREZA CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	33	95-980	110-3430
SULFATOS (mg/l)	1	25-280	24-1250
FOSFATOS (mg/l)	0.1	0.5-38	4.1-51
COND. ( mho/cm)	46	530-3000	1000-7100

+ las cenizas llegan al tanque de extinción

++ se utilizo como equipo de captura un absorbedor

## C A P I T U L O   S

### LA RECUPERACION EN OTROS PAISES

#### EUROPA

Observaremos algunos factores que contribuyen a la extensión del uso de plantas incineradoras, las cuales queman alrededor de 120 ton./día como generadoras de vapor. Entre los factores encontramos:

- 1.- La densidad de población europea.
- 2.- Los altos costos de los combustibles en Europa.
- 3.- El calentamiento de los distritos es una demanda factible en varios pueblos de Europa.
- 4.- los municipios pueden obtener recursos por el calentamiento de los distritos así como por la venta de energía eléctrica
- 5.- los costos del equipo de control y el enfriamiento de los gases es elevado. la recuperación del calor se hace necesaria.

La tabla 5.1 muestra las características de las plantas incineradoras generadoras de vapor que operaban en Europa hasta 1971

#### EXPERIENCIAS DE OPERACION Y MANEJO DE EQUIPO

En todo Europa los procesos consisten: en una grúa viajera con un gancho que alimenta a una tolva con basura, esto produce un lecho de combustible de 0.91 m. (3 ft.) de espesor que se quema dentro de las parrillas del horno. Existen varios diseños en cuanto al tipo de parrilla, pero son parrillas móviles las preferidas debido a que crean una satisfactoria combustión por el mezclado continuo de los desechos. hay mejores parrillas que otras en cuanto a su eficiencia; no obstante las diferencias se atribuyen a:

- 1.-La preparación del combustible.
- 2.-El control de las parrillas.
- 3.-El suministro de aire



tabla 5.1  
PLANTAS TÍPICAS QUE PRODUCEN VAPOR EN EUROPA

CIUDAD	INICIO (año)	TPD	FLUJO (Kg/HR) X 1000	VAPOR P (MPa)	FOR UNIDAD T (°C)	USO	E.C.
<b>ALEMANIA</b>							
STUTTGART	1965	530	49.8	7.54	518.6	P	E
DARMSTADT	1967	250	24.9	4.68	444.4	DH+P	E
LUDWIGSHA- FEN	1967	250	22.6	4.13	425.1	DH+P	E
FRANKFURT							
II	1967	400	24.0	6.27	493.9	P	E
HAMBURG	1967	320	27.1	1.76	337.1	PA	-
HAMBURG	1972	650	39.8	4.03	405.9	P	E
NUREMBERG	1968	400	36.7	8.23	444.4	P	E
SOLINGEN	1969	270	24.9	4.7	444.4	P	E
LEVERKUSEN	"	270	28.0	1.96	301.4	DH	E
MUNICH II	1966	1010	80.6	17.64	529.6	DH+P	-
MUNICH III	1969	1010	80.6	17.64	529.6	DH+P	-
MUNICH IV	1971	1010	80.6	11.64	529.6	DH+P	-
DUSSELDORF	1965	270	63.4	8.82	493.9	P	E
BREMEN	1969	330	14.9	2.51	213.4	DH	-
ISERLOCH	1970	210	19.9	2.51	246.4	DH	-
OFFENBACH	1970	270	25.8	2.44	246.4	DH	-
LANDSLUT	1971	220	6.8	1.96	345.4	DH	E
BERLIN	1947	330	22.2	8.54	466.4	P	-
BERLIN	1971	420	22.2	8.54	466.4	P	-
BERLIN GRF.	-	400	34.8	9.51	518.6	P	-
<b>SUIZA</b>							
BASEL	1969	400	39.8	4.58	345.4	DH+P	E+C
ZURICH	1969	290	28.0	3.62	4.16	PA	E
LUZERN	1970	130	12.7	3.93	367.4	P	E
HINWIL	1970	130	12.2	3.82	394.9	P	-
ZURICH	-	500	38.0	3.93	386.6	P	-
<b>HOLANDA</b>							
DEN HAAG	1968	400	35.3	3.93	422.4	P	E+C
AMSTERDAM	1969	600	43.0	4.20	405.9	P	-
<b>AUSTRIA</b>							
VIENNA	1971	400	57.0	3.13	-	DH+P	E+C
<b>SUECIA</b>							
ESTOCOLMO	1968	130	(W)	1.58	119/71	DH	C
UMEA	1970	130	(W)	1.58	178/125	DH	C
GOTEBURG	1970	400	47.1	1.96	213.4	DH	C
MALMO	1969	230	519.8	0.9	AC	DH	-
<b>FRANCIA</b>							
RENNES	1968	130	15.8	2.65	222.4	DH	-

tabla 5.1 (continua)  
PLANTAS TIPICAS QUE PRODUCEN VAPOR EN EUROPA

CIUDAD	INICIO (año)	TPD	VAPOR POR UNIDAD			USD	E.C.
			FLUJO (Kg/HR) X 1000	P (MPa)	T ( C )		
PARIS	1969	130	133.6	8.82	463.6	P	-
STRASBOURG	-	390	32.6	5.37	455.4	DH+P	E
METZ	1970	160	18.1	1.48	331.6	P	-
<b>INGLATERRA</b>							
EDMONTON	1971	370	40.6	4.30	449.9	P	-
COVENTRY	1972	320	31.7	1.72	205.1	P	-
NOTTINGHAM	"	310	24	2.65	367.4	P	-
<b>UNION SOV.</b>							
MOSCU	1970	220	14.5	1.38	191.4	DH	-
<b>ITALIA</b>							
GENOVA	1971	220	19.0	3.17	370.1	P	E
MAILAND	1971	270	22.6	3.13	436.1	DH	-
<b>FINLANDIA</b>							
HELSINKI	1969	90	15.8	1.51	345.4	DH+P	-
LAHTI	1969	130	11.7	3.93	444.4	DH	-
<b>NORUEGA</b>							
OSLO	1966	170	19.9	2.44	257.4	P	-

P=producción de potencia, DH= calentamiento de distrito. PA= plantas auxiliares, AC= agua caliente, E= precipitador electrostático, C=ciclón.

TPD= toneladas de basura al día

E.C.=equipo de control de emisiones

PARA OBTENER LB/HORA MULTIPLICAR POR 2.205

PARA OBTENER GRADOS °F USAR °F=(1.8\*°C) + 32

Mpa=un millón de pascales

PARA OBTENER LB/ PULG.CUAD. MULTIPLICAR POR 1.450 E.-04

Los calentadores ( calderas) de desechos sólidos están sujetos a procesos de corrosión normal de los calentadores (calderas) de combustible convencionales, y a una corrosión no usual, algunos compuestos liberados durante la combustión actúan como catalizadores del proceso de corrosión, otras fuentes son la combustión de P.V.C. con la formación de ácido clorhídrico que se condensa en los tubos del calentador (caldera) ocasionando:

- 1.- Si existe una deficiencia de aire, en los tubos el ácido clorhídrico reacciona formando cloruro ferroso ( $FeCl_2$ ).
- 2.- Los gases de combustión reaccionan con el acero del tubo para formar una capa protectora de  $FeCl_2$ .

Para prevenir las reacciones anteriores es necesario un exceso de aire del orden de 50-100 % del estequiométrico requerido; sin embargo los sulfatos alcalinos producto de la combustión se combinan en la reacción anterior con un efecto corrosivo severo sobre la tubería del horno.

Las tuberías están expuestas alternamente a atmósferas reductoras y oxidantes, al igual que a una cantidad de aire en exceso del orden del 80%, lográndose un efecto corrosivo por una constante remoción del óxido de hierro de lado de los tubos del horno. Las cambiantes atmósferas son inherentes en los sistemas de quemado de las parrillas, se ha encontrado que para asegurar las condiciones oxidantes todo el tiempo del proceso de quemado de los desechos sólidos debe usarse de 100 a 150 % de aire en exceso.

La limpieza del hollín y el sopleteo convencional, son métodos no satisfactorios para la limpieza de los tubos de los sobrecalentadores, porque ambos métodos remueven la película de óxido. Un problema similar ocurre en los hornos donde existen atmósferas cambiantes. Un método efectivo resulta ser el lavado con agua.

En Alemania existen tres grandes plantas que queman desechos sólidos para la generación de energía eléctrica, entre ellas están la planta de Mannheim, la planta de Munich y la planta de Stuttgart / Munster. Las características de operación de las tres plantas se muestran en la tabla 5.2

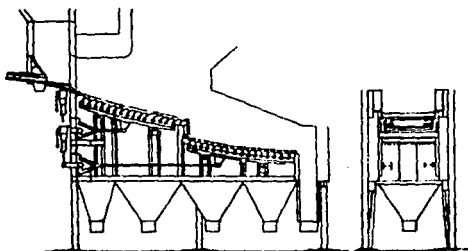
Existen de manera general tres tipos de parrillas usadas en Europa para el quemado de los desechos sólidos. A continuación se describen

El primer diseño es una parrilla viajera múltiple, este diseño consiste de cuatro parrillas viajeras en serie, la primera parrilla es la de alimentación, se encuentra inclinada y se le localiza en la entrada del horno, existen tres parrillas horizontales, donde la combustión de los desechos sólidos se efectúa a la mitad del transportador (las tres parrillas horizontales). La principal ventaja de este tipo de diseño radica en la capacidad para variar la velocidad de una ó de todas las parrillas, de acuerdo a la modificación que se tenga en el contenido calorífico de los desechos sólidos. La planta de Mannheim utiliza este sistema.

El segundo diseño es un barril múltiple ó cilindro con parrillas, montadas tangencialmente con una línea central común con una pendiente aproximada de 20 grados respecto a la horizontal. La acción de voltear los desechos sólidos expone una área superficial mayor de estos, ocasionando una combustión más eficiente. La temperatura de la superficie de la parrilla es menor que otras. La acción de rodaje de los cilindros permite un tiempo de contacto relativamente corto entre la parrilla y los desechos sólidos quemados. La planta de Stuttgart-Munster usa este tipo de parrilla.

El tercer diseño consiste en un flujo por gravedad de la basura. Los desechos sólidos se mueven hacia abajo de las parrillas por gravedad, diseños recientes, tienen una acción recíproca inversa de la parrilla, donde se mueven los desechos hacia el horno. La figura 5.1 muestra el diseño de flujo de acción inversa en su diseño básico aunque puede haber modificaciones.

Figura 5.1  
PARRILLA DE ACCION INVERSA



El tipo de proceso depende de cual será el uso del vapor, inicialmente las plantas de incineración pequeñas producen vapor con propiedades modestas para la red de calentamiento de los distritos y pequeñas cantidades de electricidad; sin embargo cuando los combustibles escasean, estas se activan para generar vapor de 6894.8-10342.2 KPa (1000-1500 psig) y 359-446.5 °C (750- 925 °F). La planta de Munich quema tanto combustible, como basura produciendo vapor de 17926.5 KPa (2600 psig.) y 409 °C (850 °F). En la figura 5.2 se ilustra el mayor número de componentes típicos de las plantas de incineración de Europa.

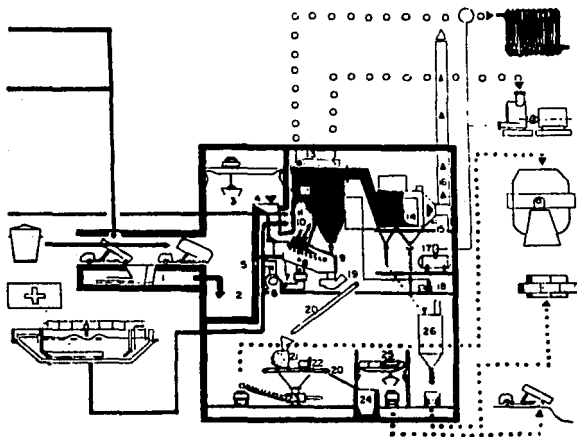
tabla 5.2

CARACTERISTICAS DE PLANTAS ALEMANAS Y TIPOS DE EQUIPO					
CARACT. DE LA PLANTA	M U N I C H		MANNHEIM	STUTTGART	
	NORTH 1	NORTH 2	1	MUNSTER	
Nº DE CALENTADORES	2	1	3	2	1
Mw. DE SALIDA	34	112	*	13	13
PRESION DE SALIDA (PSIA) (MPa, abs.)	2640 18.2	2640 18.2	1710 11.8	1095 7.54	1095 7.54
TEMPERATURA DE SALIDA (°C)	534.6	534.6	519.7	519.7	519.7
TIPO DE PARRILLA	GFRA	GFRA	MTG	WMB	GFRA
FABRICANTE DEL CALENTADOR	GERMAN BARCOCK	GERMAN BARCOCK	KSG (EVT)	VKW	KSG (EVT)
MANUFACTURA DE LA PARRILLA	MARTIN	MARTIN	KSG (EVT)	VKW GERMAN	MARTIN
CAP. DE QUEMADO (TON./DIA)	660	1060	480	530	530
% MAX. DE BASURA DISERD	54	30	100	40	40
% MAX. DE COMBUSTIBLE	100	100	100	100	100
TIPO DE COMBUSTIBLE PRIMARIO	CARBON	CARBON	HAY CAP. ADEITE	OLED	OLED
FLUJO DE VAPOR (Kg/HR)	99868.4	365002.9	39998.4	125003	"

GFRA=flujo por gravedad de acción inversa. MTG= parrilla transportadora múltiple. WMB=cilindros múltiples w-lizenrost.  
 \* produce electricidad y calentamiento urbano  
 PARA OBTENER LB/HORA MULTIPLICAR POR 2.205  
 PARA OBTENER GRADOS °F USAR  $F=(1.8 * C) + 32$   
 MPa= un millón de pascales  
 PARA OBTENER LB/ PULG.CUAD. MULTIPLICAR POR 1.450 E. -04

Figura 5.2  
PLANTA EUROPEA MODERNA

1.-ENTRADA DE BASURA 2.-POZO PARA BASURA 3.-GRUA 4.-TOLVA PARA BASURA,5.-POZO PARA ENTRADA DE AIRE, 6.-AIRE ARAJO DE LA PARRILLA 7.-CALENTADORES DE AIRE, 8.-PARRILLA, 9.-PILOTS (ENCENDEDOR) ,10.- BOQUILLA DE LODOS 11.-QUEMADORES DE GLEO 12.- CALDERA, 13.-SOPRECALENTADOR, 14.-PRECIPITADOR ELECTROSTATICO, 15.- VENTILADOR , 16.- CANON DE LA CHIMNEA,17. DEAREADOR,18.-BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA,19. EXTRACTOR DE ESCORIA, 20.TRANSFURTADOR, 21.-PULVERIZADOR, 22. IMAN, 23.- SECCION DE PRECADO, 24.- DEPOSITO DE ESCORIA, 25. GRUA PARA ESCORIA,26.-DEPOSITO PARA CENIZAS VOLANTES.



## EXPERIENCIAS EN EL CANADA

Las necesidades de encontrar métodos alternos de disposición de los desechos sólidos y fuentes de energía estimuló en varias áreas metropolitanas de Canadá a quemar desechos sólidos para la producción de energía. Los factores que obligaron a las ciudades del Canadá son similares a otros países; sin embargo Canadá examino la posibilidad de quemar desechos sólidos para generar vapor. Estos factores fueron:

- a.- Una alta densidad de población
- b.- Escasez de sitios disponibles para relleno sanitario.
- c.- Un mayor control del medio ambiente.

Muchas comunidades de los alrededores empezaron a involucrarse en el proyecto, hasta que Quebec y 22 pueblos de los alrededores formaron la Urban Community Quebec, se desarrollo la opción de recuperar calor, sería en forma de vapor y la mayor parte según el contrato, se vendería a la Anglo Canadian Pulp of Paper Company con las características fijadas en el documento.

## PROCESO DE LA PLANTA

La planta puede procesar 1000 ton./ día de desechos sólidos en cuatro unidades de 250 ton./día cada una. La basura tiene un valor de calentamiento de 13953.6 kJ/Kg(6000 BTU/lb) y se pueden producir 36741.6 Kg. ( 81,000 libras) de vapor por hora de 4826.3 kPa (700 psig.) y 370.74°C ( 700°F) por cada unidad de incineración. La tabla 5.3 muestra características de estos desechos sólidos.

Cada tolva, esta equipada con un vibrador para asegurar el movimiento de los desechos y un dispositivo de control para prevenir sobrecargas, los desechos voluminosos son tratados anteriormente por un proceso de reducción de tamaño que se localiza al final del pozo de almacenamiento.

El sistema de parrillas se compone de tres parrillas inclinadas con un ángulo de 15°. La primer parrilla es una parrilla corta y su función es la de secar los desechos. La segunda parrilla, donde la mayor combustión toma lugar está equipada con brazos mezcladores, los cuales esparcen y arrojan hacia abajo los desechos para asegurar un quemado completo.

tabla 5.3  
 CARACTERISTICAS DE LOS DESECHOS DEL AREA DE QUEBEC

VALOR CALORIFICO (BTU/LB)	6000
(Cal/lb)	7000
COMPOSICION % EN PESO	
HUMEDAD %	11.45
% DE QUEMABLES SECOS	73.6
% DE NO QUEMABLES	14.95
ANALISIS :	
% DE CARBON	38.67
% DE HIDROGENO	5
% DE OXIGENO	29.62
% DE NITROGENO	0.21
% DE AZUFRE	0.1
% DE HUMEDAD	11.45
% DE METALES E INERTES	14.95

La tercer parrilla transporta los residuos quemados y completa la combustión de aquellos residuos que no se han quemado totalmente en la segunda parrilla. La alimentación de cada parrilla se puede regular de acuerdo al contenido calorífico de los desechos sólidos, el objetivo es que la combustión no se interrumpa o se modifique.

Los gases de combustión se elevan dentro de las paredes del horno enfriadas con agua y pasan a través de los evaporadores, un sobrecalentador, otro evaporador, y un economizador en la sección de radiación. Los tubos son limpiados por agitación mecánica para inhibir en lo posible el deterioro de las tuberías. En la figura 5.3 se muestra el diagrama de proceso del vapor.

Las cenizas arrastradas y otras emisiones son controladas por medio de un precipitador electrostático.

Toda el agua que se utilice se debe de recircular en un sistema cerrado, estas aguas tendrán que tratarse antes de pasar a las plantas municipales de tratamiento de agua. De todo el vapor suministrado a la Anglo Canadian Pulp and Paper Company se puede retornar el 50 % en forma de condensado.

Los costos de construcción para incineradores del tipo generadores de vapor y los proyectos para mantenimiento y operación en cuanto a costos se refiere se muestra en la tablas 5.4 Y 5.5



figura 5.3  
 DIAGRAMA DE FLUJO DE VAPOR DE LA PLANTA DE QUEBEC

1.-AGUA DE LA CIUDAD, 2.- ALIMENTADOR DE AGUA TRATADA, 3.- ALMACENADOR DE AGUA, 4.-CONDENSADO, 5.-CONDENSADO TRATADO, 6.- BOMBA DE RECIRCULACION, 7.- BOMBA DEL ALMACENADOR DE AGUA, 8.-DEAREADOR, 9.- ACUMULADOR, 10.-BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA, 11.-ECONOMIZADOR, 12.-EVAPORADOR, 13.- SOBRECALENTADOR, 14.-H P CABEZAL DE 600 PSIG, 15.-LINEA DE TRANSMISION DE VAPOR PARA CLIENTES, 16.-CABEZAL L P DE 150 PSIG, 17.- USO PARA LA PLANTA

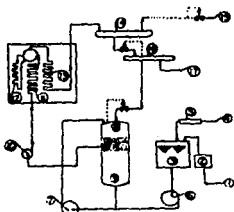


tabla 5.4  
 COSTOS DE CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE QUEBEC

CONCEPTO	COSTOS
HORNOS, CALDERAS, PRECIPITADORES, VENTILADORES I.D., TRASP. DE CENIZAS Y GRUA PARA CENIZAS	11900000
FUNDAMENTOS DE CONSTRUCCION Y TRABAJOS DE CONCRETO	1247000
GRUAS PARA BASURA	426000
BOMBAS Y TURBINAS DE VAPOR	103000
CONSTRUCCION Y ESTRUCT. DE ACERO	379000
TANQUES E INTERCAMBIADORES DE CALOR	15000
PLANTA PARA TRATAMIENTO DE AGUA	176000

tabla 5.4  
 COSTOS DE CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE QUEBEL

CONCEPTO	COSTOS
TANQUE PARA ALMACENAR OLEO	13000
DEPOSITO PARA CALENTAMIENTO DE OLEO Y UNIDADES DE BOMBEO	16000
TABLERO DE CONTROL CENTRAL E INSTRUM.	76000
CONSTRUC. Y CONSTRUC.GENERAL	784000
CHIMENEA Y SILD PARA CENIZAS VOLANTES	235000
DEAREADOR-ACUMULADOR	67000
SIST.DE TRANSP.DE CENIZAS VOLANTES	193000
COMPRESORES DE AIRE	56000
TRANSFORMADORES	24000
BALANZA DE PESADO ELECTRONICO	82000
GENERADOR DE DIESEL	33000
CONDENSADOR DE VAPOR DE EMERG.	253000
SERV. TEMPORALES DURANTE LA CONSTRUC.	127000
TABLERO CONTROLADOR DE EQUIPO Y BUS BARS	20000
TRABAJOS MEC.Y LINEA DE TRANSM. DE VAPOR	2175000
RAMPAS DE ACCESO,AGUA Y CAGERIA	400000
JARDINERIA Y OTROS	200000
TOTAL	
COSTO DE CONSTRUCCION	19000000

LOS COSTOS ESTAN EN DOLARES (1974)

tabla 5.5  
 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACION  
 PARA LA PLANTA DE QUEBEC

CONCEPTO	AÑOS		
	1975	1976	1980
TON. QUEMADAS AL AÑO DE BASURA	325000	250000	325000
AMORTIZACION	1768000	1768000	1768000
COSTOS DE OP.	800000	900000	1000000
COSTO TOT./TON.QUEMADA	11.41	10.67	8.51
INGRESOS POR VENTA DE VAPOR BASADO EN PRECIO ACTUAL	1385000	1458000	1850000
INGRESO/TON.QUEMADA	6.15	5.84	5.7
COSTO NETO/TON.QUEM.	5.26	4.83	2.81

NOTA: LOS COSTOS ESTAN EN DOLARES (1974)

## EXPERIENCIAS EN JAPON

### ANTECEDENTES

Japón es una de las ciudades más industrializadas, teniendo grandes problemas en la disposición de los desechos sólidos municipales, siendo el más dramático en la ciudad de Yokohama y el menor en Tokio. En el año de 1970 había 585 plantas de todos tamaños y menos de la mitad de estas utilizaban el calor de los procesos de combustión.

### RESULTADOS

La utilización del calor de desperdicio del proceso de incineración no se pudo distribuir en el Japón por varias razones, como:

- 1.- La calidad de los desechos era inferior.
- 2.- Diferentes agencias son responsables de la disposición de los desechos sólidos, así como de la generación de energía.
- 3.- La industria no lo considera como una alternativa factible por la inopia de las plantas

Japón decide generar energía por medio de la combustión de los desechos sólidos. La tabla 5.6 muestra las plantas incineradoras con turbogeneradores que existían en el Japón hasta abril de 1973.

La oficina de normas de sanidad municipal de Yokohama en el Japón ha realizado un gran número de estudios concernientes a la aplicación de incineradores, existiendo factores limitantes a considerar, algunos de estos son:

- a.- La localización de la planta: Es importante la proximidad de las áreas urbanas,
- b.- La planta debe estar localizada en lugares donde la contaminación de agua no exista, si hay extracción de sal

El departamento de sanidad de Yokohama considera que la aplicación y sitios donde se instalen plantas incineradoras deben incluir lo siguiente:

- 1.- Las plantas incineradoras desaladoras que se construyan deben estar en regiones libres de agua contaminada y en aquellas donde exista escasez de agua ( las plantas desaladoras productoras de sal deben estar cerca).

- 2.- Las plantas procesadoras de incineración industrial deben construirse cerca de las manufacturaras que usaran el calor de desperdicio en sus procesos productivos, tales como: fabricación de hielo, concreto y químicos.

- 3.- Para calentamiento y enfriamiento de los distritos, los incineradores deberán ser construidos en distritos comerciales, urbanos, suburbanos y regiones donde el calor de los desechos se pueda utilizar.

La planta de Rinko en la ciudad de Kawasaki es un incinerador típico cuyo diagrama de flujo del vapor del sistema generador se muestra en la figura 5.4 y la tabla 5.7 indica los resultados de dos años de operación de la planta.

tabla 5.6

## PLANTAS DE INCINERACION CON TURBOGENERADORES EN JAPON

CIUDAD	PLANTA	SALIDA KW	CALENTADOR (caldera)			
			TIPO	EVAPORACION (TON./HR)	P MPa	T (°C)
OSAKA	NISHIYODO	2700	C T	17	2.25	350
TOKYO	SETAGAYA	2500	C T	33	1.57	203
TOKYO	SHAKUJII	1500	C T	33	1.57	203
TOKYO	CHITOSE	1700	C F	23.4	1.17	230
KAWASAKI	RINKO	1300	-	16	1.57	203
TOKYO	KOTO	3000	C F	27.8	1.86	240
TOKYO	TAMAYAWA	2000	C F	28.2	2.25	250
TOKYO	OHI	2500	C T	27.6	1.76	209
TOKYO	ITABASHI	3200	C T	28.4	1.57	203
TOKYO	SUGINAMI	2500				
TOKYO	ADACHI	10000				
TOKYO	KATSUSHIKA	12000				
TOKYO	TAMA	-				
KAWASAKI	TACHIBANA	2000	DD	24.5	1.56	203
YOKOHAMA	KONAN	2800	CT	35.9	1.96	211
YOKOHAMA	MINANI-TO ZUKA	5000	DD	65	1.57	203
YOKOHAMA	-	4500	-			
KITA-KYUSHU	KOGASAKI	3000	C F	21.5	2.06	-
SAPPORO	SHIMANOFFO- RO	1400	C F	-	-	-

CF=circulación forzada, CT=doble tubo, DD= doble tambor

\*\* los demás equipos continúan en la siguiente tabla

MPa=UN MILLON DE PASCALES

tabla 5.6 (continua)

## CARACTERISTICAS DE OPERACION PARA TURBINAS Y GENERADORES DE LAS PLANTAS DE JAPON

N.	TURBINA					GENERADOR			
	TIPO	CAP. Kw	P MPa	T °C	BP MPa	N	CAP KVA	V VOLT	TPDX NH
2	COND.	2700	2.26	358	0.70	2	2700	6600	200 X 2
3	B P	2500	0.98	183.2	0.03	1	3125	6600	300 X 3
2	B P	1500	0.98	183.2	0.03	1	1875	6600	300 X 2
2	B P	1700	0.98	220	0.05	1	2125	3300	300 X 2
3	B P	1300	1.52	201.9	0.03	1	1444	6600	200 X 3
6	B P	3000	1.66	230	0.05	1	3750	3300	300 X 6
2	B P	2000	1.66	230	0.03	1	2500	3300	300 X 2
4	B P	2500	0.98	189	0.03	1	3125	3300	300 X 4
4	B P	3200	1.17	191	0.03	1	3200	3300	300 X 4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	T. 900
-	-	-	-	-	-	-	-	-	T.1200
-	-	-	-	-	-	-	-	-	T.1200
-	-	-	-	-	-	-	-	-	150 X 2
3	BP	2000	1.42	-	0.03	-	-	6600	200 X 3
3	-	2800	1.17	190.7	0.03	1	2800	6600	300 X 3
3	BP	5000	1.43	202	0.03	1	5000	6600	500 X 3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	400 X 3
-	BP	3000	1.76	209	0.05	1	3000	6600	200 X 3
-	-	1400	-	-	-	-	-	-	300 X 2

TPD X NH= toneladas por día por número de incineradores

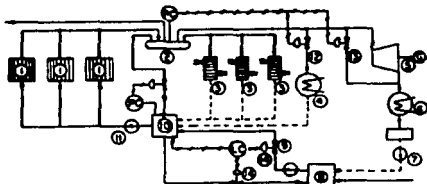
B P= baja presión

KVA=kilovoltamperios

COND.=condensación

figura 5.4  
 DIAGRAMA DE FLUJO DEL VAPOR

1.-CALDERA DE CALOR DE DESPERDICIO, 2.-SEPARADOR DE VAPOR  
 3.-VAPOR PRECALENTADOR DE AIRE, 4.-CONDENSADOR DE ALTA  
 PRESION, 5.-TURBOGENERADOR, 6.-CONDENSADOR DE BAJA PRESION  
 7.-BOMBA DE CONDENSADO, 8.-TANQUE DE AGUA, 9.-BOMBA DE AGUA  
 10.-DEAREADOR, 11.-BOMBA DE ALIMENTACION A LA CALDERA, 12.-  
 VALVULA PRINCIPAL CONTROLADORA DE PRESION, 13.- VALVULA  
 SECUNDARIA DE CONTROL DE PRESION, 14.-CONTROLADOR DE NIVEL  
 DEL DEAREADOR.



vapor - - - - - agua - - - - - condensado - - - - -

tabla 5.7  
 EXPERIENCIA DE OPERACION DE LA PLANTA DE FINCH

CARACTERISTICAS	ABRIL 1971 MARZO 1972	MONTO PROM.	ABRIL 1972 MARZO 1972	MONTO PROM.
DESECHOS INCINERADOS (TON)	89938	7495	10957	8913
POTENCIA CONSUMIDA TOTAL (X 10 E 3 KWH)	5952	496	6764	564
POTENCIA GENERADA ( X 10 E 3 KWH)	4330	361	5683	474
RELACION DE GENERACION DE POTENCIA (DEPENDENCIA %)	72.8	-	84.1	-
RAPIDEZ DE POTENCIA GENERADA (X 10 E 3 yen)	16537	1378	21780	1815
RELACION DE VEL. DE GENERACION DE POTENCIA	60.5	-	71.7	-
NUMERO DE DIAS DE OPERACION	327	37	739	28
HORAS DE OPERACION DEL GENERADOR	7144	593	7643	637
RELACION DE OOPERACION DE LA GENERACION DE POTENCIA (%)	90.9	-	94.3	-
RELACION DE OOPERACION	47.0 %	-	54.0 %	-

## EXPERIENCIA EN LOS ESTADOS UNIDOS

La cantidad de desechos sólidos municipales en E.U. llega a 136 millones de toneladas métricas (es decir cada habitante produce una cantidad de 1.4 a 1.8 Kg. al día).

Su contenido de energía es de cerca de 10.470 KJ./Kg. o 14420 KJ E. 12 al año, lo que es equivalente a 56.2 ton. de (51 millones de toneladas métricas) carbón y 36 millones de metros cúbicos de combustible (datos utilizados en 1981 consumidos para la generación de electricidad); sin embargo la recuperación de energía es solo económica en áreas densamente pobladas y donde se pagan altos costos de recolección y transporte de basuras.

En el año de 1983 al menos trece plantas estaban listas para entrar en operación en E.U. cinco eran de calentadores (calderas) dedicados y cuatro se utilizarían en lugar de combustible como suplemento, para utilidades eléctricas, en estos desechos se quemarán también desechos de árboles en calentadores de 12.5 Mw. en una combustión del tipo lecho fluidizado de la Northern States Power Co. (NSP) French Island station.

Con base a esta experiencia se evaluó el quemado de carbón y de desechos en un lecho fluidizado de la Black Dog Station Unit 2 Minneapolis, Minn. que se contrato para 1986. La combustión del lecho fluidizado de RDF fue evaluada en la planta piloto bajo el patrocinio de el Departamento de Energía de los E.U. y la universidad de Stanford. La tabla 5.8 nos muestra las características entre el carbón y los desechos sólidos municipales con tratamiento y sin el.

tabla 5.8

-----  
 CARACTERISTICAS DE LOS DESECHOS SOLIDOS MUNICIPALES,  
 RDF Y CARBON  
 -----

COMPOSICION % EN PESO	MSW	RDF	CARBON WYOMING	CARBON ILLINOIS
CARBONO	25.6	33.8	47.9	57.6
HIDROGENO	3.4	4.5	3.4	3.7
OXIGENO	20.3	26.2	10.8	5.8
NITROGENO	0.5	0.5	0.6	0.9
AZUFRE	0.15	0.2	0.5	4.0
CLORO	0.45	0.5	0.03	0.1
CENIZAS	24.9	11.9	6.4	16.0
HUMEDAD	25.2	24.0	30.4	12.0
H C ( kJ/Kg )	10350	13375	18655	23490

MSW=municipal solid waste (desechos sólidos municipales),  
 H C=heat content (contenido de calor)



Existen muchos componentes de los desechos municipales que afectan de manera directa la combustión, entre ellos se encuentran vidrios, fragmentos metálicos y un alto contenido de cloro. El vidrio y el metal incrementan la escoria y la formación de depósitos sobre las superficies de transferencia de calor, el alto contenido de cloro incrementa la corrosión por la presencia de ácido clorhídrico (HCl) arriba de 425 grados centígrados.

Por lo general las condiciones del vapor limitan a los calentadores a menos de 425 grados; sin embargo los actuales operan en condiciones de 16,550 KPa y 540 grados celcius.

Analizaremos tres plantas que trabajan cada una con la tecnología mas utilizada en su caso .

- 1.-La planta de Oswego County, N.Y. con una capacidad de 200 toneladas-día
- 2.-La planta de Ames Iowa de 200 toneladas-día
- 3.-La planta de Gallatin ,Tennessee de 200 toneladas-día.

PLANTA	CAP.	ANALISIS
OSWEGO	200 TPD	LA PLANTA ACTUALMENTE SOLO GENERA ELECTRICIDAD. SATISFACTORIA MTO.INTENSO

---

#### EQUIPOS Y COSTOS

---

HORNOS 4  
 CALDERAS 4  
 EQUIPO DE CONTROL: PRECIPITADOR ELECTROSTATICO (4 UNIDADES )  
 VAPOR (0.5 TON/HORA DE 1723 kPa Y 202.4 °C )  
 TURBINAS DE 1800 Kw  
 CLIENTES : A.W. ENTERPRICE  
 OPERACION: 24 HORAS LOS 7 DIAS DE LA SEMANA  
 COSTOS: CONTRUCCION 14.5 MILLONES DE USD (1984).  
 OPERACION: 1.1 MILLONES DE USD. ANUAL

PLANTA	CAP.	ANALISIS
AMES IOWA	200 TPD	SE DESCONTINUO EL SISTEMA DE CLASIFICACION. DAÑOS A LINEAS DE ALIMENT. Y CLASIF. CADA MODULO TRABAJA SOLO CON 35 TPD.

---

EQUIPO Y COSTOS

---

TRITURACION: ORIGINAL  $\rightarrow$  7"  $\rightarrow$  3/4"

VAPOR 163 TON./HORA (6205 kPa .477<sup>o</sup>)

TURBOGENERADOR 65 Mw.

COSTOS: CONSTRUCCION 4.74 MILLONES DE USD (1976)

CALDERAS 1.71 MILLONES DE USD.

OPERACION 24.41 USD /TON (1984)

PLANTA	CAP	ANALISIS
GALLATIN	200 TPD	CALDERA AL 59-57 % DE EFICIENCIA. SE CAMBIA EL BAGHOUSE (1984)

---

EQUIPO Y COSTOS

---

VAPOR 12.7 TON/HORA (OPERACION)

24.9 TON/HORA (DISEÑO)

GENERADOR: DE 500 KW

EQUIPO DE CONTROL: PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

COSTO: 13.2 MILLONES DE USD (1982)

CLIENTES: DONNELLY PRINTING COMPANY (VAPOR)

GALLATIN ELECTRIC SYSTEM (ELECTRICIDAD)

## CAPITULO 6

## POTENCIAL DE APLICACION EN LA CIUDAD DE MEXICO

Debido a la gran cantidad de basura generada en la ciudad de México, la incineración llevada a cabo en forma responsable con la obtención de energía podría ser una alternativa atractiva como ha sucedido en otros países del mundo.

Por un lado se logra un tratamiento para los residuos sólidos municipales y por el otro se obtiene energía. En la ciudad de México, ambos son problemas; la demanda de energía en relación a la capacidad instalada se observa como crítica, las inversiones deben ser grandes. En la ciudad la cantidad de desechos sólidos actualmente también es aguda, no existe la capacidad suficiente para su manejo, es necesario que se adapten nuevas técnicas, la técnica de relleno sanitario será rebasada por el crecimiento de esta gran ciudad, basta con ver los cientos de basureros que en donde sea se encuentran, esto demuestra que la capacidad de recolección y tratamiento es insuficiente.

Se estima que para el año 2000 la ciudad de México tendrá una población de 30 millones de habitantes que generarán una gran cantidad de desechos sólidos, si pensamos que actualmente cada habitante genera en promedio 0.9 Kg de basura y de acuerdo con el último censo somos cerca de 17 millones en el D.F., la cantidad de desechos es enorme. Es de preverse que el método de relleno sanitario adoptado por las autoridades será rebasado.

Si el crecimiento de la demanda se da por el número de usuarios y no por el incremento por usuarios, las necesidades de energía para la ciudad de México serán mayores en el futuro. La generación energía eléctrica para satisfacer a la ciudad mas grande del mundo tendrá que ser enorme.

EXPERIENCIA EN LA INCINERACION DE RESIDUOS  
SOLIDOS MUNICIPALES

PLANTA DE CIUDAD UNIVERSITARIA

DESCRIPCION

La planta inicio sus operaciones en marzo de 1984, con una capacidad de diseño de 1700 Kg. hora de basura seca en cada horno, actualmente se utiliza entre un 75-80 % de su capacidad para evitar sobrecargas.

La planta de desechos sólidos se encuentra localizada en una área de 13,500 metros cuadrados dentro de los terrenos de Ciudad Universitaria al sur-poniente de la avenida Insurgentes. La planta esta dividida en cinco zonas, estas son:

- a.-Zona de recepción.
- b.-Zona de selección.
- c.-Zona de incineración.
- d.-Zonas de tanques combustibles.
- e.-Zona de servicios.

tabla 6.1

CARACTERISTICAS DE LA BASURA DE CIUDAD UNIVERSITARIA

BASURA	PORCENTAJE
PAPEL BLANCO	6.11
PAPEL DE COLOR	1.60
PAPEL PERIODICO	1.54
PAPEL KRAF	0.65
PAPEL SANITARIO Y KLEENEX	0.89
TOALLA DE PAPEL	0.89
PAPEL CELOFAN	0.32
PAPEL ENCERADO	0.10
PAPEL CARBON Y CINTA DE MAQUINA	0.27
PAPEL METALICO	0.07
CARTON	1.84
ENVASE TETRAPAK	1.41
SUBTOTAL DE PAPEL	15.60
PLASTICO BLANDO	1.34
PLASTICO RIGIDO	1.80
SUBTOTAL PLASTICO	3.14
VIDRIO	3.11
MADERA	4.79
TEXTILES	1.34
LATAS	1.66
SUBTOTAL	10.90
DESECHOS COMIDA	9.90

DESECHOS ORG.LAB	0.55
DESECHOS O. LAB	0.18
DESECHOS CONSTRUCCION	3.06
DESECHOS JARDINERIA	22.29
TIERRA	11.29
OTROS	23.10
SUBTOTAL	-70.34 -
TOTAL	100.00

---

#### OPERACION

Una vez que los residuos se han separado son depositados en la tolva de forma manual. El proceso de combustión en el incinerador es de cámaras múltiples. Se inicia en una cámara primaria en la que se descargan los residuos sólidos, la carga de dicha cámara se conoce como cámara de ignición, está se lleva en forma manual a través de la compuerta y los desechos se depositan sobre las parrillas ó rejas localizadas al fondo.

En este momento se enciende el arco voltaico de los quemadores que al detectarse por las fotoceldas eléctricas, permiten la circulación de combustible iniciando la combustión. En esta cámara se logra la ignición, desecación y combustión de los desechos sólidos.

A medida que se queman los desechos, la operación ocasiona la formación de gases que pasan a través de una segunda cámara provista de un quemador secundario que se enciende al mismo tiempo que el quemador de la primera cámara. La turbulencia que se produce en la cámara (debido a las zonas con escasez de aire) y los cambios de dirección ocasionados por las mamparas colocadas dentro de la dirección de la corriente de gas en el horno completan la mayor parte de la combustión de los gases.

En la tercer cámara existe una pared refractaria al igual que en las anteriores. Las cenizas volantes y otras partículas sólidas de material son recuperadas en la última cámara, con la velocidad que alcanzan en la segunda cámara chocan en la tercer cámara con una cortina de agua y son captadas en una charola de concreto. Por ultimo los gases limpios se descargan a través de la chimenea.

La parte inferior del horno esta formada por parrillas de acero niquel- cromo resistentes a altas temperaturas, está provista de mecanismos hidráulicos para subir y bajar la carga de cenizas. La parrilla esta dividida en dos áreas para una mayor comodidad.

El sistema de operación y los elementos principales se muestran en la figura 6.1

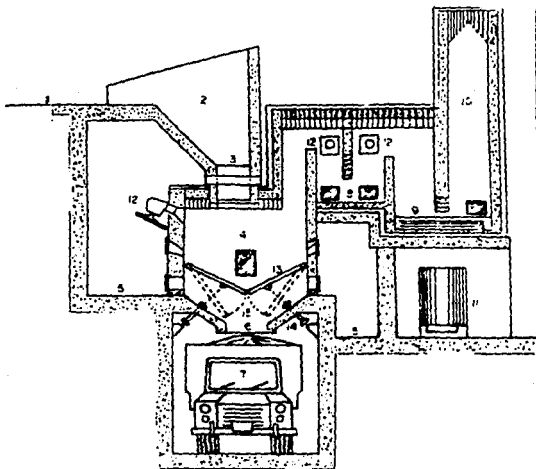
#### INVERSION Y COSTOS

Los costos de inversión estimados, así como los costos de operación para el año de 1990 de enero a diciembre se muestran en las tablas 6.2 y 6.3

figura 6.1  
INCINERADOR DE LA PLANTA DE CIUDAD UNIVERSITARIA

1.-ZONA DE SELECCION, 2.- TOLVA DE BASURA, 3.- COMPUERTA, 4.- CAMARA DE COMBUSTION, 5.-CIRCULACION, 6.-COMPUERTA DE CENIZAS, 7.-TUNEL DE EXTRACCION DE CENIZAS, 8.- CAMARA SECUNDARIA, 9. CAMARA HUMEDA , 10.-CHIMENEA, 11.-TINAS DE SEDIMENTACION, 12.- QUEMADORES , 13.- PARRILLAS DE BASURA MOVIL, 14.- GATOS HIDPAULICOS, 15.-TOLVA DE CENIZAS.

#### REGISTRO DE MANTENIMIENTO Y OXIGENACION



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

tabla 6.2  
INVERSION DE LA PLANTA

CONCEPTO	INVERSION (MILLONES DE PESOS)
OBRA CIVIL	30
HORNOS Y CHIMENEAS	20
2 TANQUES DE COMBUSTIBLE	3.5
JARDINERIA	3.0
PAVIMENTACION	5.0
MALLA	0.4
OTROS	0.75
TOTAL	62.5

datos para el año de 1983

tabla 6.3  
COSTOS DE OPERACION  
ENERO-DICIEMBRE 1990

CONCEPTO	COSTO (MILLONES DE PESOS)
OPERACION	189
OP. OPCIONAL	12
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	30
FUMIGACION SEMANAL	6
MATERIALES	12
TOTAL	249

#### EXPERIENCIAS DE OPERACION

La planta ha tenido que ser modificada de su diseño original a las necesidades de operación. A continuación se señalan aquellos que se consideran más significativos.

El combustible: Actualmente se utiliza diesel, este es un combustible caro, ocasiona emisiones de gases contaminantes como compuestos de azufre, se desea que la planta trabaje con gas natural; pero en Ciudad Universitaria no hay líneas de suministro de gas natural.

**Corrosión en la tubería:** El problema de la corrosión es en las zonas donde se localiza el agua para sedimentar, esta agua se recircula y llega a alcanzar temperaturas de 80 C.

**Control de temperatura:** el intervalo de temperatura es de 750-1000 grados centígrados. Si la temperatura no se controla la combustión es deficiente, se hizo necesario colocar varios pirómetros en distintas partes del horno.

**Deterioro de las fotoceldas:** El sistema de acción del quemador esta en función de la temperatura que se registra dentro del horno, el sistema automático manda una señal por medio de un haz de luz detectado por la fotocelda al sistema automático de control que se encarga del suministro de combustible.

El aire caliente circula de la primera a la segunda cámara de combustión, trata de salir por el orificio de la boca de los quemadores, que al ser muy pequeños impiden la circulación y la masa de aire sale a través de los quemadores, esto provoca que los cables se quemen, ocasionando constantes cortocircuitos.

**Volatilización de las cenizas:** Las cenizas se descargan mediante la compuerta inferior, al abrirla se ocasiona una gran contaminación en la atmósfera de trabajo por la emisión de estas. Se pretendió solucionar este problema instalando una cortina de agua en la descarga pero esto se soluciono solo parcialmente.

#### PLANTA DE SAN JUAN DE ARAGON

Aunque no fue posible obtener información acerca de esta planta, en base al manual de operación de la planta se hace una descripción muy somera de ella.

La planta de San Juan de Aragón se construyo atrás de la planta tratadora de desechos solidos. La planta se construyo bajo la tecnología OFAG ZURICH de Alemania. La tecnología es sofisticada, a continuación se hace una descripción.

#### DESCRIPCION DE LA PLANTA

**Báscula de plataforma:** La báscula esta colocada sobre el camino de acceso y esta localizada de tal manera que es fácilmente observable desde la sala de control. La caja de controles se encuentra en la sala de pesado.



## DEPOSITO DE BASURA Y ALIMENTACION DEL HORNO

La plataforma incineradora tiene un depósito con 6 puntos de volteo y un volumen útil de 2000 metros cúbicos. Tomando como base el peso que generalmente tiene la basura recibida de  $0.2 \text{ ton/m}^3$ , puede almacenar alrededor de 400 ton. pero se puede llegar a 600 ton.

Dos grúas de puente con cuchara de funcionamiento semiautomático están instaladas para alimentar al horno. El posicionamiento y llenado de la cuchara son controlados manualmente desde el puesto de mando. Después que la cuchara se ha llenado, el control automático es encendido, los movimientos de elevación y del carro ocurren de manera automática al igual que la descarga y el retorno.

El vaciado automático de la cuchara llena puede realizarse sobre el horno 1 ó 2. El punto de vaciado se selecciona desde el puesto de mando. La altura de apilamiento y el vaciado se supervisan mediante cámara de televisión.

### MECANISMO DE ALIMENTACION

La boca, en forma de tolva cubica de alimentación del horno esta adaptada a las medidas que tiene la cuchara con mordazas múltiples cuando se encuentra abierta. En el extremo superior del cubo de alimentación esta instalada una compuerta de cierre.

El extremo inferior del cubo de alimentación esta formado por una parrilla de alimentación ligeramente inclinada con placas de empuje que recorren a la par del accionamiento de la parrilla, transportan el material de combustión hacia la zona de secado de la misma.

### PARRILLAS

La superficie de la parrilla esta dividida en dos zonas independientes separadas por medio de un escalón. Una zona de la parrilla tiene una cadena de barrotos fijos y la otra barrotos móviles unidos por una estructura deslizable.

El movimiento de las respectivas cadenas de barrotos ocasiona que el material avance lentamente sobre un intenso fuego hasta llegar al final de la parrilla, donde las cenizas completamente quemadas caen en el extractor.

Ademas del embrague de seguridad integrado al accionador central de la parrilla, la estructura de accionamiento de cada zona esta equipada con un dispositivo de seguridad contra sobrecargas. El aire para la combustión se suministra a cada una de las zonas de la parrilla de manera separada.

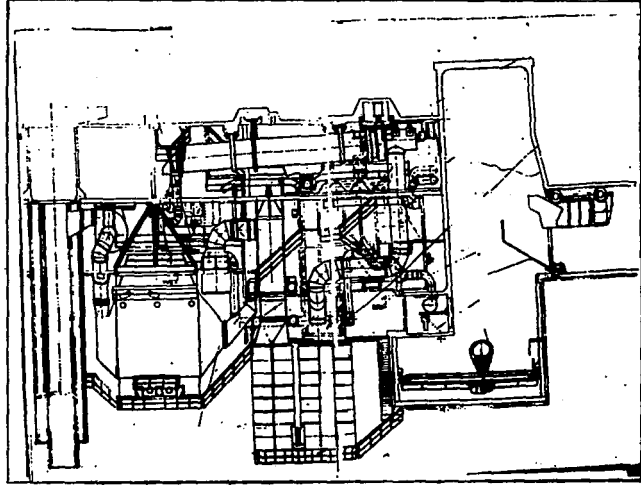
En la sección activa del filtro, las partículas contenidas en el gas son cargadas eléctricamente y en su mayoría separadas por medio de electrodos de precipitación conectados a tierra. Un mecanismo de golpeo sacude el polvo de estos electrodos de precipitación, el mecanismo de golpeo se regula por medio de un conmutador. La frecuencia con que se encienden se gradúa de acuerdo a las condiciones de trabajo. Para limpiar el sistema de descarga, en el cual también se precipita parte del polvo, existe un mecanismo de golpeo que funciona de manera continua.

El suministro eléctrico proviene de un rectificador de alta tensión con un sistema de regulación automático de voltaje.

#### EXTRACCION DE CENIZAS Y ESCORIAS

Los residuos de la combustión tales como cenizas, piezas como latas de conserva etc. caen por el cubo que se encuentra al final de la parrilla y se apagan en el extractor de empuje que se encuentra lleno de agua.

Un diagrama de la planta se muestra en la figura 5.2, debemos hacer notar que la planta aun no entra en operación.



PLANTA INCINERADORA DE SAN JUAN DE ARAGON  
Figura 6.2

## SECTOR ELECTRICO

## SITUACION NACIONAL

Actualmente se encuentran interconectadas seis áreas del territorio continental y están aisladas las penínsulas de Baja California y Yucatán. Una de las seis áreas o regiones abarca las entidades de Hidalgo, Guanajuato, San Luis Potosí, Estado de México y el D.F.

Se investigó la generación y consumo de el D.F.; pero no se encontraron datos por separado.

El responsable de la facturación de los usuarios en el D.F. es la Compañía de Luz y Fuerza del Centro; sin embargo solo el 10 % de la demanda es generada por Compañía de Luz y Fuerza del Centro, el 90 % restante es generado por Comisión Federal de Electricidad y vendida a la Compañía de Luz y Fuerza del Centro.

La mayor parte de la energía es generada por instalaciones termoeléctricas e hidroeléctricas. En el caso que nos ocupa solo consideraremos las centrales termoeléctricas y que usen vapor del área central que pertenecen tanto a C.F.E. como a C.L.F.C.

Ambas centrales se ilustran en la tabla 6.4 donde se presenta la potencia real instalada para plantas de vapor para el año de 1989.

El motor principal del crecimiento en la demanda de energía eléctrica ha sido el incremento en el número de usuarios, mas que el incremento promedio de cada usuario, que se relaciona directamente con el aumento de la población.

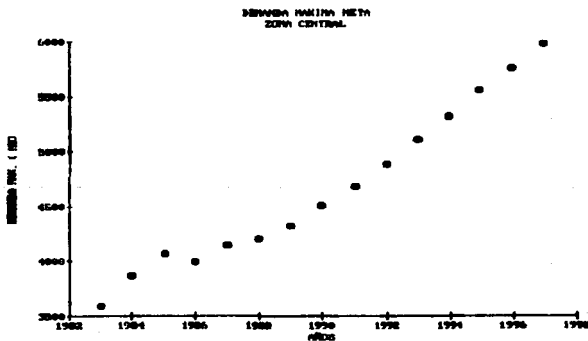
La Comisión Federal de Electricidad elaboró un modelo econométrico para estimar la demanda de energía de 1983 a 1997, se espera un crecimiento anual de 3.1 % para 1983-1992, y de 1992 a 1997 se espera un crecimiento anual de 3.5 % y una carga anual de bombeo de 4% del sistema cutzamala, alcanzando la tercer etapa en 1991 y su última etapa en el año de 1994. El comportamiento esperado se muestra en figura 6.3

tabla 6.4  
PLANTAS DE VAPOR DE LA REGION CENTRAL

CENTRAL	GENERACION NETA GWH	POTENCIA REAL INSTALADA Mw
FCO. PEREZ RIOS	8846	1500
VALLE DE MEXICO	3828	730
JORGE LUQUE	606	224
SALAMANCA	4729	820
CELAYA	187	36
VILLA DE REYES	4282	700
total	22478	4010

figura 6.3

COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA



## POSIBILIDADES PARA LA CIUDAD DE MEXICO (D.F.)

Si consideramos que la basura en la ciudad de Mexico tiene un poder calorifico de 1000-2000 kcal/kg es posible que se pueda utilizar para generar energia electrica. En paises como E.U. el poder calorifico de las basuras es de 4500 BTU/libra (2499.5 kcal/kg) o en Canada alcanza 3000 Kcal/kg (6000 BTU/lb), en la ciudad de Mexico este valor es 59% menor si lo comparamos con la basura de E.U., principalmente por la cantidad de organicos. La tabla 6.5 nos muestra las caracteristicas de los desechos solidos municipales para otros paises incluyendo a Mexico

tabla 6.5  
COMPOSICION PROMEDIO DE LOS DESECHOS SOLIDOS  
EN MEXICO Y OTROS PAISES

COMP.	G. BRETAGA	MEXICO	E.U.	ITALIA
MAT.ORG %	28	55	22.5	40
PAPEL %	37	15	45	18
METAL %	9	6	9.08	-
VIDRIO%	9	-	4.04	-
TEXTILES%	3	5	1.0	-
PLASTICO%	3	4	2.54	-
MAT.COMB.	1	2	3	-
MAT.NO COMB.	1	6	7.6	-
INERTES%	9	-	-	21
HUMEDAD %	-	40-50	24	-
KCAL/KG	-	2000	2500-3500	-
KG/M <sup>3</sup>	152	150-250	200-300	-

Basándonos en 2499.5 kcal/kg (4500 BTU/lb) en E.U. se produce un Mw por cada 50 TPD de basura (1). Si consideramos la diferencia entre el valor calorifico de las basuras de E.U. y Mexico este ultimo necesitaría mas de 100 TPD para generar esa misma cantidad. Así que una instalación de 1000 TPD de capacidad nos podría generar cerca de 10 Mw.

(1) Waste to Energy, AFPA, 1986

La generación de desechos sólidos municipales es de 12000 toneladas diarias (según cifras oficiales) si de estas el 50% aproximadamente son desechos sólidos orgánicos, los cuales no se considerarían para la incineración en principio, aunque si se pueden quemar dependiendo de la cantidad de orgánicos cargados al incinerador tendríamos 6000 TPD de basura que se podrían tratar. Las tablas 6.6 y 6.7 indican la composición domiciliaria de los desechos sólidos en el D.F. así como la carga máxima y mínima recomendada para un incinerador.

tabla 6.6  
PORCENTAJE DE SUBPRODUCTOS DE DESECHOS SÓLIDOS  
DOMICILIARIOS EN EL D.F.

SUBPRODUCTO	PROMEDIO
ALGODON	0.23
CARTON	3.28
CUERO	0.65
RESIDUOS FINOS	0.94
CARTON ENCERADO	1.42
FIBRA VEGETAL	4.91
FIBRA SINTETICA	0.47
HUESO	0.82
HULE	0.21
LATA	1.59
LOZA Y CERAMICA	0.74
MADERA	0.58
MAT. DE CONSTRUCCION	0.77
MATERIAL FERROSO	0.51
MAT. NO FERROSO	0.21
PAPEL	12.43
PAJAL DESECHABLE	3
PLASTICO	5
POLIURETANO	1.44
POLISTIRENO	0.32
RES. ALIMENTICIOS	14.14
RES. JARDINERIA	2.97
TRAPO	2.37
VIDRIO DE COLOR	2.58
VIDRIO TRANSP.	4.32
OTROS	3.14

FUENTE: INFORME COMISION NACIONAL DE  
ECOLOGIA 1988

tabla 6.7  
COMPOSICION PROMEDIO DE CARGA AL INCINERADOR

CONCEPTO	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
MAT.ORG.	9.1	46.7	26.7
PAPEL	29.8	61.8	47.6
METAL	6.6	10.9	8.3
VIDRIO	4.6	11	6.8
PLASTICO	2.5	5.8	2.8
TEXTILES	1.4	4.8	2.2
MAT.COMB.	0.4	2.2	1.4
VARIOS	0.2	12.5	42
HUMEDAD	15	35	28
KCAL/KG	ENTRE 1650 Y 3300 APROX.		

Las 6-7 plantas incineradoras, en su conjunto generarían 60-70 Mw tomando como base, que una planta de 1000 TPD de capacidad generaría aproximadamente 10 Mw, según estimados, y sobre todo dispondrían de la mitad o posiblemente más de los desechos sólidos generados al día con una reducción en su volumen de 90%-95% .

Considerando, que en la generación de energía se utilizan combustibles tales como diesel, combustóleo y gas. Si se usara basura para reducir en cierta medida la cantidad de diesel y combustóleo, por un lado se reduce la cantidad de desechos y por otro se obtiene energía. En la tabla 6.8 se ilustra la cantidad de combustibles que se quemaron para la generación de la energía eléctrica para la zona central así como la cantidad de kcal. necesarias.

Hagamos un análisis mas cercano, para la planta Jorge Luque se utilizaron 2109 E 09 kcal. para generar 606 Gwh. Se gastaron 182000 metros cúbicos de combustóleo y 37 millones de metros cúbicos de gas. El combustóleo apporto 1808 E 09 kcal. y el gas 309 E 09 kcal. considerando el poder calorífico de la basura en la ciudad de México estimado como 1000-2000 kcal./kg. La cantidad de energía que proporciona el combustóleo la obtenemos para el año de 1989 con 4953.4 TPD y para el caso del gas para cubrir esa demanda energética son necesarias 829 TPD.



tabla 6.8  
CANTIDAD DE COMBUSTIBLE Y ENERGIA PARA LAS PLANTAS DE  
LA REGION CENTRAL.

CENTRAL	COMBUSTIBLE	
	COMBUSTOLEO miles de m <sup>3</sup>	KCAL. E 09
FCO. PEREZ RIOS	2399	23885
VALLE DE MEXICO	484	4816
JORGE LUQUE	182	1808
SALAMANCA	1293	12877
CELAYA	81	809
VILLA DE REYES	1080	10758
TOTAL	5519	54953

tabla 6.8 (continua)

CENTRAL	COMBUSTIBLE	
	GAS millones de m <sup>3</sup>	KCAL.E 09
FCO. PEREZ RIOS	31	267
VALLE DE MEXICO	683	5575
JORGE LUQUE	37	301
SALAMANCA	24	206
CELAYA	-	-
VILLA DE REYES	-	-
TOTAL	775	6549

Reemplazar en su totalidad el diesel o el combustoleo prácticamente no es posible ; sin embargo al hablar de combustoleo y sabiendo que en la mayoría de las centrales de la zona central, que es la que cubre la mayor parte de la demanda de la ciudad de Mexico (D.F.) se utiliza combustoleo, el sustituir una parte considerable de combustoleo por basura podría ser una opción más práctica y atractiva. Para el caso del diesel la situación es similar.

En la ciudad de México no existen plantas incineradoras que generen energía eléctrica, aunque existen sitios seleccionados para plantas incineradoras de basuras por el D.D.F. para todos ellos no se contempla la recuperación de energía. Los sitios seleccionados por el departamento se muestran en la tabla 6.9

tabla 6.9

ALTERNATIVAS DE SITIOS PARA  
LA INSTALACION DE INCINERADORES

NUMERO DEL SITIO	UBICACION
1.-	COAPA PERIFERICO Y TLALPAN
2.-	COAPA
3.-	DEPORTIVO IMSO
4.-	PANTEON SAN ISIDRO
5.-	FERRERIA
6.-	DEPORTIVO PANTACO
7.-	LUMBRERA
8.-	ZACATENCO
9.-	SAN JUAN DE ARAGON
10.-	MAGDALENA MIXHUCA
11.-	CABEZA DE JUAREZ
12.-	SECRETARIA DE TELECOMUNICACIONES
13.-	PEDREGAL DE SAN FRANCISCO
14.-	PANTEON JARDIN
15.-	LOMAS DE TARANGO
16.-	SAN JERONIMO LIBICE

PUNTO DE VISTA ECONOMICO

El precio de una planta incineradora de desechos solidos municipales con la generación de energía eléctrica es particularmente muy elevado, generar energía eléctrica y lograr el tratamiento de los desechos solidos produce una energía a precios considerablemente superiores que el costo de la energía actual; sin embargo un proyecto conjunto tanto para disposición de desechos solidos como de generación de energía en la ciudad de México por la cantidad de desechos solidos generados, puede considerarse al buscar una solución al manejo de los desechos solidos en esta ciudad.

La selección económica de aceptar o no el proyecto lo dará un estudio técnico económico riguroso, en el presente trabajo no se contempla este estudio. A continuación se muestran datos estimados de inversión de un incinerador en México con la opción de recuperación de calor a precios de junio de 1991.

Depreciación de equipo e instalaciones	48,470 /ton.
Intereses de equipo e instalaciones	92,100 /ton.
Mantenimiento de equipo e instalaciones	48,470/ton.
Depreciación de camiones	840 / ton.
Intereses de camiones	443.3 /ton.
Mantenimiento de camiones	672 /ton
Consumo de gasolina	420 /ton.
Consumo de energía eléctrica	12840 /ton.
Costo de mano de obra	737 /ton.
<b>COSTO TOTAL PARA INCINERACION</b>	<b>\$ 204,993 /TON.</b>

#### PUNTO DE VISTA ECOLOGICO

Al quemar basura generamos una cantidad de sustancias contaminantes, mayores que las que se generan cuando quemamos diesel o combustóleo, estas emisiones sin control pueden ser nocivas para los individuos que se encuentren expuestos. Con la instalación de equipos de control estas emisiones se reducen en gran medida. Al quemar basura se crean desechos que pueden llegar a contaminar el agua y el suelo. Se debe hacer un estudio riguroso de cuales serán los beneficios y cuales serán los problemas generados inmediatos y los que se podrían generar en el futuro en las regiones cercanas donde se decida instalar la planta de incineración.

Un proceso de incineración controlado de manera adecuada reduce significativamente los problemas expuestos, además existen desechos como los de rastros y de hospitales que solo mediante una técnica de incineración se logra su tratamiento de manera segura, si de este proceso se logra obtener energía para la autosuficiencia de la planta y en su caso vender la energía excedente la opción se torna atractiva.

## CONCLUSIONES

- 1.- Se debe considerar a la incineración de desechos sólidos municipales como una parte de la solución al problema de los desechos sólidos en esta gran ciudad. Solo los desechos sólidos municipales no orgánicos se pueden tratar por esta técnica en principio, se pueden incluir desechos de hospitales y rastros siempre y cuando se quemen de forma separada, pudiendo tratarse los gases de combustión en forma conjunta.
- 2.- El decidir utilizar la técnica de incineración implica tecnología sofisticada y costosa, mano de obra capacitada e instalaciones que en general conducen a un método caro para el tratamiento de los desechos sólidos municipales, que los ciudadanos deben estar dispuestos a pagar.
- 3.- No existen normas técnicas ecológicas en lo referente a los desechos sólidos municipales, al referirnos a incineración, contamos con la normas oficiales mexicanas, por lo que además de estas se deberán crear normas técnicas ecológicas para el manejo de los desechos sólidos urbanos, si se decide la opción de elegir esta técnica como un método de tratamiento de las basuras.
- 4.- La alteración ecológica en los países de primer mundo se debe al uso excesivo de energía, en los países subdesarrollados el deterioro se debe principalmente por: un crecimiento demográfico descontrolado, necesidad de recursos de alimentación, de suministro de agua y disposición de basura. En la ciudad de México estos problemas son simultáneos.

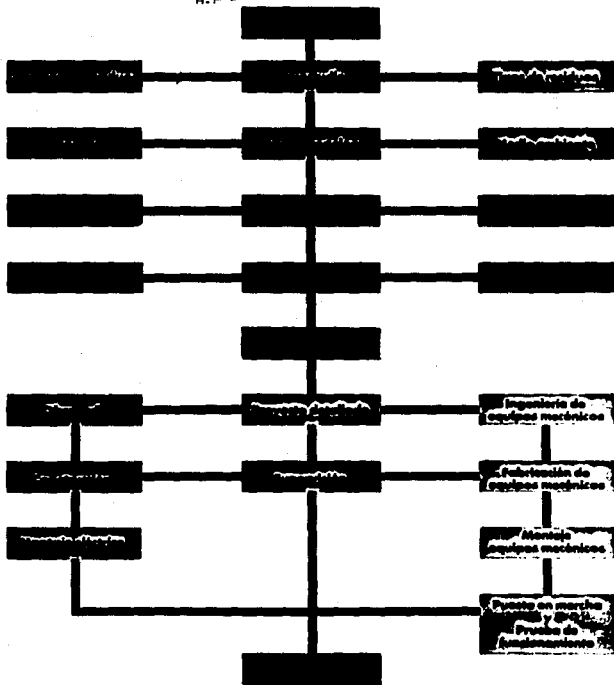
- 5.- La estructura actual del manejo de los residuos sólidos municipales, es decir la basura, así como el control total de la generación de energía por parte del estado, no propicia el ambiente para que la inversión privada se de, creemos que debe de modificarse. Algunos pasos se están dando, recientemente se firmo en Naucalpan Edo. de México un convenio entre las autoridades y la Asociación de Industriales del Estado de México para concesionar a la iniciativa privada la recolección de desechos en Naucalpan. El éxito en otros países de debe a una cooperación entre la inversión pública y la inversión privada. Si en el D.D.F. no se tienen recursos suficientes debería permitirse la inversión privada.
- 6.- Los costos de inversión estimados para una planta termoelectrica normal y una planta de incineración que genere la misma cantidad de Mw son.

Planta de 60 Mw de 2250 TPD.	Termoelectrica de 60 Mw
915,000 millones	163,000 millones
Planta de 4.5 Mw de 160 TPD	
90,000 millones	
Costos de inversión en dolares/Kw	
planta de incineración	planta termoelectrica
4233	900 *
* no se considera equipo de control ambiental	

- 7.- Del tratamiento anterior se estima que el ahorro de combustible quemando basura es de 123,000 millones de pesos anuales para el caso del combustóleo. En el caso del diesel, este ahorro es 1.7 veces mayor para una planta que genere 60 Mw.

## A P E N D I C E S

APENDICE A  
 DESARROLLO DEL PROYECTO  
 VOLUD, LTD CO.  
 A. P. P.



APENDICE B

RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

NORMAS OFICIALES

NORMA	CARACTERISTICA
NOM-AA-91-1987	TERMINOLOGIA
NOM-AA-21-1985	GENERACION
NOM-AA-15-1985	METODO DE MUESTREO
NOM-AA-19-1985	PESO VOL. IN-SITU
NOM-AA-22-1985	SELEC. Y CUANT. DE SUBP.
NOM-AA-52-1985	PREP. DE MUESTRAS DE LAB.
NOM-AA-18-1984	DETERMINACION DE pH
NOM-AA-24-1984	NITROGENO TOTAL
NOM-AA-18-1984	CENIZAS
NOM-AA-92-1984	DET. DE AZUFRE
NOM-AA-94-1985	DET. DE FOSFORO
NOM-AA-80-1986	OXIGENO EN ORGANICOS
NOM-AA-16-1984	HUMEDAD
NOM-21-1985	DET. DE MATERIA ORG.
NOM-AA-68-1986	DET. DE HIDROGENO EN ORG.
NOM-AA-33-1985	DET. DEL PODER CALORIFICO
NOM-AA-49-1977	PURIF. DE AIRE ELECTROST.

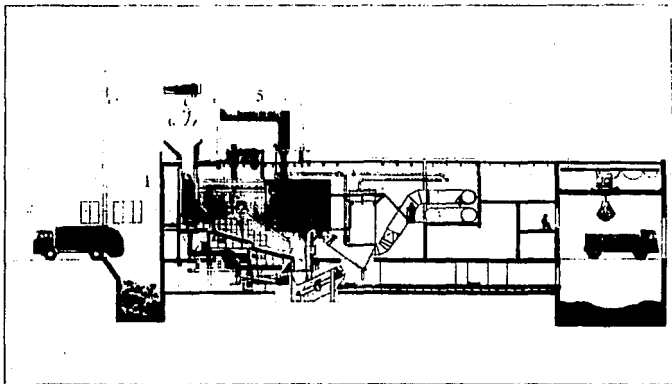


PLANTAS DE INCINERACION DE EUROPA Y E.U.

PLANTA DE SONDERBORG, DINAMARCA

ARRANQUE: 1973  
 COMBUSTION DE LA BASURA  
 TIPO DE SISTEMA: SISTEMA DE PARRILLAS  
 OPERACION  
 CAPACIDAD: 192 TON/DIA  
 VALOR CALORIFICO 1800-2000 KCAL/KG  
 CAPACIDAD DEL CALENTADOR: 7.9 GCAL/HORA  
 TEMPERATURA: 120 °C  
 EQUIPO DE CONTROL: PRECIPITADOR ELECTROSTATICO  
 CLIENTES: CALENTAMIENTO DEL DISTRITO Y AGUA CALIENTE

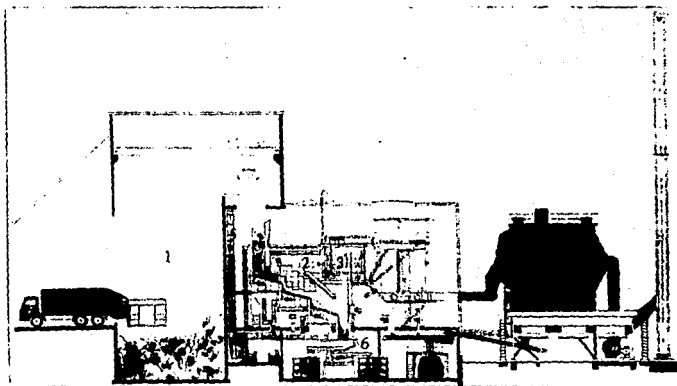
- 1.- SILO DE BASURA
- 2.- HORNO
- 3.- CALDERA
- 4.- FILTRO DE GASES
- 5.- DUCTOS DE AIRE Y GASES
- 6.- SISTEMA DE TRANSPORTE DE CENIZAS.



## PLANTA DE KLEIVI, HALLINGDAL, NORUEGA

NUMERO DE UNIDADES: 1  
CAPACIDAD: 72 TON/DIA  
VALOR CALORIFICO: 2500 KCAL/KG  
CAPACIDAD DEL CALENTADOR: 6 GCAL/HORA  
TEMPERATURA: 120 °C  
EQUIPO DE CONTROL: ELECTROSTATICO  
ARRANQUE: 1985  
USOS DEL CALOR: CALENTAMIENTO  
AGUA CALIENTE

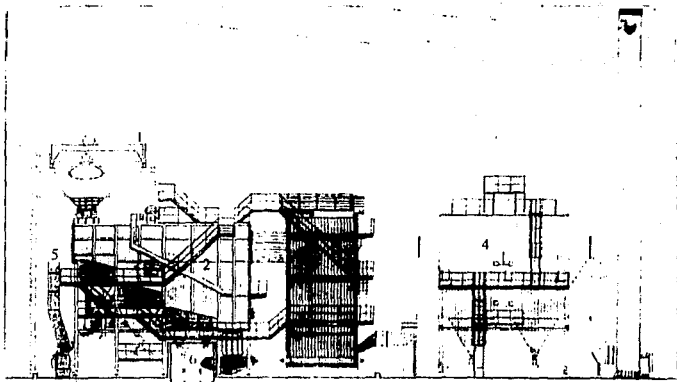
- 1.- SILO DE BASURA
- 2.- HORNO
- 3.- CALDERA
- 4.- FILTRO DE GASES
- 5.- DUCTOS DE GASES Y AIRE
- 6.- SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS



## PLANTA DE SUD ALLIER ,FRANCIA

SISTEMA: COMBUSTION EN PARRILLAS  
CAPACIDAD: 94 TON /DIA  
VALOR CALORIFICO: 2100 K CAL/KG  
CALENTADOR DE : 3.4 GCAL/H  
TEMPERATURA: 209 °C  
EQUIPO DE CONTROL: ELECTROSTATICO  
ARRANQUE: 1982  
USO DEL CALOR: GENERACION DE VAPOR

- 1.- SILO DE BASURA
- 2.- HORNO
- 3.- CALDERA
- 4.- FILTRO DE GASES
- 5.- DUCTOS DE AIRE Y GASES
- 6.- SISTEMA DE TRANSPORTE DE CENIZAS



## PLANTA DE PEESKILL, NEW YORK

ARCA DE SUMINISTRO: CONDADO DE WESTCHESTER/850,000 PERSONAS

TIPO DE CONTRATO: SERVICIO TOTAL

PATROCINADOR: VARIOS

FINANCIAMIENTO: EXTERNO

ARRANQUE: 1984

COMBUSTION DE LA BASURA

TIPO DE SISTEMA: PARRILLAS RECIPROCANTES CON CALENTADORES DE PAREDES DE AGUA.

OPERACION: 24 HORAS LOS 7 DIAS DE LA SEMANA

LINEAS DE PROCESO: 7

CAPACIDAD: 2250 TON./DIA

CAPACIDAD PROMEDIO: 1800 TON./DIA

SISTEMA DE ALIMENTACION: GRUA

DISENO DE PARRILLA: VON ROLL TIPO RECIPROCANTE

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 1370 °C

COMBUSTIBLE AUXILIAR: GAS NATURAL

REDUCCION DEL VOLUMEN DE LOS DESECHOS: 95 %

SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS: TRANSPORTADOR SEMI HUMEDO

RECUPERACION DE MATERIALES: FERROSOS

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE

TIPO DE EQUIPO: PRECIPITADOR ELECTROSTATICO DE 3 CAMPOS

NUMERO DE UNIDADES: 3

PRODUCCION DE ENERGIA

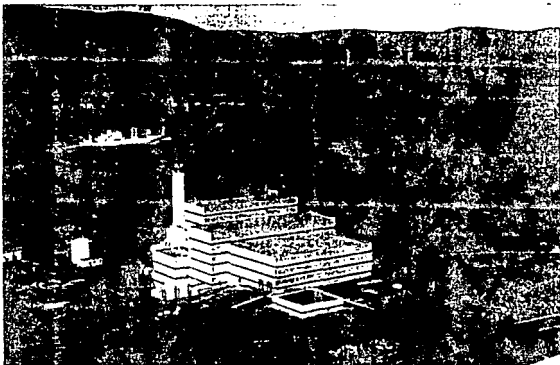
TIPO DE ENERGIA: ELECTRICIDAD

VAPOR: 20136 KG/HORA / 5.6 MPa (850 PSIG) / 440 °C

CAPACIDAD ELECTRICA: 60 MW

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: ENFRIAMIENTOS CON AGUA DE RIO

CLIENTES: CONSOLIDATED EDISON CO.



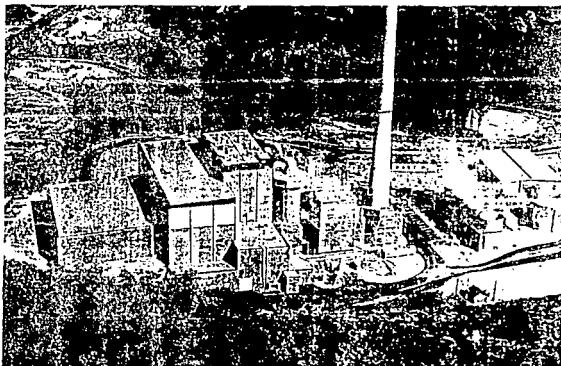
## PLANTA DE ST PETERSBURG, FLORIDA

AREA QUE SUMINISTRA: CONDADO DE PINELLAS/UN MILLON DE PERS.  
 TIPO DE CONTRATO: DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACION  
 PATROCINADOR: CONDADO DE PINELLAS  
 FINANCIAMIENTO:  
 ARRANQUE: 1983  
 COMBUSTION DE LA BASURA  
 TIPO DE SISTEMA: PARRILLAS RECIPROCANTES CON CALENTADOR DE  
 PAREDES DE AGUA.  
 OPERACION: 24 HORAS LOS 7 DIAS DE LA SEMANA  
 LINEAS DE PROCESO: 3 DE 1000 TON/DIA  
 CAPACIDAD : 3000 TON./DIA  
 CAPACIDAD PROMEDIO: 2550 TON/DIA  
 SISTEMA DE ALIMENTACION: POR GRUA Y BRAZO ALIMENTADOR  
 DISEÑO DE PARRILLA: MARTIN TIPO RECIPROCANTE  
 TEMPERATURA DE COMBUSTION: 1370 °C  
 REDUCCION DEL VOLUMEN DE LOS DESECHOS: 95 %  
 SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS: TRANSPORTADOR  
 RECUPERACION DE MATERIALES: ALUMINIO, FIERRO Y OTROS  
 CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE  
 TIPO DE EQUIPO: PRECIPITADOR ELECTROSTATICO  
 NUMERO DE UNIDADES :  
 PRODUCCION DE ENERGIA  
 TIPO DE ENERGIA: ELECTRICIDAD  
 VAPOR: 11400 TON/HR (4.13 MPa (600 PSIG) , 371 °C (700 °F))  
 CAPACIDAD ELECTRICA: 75 MW.  
 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: TORRES DE ENFRIAMIENTO  
 CLIENTE: FLORIDA POWER CO.



## PLANTA DE MILLBURY, MASSACHUSETTS

AREA QUE SUMINISTRA: CENTRO DE MASSACHUSETTS  
TIPO DE CONTRATO: DISEÑO CONSTRUCCION Y OPERACION  
PATROCINADOR:  
FINANCIAMIENTO:  
ARRANQUE: 1987  
COMBUSTION DE LA BASURA  
TIPO DE SISTEMA: PARRILLAS RECIPROCANTES CON CALENTADORES DE PAREDES DE AGUA.  
OPERACION: 24 HORAS LOS 7 DIAS DE LA SEMANA  
LINEAS DE PROCESO: 2  
CAPACIDAD : 1500 TON./DIA  
CAPACIDAD PROMEDIO: 1200 TON./DIA  
SISTEMA DE ALIMENTACION: 2 GRUAS SUPERIORES  
DISEÑO DE PARRILLA: VON ROLL TIPO RECIPROCANTE  
TEMPERATURA DE COMBUSTION: 1370 °C  
REDUCCION DEL VOLUMEN DE LOS DESECHOS: 95 %  
SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS: SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA  
RECUPERACION DE MATERIALES: AGREGADOS SOLAMENTE  
CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE  
TIPO DE EQUIPO: ABSORBEDOR SECO, FRECIPITADOR ELECTROSTATICO  
NUMERO DE UNIDADES: 2  
PRODUCCION DE ENERGIA  
TIPO DE ENERGIA: ELECTRICIDAD  
VAPOR:  
CAPACIDAD ELECTRICA: 40 MW  
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: TORRES DE ENFRIAMIENTO  
CLIENTES: NEW ENGLAND POWER COMPANY



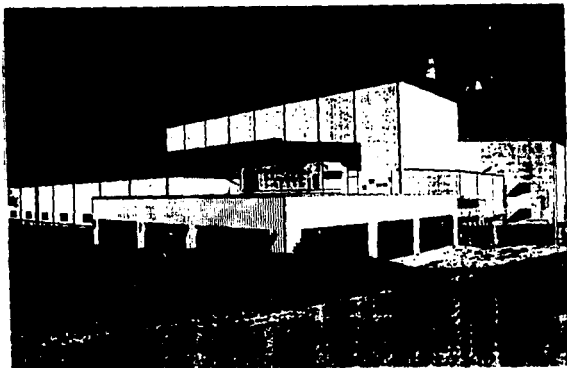
## PLANTA DE BRIDGEPORT, CONNECTICUT

AREA DE SUMINISTRO: BRIDGEPORT/850,000 PERSONAS  
 TIPO DE CONTRATO: DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACION  
 PATROCIINADOR:  
 FINANCIAMIENTO: EXTERNO  
 ARRANQUE: 1988  
 COMBUSTION DE LA BASURA  
 TIPO DE SISTEMA: PARRILLAS RECIPROCANTES CON CALENTADORES DE PAREDES DE AGUA  
 OPERACION: 24 HORAS LOS 7 DIAS DE LA SEMANA  
 LINEAS DE PROCESO: 3  
 CAPACIDAD: 2250 TON/DIA  
 CAPACIDAD PROMEDIO: 1800 TON/DIA  
 SISTEMA DE ALIMENTACION: GRUAS  
 DISEÑO DE PARRILLA: VON ROLL TIPO RECIPROCANTE  
 TEMPERATURA DE COMBUSTION: 1370 °C  
 REDUCCION DEL VOLUMEN DE LOS DESECHOS: 95 %  
 SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS: TRANSPORTADOR SEMI HUMEDO  
 RECUPERACION DE MATERIALES: METAL Y AGREGADOS  
 CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE  
 TIPO DE EQUIPO: ABSORBEDOR SECO, FABRIC FILTER  
 NUMERO DE UNIDADES: 3  
 PRODUCCION DE ENERGIA  
 TIPO DE ENERGIA: ELECTRICIDAD  
 VAPOR: 26,1274 LB/HORA (5.0 MPa) 850 PSID, 449 °C  
 CAPACIDAD ELECTRICITA: 4 MW  
 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: TORRES DE ENFRIAMIENTO  
 CLIENTES: THE UNITED ILLUMINATING COMPANY



## PLANTA DE NORTH ANDOVER, MASSACHUSETTS

AREA QUE SUMINISTRA: NORTH ANDOVER MASS./750,000 PERS.  
 TIPO DE CONTRATO: SERVICIO TOTAL, INCLUYE OPERACION  
 PATROCINADOR: WHEELABRATOR ENVIRONMENTAL SYSTEMS INC.  
 FINANCIAMIENTO: EXTERNO  
 ARRANQUE: 1985  
 COMBUSTION DE LA BASURA  
 TIPO DE SISTEMA:  
 PARRILLAS RECIPROCANTES CON CALENTADORES DE PAREDES DE AGUA  
 OPERACION: 24 HORAS LOS 7 DIAS DE LA SEMANA  
 LINEAS DE PROCESO: 2  
 CAPACIDAD : 1500 TON/DIA  
 CAPACIDAD PROMEDIO: 1200 TON/ DIA  
 SISTEMA DE ALIMENTACION: GRUAS  
 DISEÑO DE PARRILLA: MARTIN TIPO RECIPROCANTE  
 TEMPERATURA DE COMBUSTION: 1370 °C  
 REDUCCION DEL VOLUMEN DE LOS DESECHOS: 95 %  
 SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS: TRANSPORTADOR  
 RECUPERACION DE MATERIALES: FIERRO Y OTROS  
 CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE  
 TIPO DE EQUIPO: PRECIPITADOR ELECTROSTATICO DE 3 CAMPOS  
 NUMERO DE UNIDADES: 2  
 PRODUCCION DE ENERGIA  
 TIPO DE ENERGIA: ELECTRICIDAD  
 VAPOR: 180,000 KG /HR (4.13 MPa (600 PSIG), 398.5 °C (750 °F))  
 CAPACIDAD ELECTRICA: 40 MW  
 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: TORRES DE ENFRIAMIENTO  
 CLIENTES: NEW ENGLAND POWER COMPANY





PROYECTO DE LA PLANTA DE DETROIT

AREA : DETROIT

ARRANQUE INICIAL: 1989

COMBUSTION DE LA BASURA

TIPO DE SISTEMA: COMBUSTION DE RDF

OPERACION: 24 HORAS LOS 7 DIAS DE LA SEMANA

OPERADOR DE LA PLANTA: COMBUSTION ENGINEERING, RESOURCE

RECOVERY SYSTEMS DIVISION.

CAPACIDAD: 4000 TON/DIA

CAPACIDAD PROMEDIO: 3300 TON /DIA

PRODUCCION DE ENERGIA

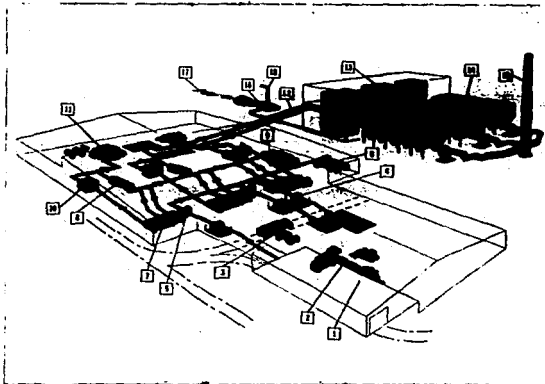
TIPO DE ENERGIA: ELECTRICIDAD

VAPOR: 25 KG /HORA

CAPACIDAD ELECTRICA: 65 Mw

CLIENTE POSIBLE: DETROIT EDISON ELECTRIC SYSTEM

- 1.-AREA DE RECEPCION.
- 2.-ALMACENAMIENTO,
- 3.-NO PROCESABLES
- 4.-TRITURADORES,
- 5.-METALES FERROSOS,
- 6.-SALIDA DE METALES
- 7.-UNIDAD DE SEPARACION I,
- 8.- UNIDAD DE SEPARACION II,
- 9.-RESIDUOS,
- 10.-TRITURADOR II ,
- 11.-ALMACENAMIENTO DE RDF
- 12.- TRANSPORTADOR DE RDF,
- 13.-QUEMADORES GENERADORES CEVU-40
- 14.-EQUIPO DE CONTROL DE AIRE,
- 15.-CHIMENEA,
- 16.-TURBOGENERADOR
- 17.-ELECTRICIDAD,
- 18.- VENTA DE VAPOR



## APENDICE D

### FACTORES DE DISEÑO

Entre los factores que se deben considerar al momento de diseñar una planta de incineración se consideran:

#### DISEÑO DE AREAS DE DESCARGUE Y PESAJE DE BASURA

##### 1.- Vías y plataforma de descarga

Vías de circulación

Plataforma de descarga de camiones.

##### 2.- Pesaje de basuras

Tipo de balanza

Manual

Automática

Área para pesaje de basura

#### DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DE BASURA

##### DISEÑO DEL POZO

1.- Dimensiones del pozo de almacenamiento

2.- Diseño de la zona de descarga de vehículos

3.- Diseño del sistema para lograr la reducción de la presión atmosférica para prevenir dispersión de polvos.

4.- Pozo subterráneo o elevado

5.- Edificaciones sobre el pozo

##### RECOGIDA DE BASURA DEL POZO

1.- Instalación de los puentes grúa

2.- Determinación de los ciclos de maniobra.

Ciclo de carga

Ciclo de funcionamiento de los puentes grúa

3.- Tipos de cucharas posibles:

Cuchara de almeja

Cuchara de mordazas múltiples

1.- Operación de los puentes grúa

Mando automático

Mando semiautomático

#### TRATAMIENTO EVENTUAL ANTES DE LA INTRODUCCION

- 1.- Cribado
- 2.- Eliminación de metales ferrosos
- 3.- Trituración.

#### CARGA DEL HORNO

- 1.-Boca de la tolva
- 2.-Anchura del conducto
- 3.-Camisa de agua en la base del conducto
- 4.-Dispositivo de alarma y seguridad

#### SELECCION DEL SISTEMA DE EXTRACCION DE CENIZAS

- 1.-Extractor de cadena
- 2.-Extractor de paletas
- 3.-Extracción de las escorias debajo de las parrillas

#### CALCULO DE LAS POTENCIAS Y SELECCION DEL EQUIPO DE SOPLADORES Y EXTRACTORES DE AIRE

##### AIRE

- 1.-Ventiladores
- 2.-Registros de los ductos
- 3.-Aspiración de aire del pozo
- 4.-Calentadores de aire

#### DISENO DEL AREA DE LAS PARRILLAS Y VOLUMEN DE LA CAMARA DE COMBUSTION

##### VOLUMEN DEL HOGAR

El cálculo del volumen del hogar se fija en base a la entrega bruta de calor según:

$$1.78 \times 10^5 = \text{Kilocalorias} / (\text{hr} \cdot \text{m}^3 \text{ de cámara})$$

Así el volumen determinado se puede repartir entre una o dos cámaras según el tipo de horno.

##### AREA DE LA PARRILLA

La área de la parrilla se fijará de acuerdo a la entrada bruta de calor b al flujo de basura, la que resulte mayor

Entrada bruta de calor

$$8.14 \times 10^5 = \text{Kilocalorias/hr.} \cdot \text{m}^2$$

Flujo de basura

$$222.5 \text{ t/g} / (\text{hr.} \cdot \text{m}^2)$$

**DISERO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO**

- 1.- Forma y distribución de las toberas de inyección de aire o de agua.
- 2.- Torre de refrigeración

**SELECCION DEL EQUIPO DE PURIFICACION DE LOS GASES DE SALIDA**

- 1.- Ciclones
- 2.- Eliminación por vía húmeda ó seca
- 3.- Filtros electrostáticos

**DISERO DE LA CHIMENEA**

- 1.- Altura y diámetro de la chimenea
- 2.- Tipos de construcción
- 3.- Tipo de ventilador (forzado o inducido)

**SERVICIOS AUXILIARES****ESTACION DE BOMBEO**

- 1.- Toma de agua
- 2.- Estación de bombeo
- 3.- Estación eventual de evacuación

**DISTRIBUCION DEL AGUA**

- 1.- En la instalación
- 2.- En los servicios conexos

**CIRCUITO DE AIRE COMPRIMIDO**

- 1.- Aire de servicio
- 2.- Aire de control

**SERVICIOS ELECTRICOS DE CONTROL Y MANDO****CIRCUITOS ELECTRICOS**

- 1.- Conexión a la red de media tensión
- 2.- Cuadro de distribución de baja tensión
- 3.- Instalación de emergencia

**CIRCUITOS DE CONTROL Y DE MANDO****CONTROL**

- 1.- Control para el horno
- 2.- Control para la caldera

**MANDO**

- 1.- Mando local
- 2.- Mando a distancia
- 3.- Mando automático en el horno en la Caldera.

APENDICE E

**BASES PARA LA SELECCION DE INCINERADORES DE RESIDUOS SOLIDOS**

- 1.-Identificación de posibles proveedores de tecnología
- 2.- Análisis de las características básicas de los procesos detectados
  - 2.1 -Nivel tecnológico
  - 2.2 -Capacidad de incineración
  - 2.3 -Capacidad de fabricación
  - 2.4 -Experiencia
- 3.-Preselección de proveedores
  - 3.1 Capacidad
    - Hasta 200 toneladas
    - De 200 a 500 toneladas
    - Mas de 500 toneladas
  - 3.2 Características de operación
    - Tipos de proceso
    - Combustible
    - Recuperación de energía
    - Demandas de espacio
    - Control de emisiones atmosféricas
- 4.-Análisis detallado de los proveedores seleccionados
  - 4.1 Tipo de incinerador
  - 4.2 Características de la basura que pueden procesar
  - 4.3 Características de operación
    - Combustible
    - Equipo requerido
    - Nivel educativo del personal requerido
    - Restricciones en las características de la basura
    - Proceso continuo ó de llenado y vaciado
    - Rampa
    - Alta ó baja temperatura
  - 4.4 Intervalo de capacidad y posible integración modular
  - 4.5 Costos
    - Inversión
    - Operación
    - Mantenimiento
  - 4.6 Posibilidad de recuperar energía bajo tecnologías probadas
  - 4.7 Para diferentes características de la basura determinar emisiones atmosféricas y los mecanismos de control y su eficiencia
  - 4.8 Restricciones a instalarse en zonas urbanas
  - 4.9 Necesidad de incorporación de equipo no fabricado por el proveedor.
  - 4.10 Requerimientos de obra civil
  - 4.11 Tiempos de entrega

- 4.12 Posibilidad de integración con tecnología nacional
- 4.14 Servicios y garantías
- 4.15 Capacitación
- 4.16 Sistemas construidos y en operación
- 4.17 Sistemas construidos

5.-Identificación de equipos en operación de los diversos fabricantes

- 5.1 Localización
- 5.2 Capacidad
- 5.3 Tipos de basura procesada
- 5.4 Características de operación
- 5.5 Aprovechamiento de la energía
- 5.6 Identificación de los problemas operativos
- 5.7 Datos de los responsables de operación

6. Comunicación con responsables de operación de las plantas instaladas o en construcción

- 6.1 Datos generales
- 6.2 Características de operación
- 6.3 Problemas en la construcción y operación
- 6.4 Servicios y garantías
- 6.5 Problemas de impacto social y ambiental

Con todo lo anterior se elabora un informe y se selecciona un proveedor del equipo de incineración ( puede utilizarse el esquema para los demás equipos).

APENDICE F

PARÁMETROS DE INCINERADORES MUNICIPALES

III

JURISDICCION DE CONNECTICUT

CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA EN CHIMENEAS

EMISION	PATRON DEP	EMISION PROMEDIO MEDIDA TODA CALDERA
PCDD/PCDF <sup>a</sup> MATERIAL	.1.95 ng/Nm <sup>3</sup> al 12% CO <sub>2</sub>	0.0291
PARTICULADO	0.015gr/DSCF al 12% CO <sub>2</sub>	0.0057
ACIDO CLORHIDRICO (HCl)	REMOVED 90% 50 ppmv al 12 % CO <sub>2</sub>	99.5 1.7
DIOXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> )	0.321b/millon de BTU	0.015
OXIDOS DE NITROGENO (NO <sub>x</sub> )	0.601b/millon de BTU	0.34
MONOXIDO DE CARBONO (CO/CO <sub>2</sub> )	0.002	0.0156
COMPUESTOS ORGANICOS VOLANTES (VOC)	70 ppmv al 12% CO <sub>2</sub>	1
ACIDO SULFURICO	4691 ug/m <sup>3</sup>	570
PLOMO	698 ug/m <sup>3</sup>	19
FLUOR	11632 ug/m <sup>3</sup>	16
MERCURIO	236 ug/m <sup>3</sup>	24
BERILIO	2.33 ug/m <sup>3</sup>	0.76
ARSENICO	11.6 ug/m <sup>3</sup>	2.9
NIQUEL	1163 ug/m <sup>3</sup>	213
CROMO	582 ug/m <sup>3</sup>	44
HIDROCARBUROS AROMATICOS		
POLICICLICOS (PAH)	23 ug/m <sup>3</sup>	1.3
CLORURO DE VINILO	11632 ug/m <sup>3</sup>	260

a) Equivalente tóxico de 2,3,7,8-TCDD

REGULACION APLICABLE A UNIDADES DE RDF Y SISTEMAS  
EN FUNCIONAMIENTO ABB-RRS

CONTAMINANTE	EMISION GUIA EPA	CONNECTICUT VALOR MEDIO <sup>1</sup>	POTENCIA <sup>2</sup> H-POWER
MATERIAL PARTICULADO <sup>a</sup> (gr/dscf, 7% O <sub>2</sub> )	0.015	0.002	0.002
DIOXIDO DE AZUFRE <sup>b</sup> (ppmdv, 7% O <sub>2</sub> )	30 ó REDUCCION 70%	20.5	19.0
ACIDO CLORHIDRICO <sup>b</sup> (ppmdv, 7% O <sub>2</sub> )	25 ó REDUCCION 90%	24.0	-
MONOXIDO DE CARBONO ( ppmdv, 7% O <sub>2</sub> )	200	68.0	126
DIOXINAS/FURANOS <sup>c</sup> (ng/Nm <sup>3</sup> , 7% O <sub>2</sub> )	60	0.34	6.7

- a) bases: ESP, límite de opacidad 10% ( 6 minutos en promedio).
- b) bases: espreado en seco v ESP
- c) bases: practicas de buena combustión, espreado en seco y ESP.
- 1) Planta de 2000 T/D con absorbedor ácido y filtros del tipo fabric filter; datos para la prueba EPA/EC PT II, febrero de 1989.
- 2) Planta de 2160 T/D con absorbedor ácido y ESP, datos que muestran un promedio de 6 pruebas para su aceptación, febrero de 1990.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.-WASTE-TO ENERGY  
Western Area Power Administration  
A.P.P.A
- 2.-Risk of municipal solid waste incineration an  
enviromental perspective.  
Richar A. Demison, Ellenk Silbergeld.  
Risk Analysis, vol. 8, No 3, (1988).
- 3.-Optimization of combustion conditions to  
minimize dioxin emissions.  
Floyd Hasselriis.  
Waste Management & Research (1985), 5, 311-326.
- 4.-California looks at life after burners.  
Kally Smith.  
Biocycle Journal of Waste Recycling  
(1987), vol. 28, No 10, 54-55
- 5.-Energy from solid waste  
Paul N Chermisinoff, Angelo C Morres.  
Marcel Dekker, Inc.  
N.Y. and Basel 1984
- 6.-Municipal waste used for large scale cogeneration  
Gary F. Blasius  
C.E.P., March, (1985), 64-
- 7.-Municipal solid waste as utility fuel.  
Charles R. McGowin  
Chemical Engineering Progress, march, (1985), 57-
- 8.-Solid Waste Origin  
Matell.  
John Wiley & Son, 1975
- 9.-Fuels from waste  
Anderson Larry  
Energy Science and Engineering Resources, Technology  
Academic Press London 1977
- 10.-Handbook of Solid Waste Disposal  
Material and Energy Recovery  
Joseph L. Kovoni  
Van Nostrand Reinhold Company 1975

- 11.-Incinerator Systems  
Selection and Design  
Brunner  
VNR, 1984
- 12.-Norma Oficial Mexicana  
NOM-AA-33  
NOM-AA-15  
NOM-AA-91  
NOM-AA-52
- 13.-Seguimiento técnico y evaluación del proyecto para  
la instalación de un incinerador en el D.F.  
S.E.D.U.E. SE-CA-1338
- 14.-Análisis del proceso de incineración como alternativa  
para la eliminación de residuos sólidos.  
S.E.D.U.E. 32333
- 15.-Proyecto UNDP 620/B4/007  
Agencia Ejecutiva Banco Mundial  
Estudio sobre las prácticas actuales formales e  
informales del manejo de los desechos sólidos y  
recuperación de recursos dentro del área  
metropolitana de la ciudad de México.  
( Nov. 1987)
- 16.-Informe  
Comisión Nacional de Ecología (1988)
- 17.-Basura Urbana  
Lopez Garrido Jaime  
Técnico Asociados S.A.  
Barcelona. (1971)
- 18.-La Basura Es la Solución  
Antonio Deffis Caso  
Ed. Concepto (1989)
- 19.-Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección  
al Medio Ambiente  
(1988)
- 20.-Estudio del mercado eléctrico 1983-1997  
Area Central  
Gerencia de Estudios Electricos  
C.F.E.
21. Estadísticas del sector eléctrico, 1989  
C.F.E.

- 22.-Informe de operación, 1989  
C.F.E.
- 23.-Estadísticas por entidad federativa, 1989  
C.F.E.
- 24.-Manual de operación OFAG  
Planta de San Juan de Aragón
- 25.-Manual de operación  
Planta de Ciudad Universitaria.
- 26.-La patología ambiental  
Luis Benites  
Ciencia y Desarrollo, Julio-Agosto, (1990), 69-74
- 27.-La disposición de desechos sólidos urbanos  
Rodolfo Trejo Vasquez  
Ciencia y Desarrollo, Mayo-Junio, 74, (1987)
- 28.-Índices de Precios, 1984, 1983 y 1991  
Banco de México
- 29.-Code Federal Regulations in Unites Estates  
Thermal Processing Guidelines 40 CFR  
EPA Partes 61 y 240
- 30.-Code Federal Regulations of Unites Estates  
Federal Water Pollution Control Act.  
partes 58
- 31.-Code Federal Regulations of Unites Estates  
Clean Air Control Act.  
partes 52, 60, 76