

99
2 Eje



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**EVALUACION OPERATIVA DE LA PLANTA
INCINERADORA DE BASURA DE CIUDAD
UNIVERSITARIA**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N**

**SERGIO ORTEGA PESCINA
RAMON JIMENEZ PEÑA**



MEXICO, D. F.

1985



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.

INDICE

	Pag.
Antecedentes	1
1.- INTRODUCCION	4
2.- PROBLEMATICA DE LOS DESECHOS SOLIDOS	6
2.1 Introducción	
2.2 Generación actual de los desechos sólidos en el D.F.	
2.2.1 Infraestructura	7
2.2.2 Costos	
2.3 Ciudades grandes	13
2.4 Aprovechamiento de los desechos sólidos	14
2.5 Características de los desechos sólidos	23
3.- METODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL	32
3.1 Introducción	
3.2 Reciclaje	33
3.2.1 Reciclaje directo	34
3.2.2 Reciclaje indirecto	
3.3 Separación de subproductos	35
3.3.1 Recuperación	
3.3.1.1 Clasificación manual	
3.3.1.2 Separación con aire	37
3.3.1.3 Separación magnética	39
3.3.1.4 Tamizado	41
3.3.1.5 Separación óptica	43
3.3.1.6 Separación inercial	45
3.3.1.7 Separación electrostática	

	Pag.
3.4 Relleno sanitario	48
3.4.1 Métodos de relleno	49
3.4.1.1 Método de área	
3.4.1.2 Método de trinchera	50
3.5 Composteo	
3.6 Incineración	54
3.7 Pirolisis	55
4.- INCINERACION	59
4.1 Principios de la combustión	61
4.2 Descripción del proceso	65
4.2.1 Tipos de incineradores	70
4.2.1.1 Intermitentes	
4.2.1.2 De alimentación continua	72
4.2.2 Dispositivos para separación de partículas	75
4.2.2.1 Separadores centrifugos	
4.2.2.2 Colector húmedo	77
4.2.2.3 Cámara de sedimentación con cortina de agua	
4.2.2.4 Torres lavadoras	
4.2.2.5 Precipitador electrostático	
4.2.2.6 Colectores de tela	80
4.2.2.7 Cámaras de sedimentación	
4.3 Ventajas y desventajas	
4.4 Aplicaciones y alternativas en nuestro medio	83

	Pag.
5.- PLANTA INCINERADORA DE CIUDAD UNIVERSITARIA	89
5.1 Descripción de la planta	
5.2 Descripción de operación	92
5.3 Identificación de problemas operacionales	
5.3.1 Antecedentes generales de la planta Incineradora	
5.3.2 Identificación de problemas operativos	95
5.4 Descripción del problema y alternativas de solución	97
5.4.1 Alto costo y exceso de combustible	
5.4.1.1 Combustóleo	98
5.4.1.2 Gas L.P.	99
5.4.2 Apertura y cierre de la compuerta de alimentación	100
5.4.3 Corrosión en la tubería	
5.4.4 Control de temperatura	101
5.4.5 Deterioro frecuente de las fotoceldas	103
5.4.6 Problemas de volatilización de las cenizas durante la descarga	104
5.4.7 Separación de desechos	
5.5. Costo del sistema	107
5.5.1 Costos de operación	
5.5.2 Costo de la planta	109
6.- DISEÑO DEL SISTEMA DE GAS L.P.	112
6.1 Introducción	
6.2 Determinación del gasto de gas L.P. requerido	113
6.3 Selección de quemadores	116
6.4 Determinación de la capacidad del tanque de alimentación de gas L.P.	119
6.5 Diseño de las líneas conductoras de gas L.P. en dos etapas	

	Pag.
6.5.1 Cálculo del diámetro de la tubería en alta presión	120
6.5.2 Cálculo del diámetro de la tubería en baja presión	124
6.5.2.1 Cálculo del diámetro de la tubería para el tramo N-O	126
6.5.2.2 Cálculo del diámetro de la tubería para el tramo T-U	
6.6 Descripción del sistema	127
6.7 Presupuesto	128
6.8 Aprovechamiento de la energía disipada durante el proceso de incineración	131
7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
Bibliografía	136

ANTECEDENTES

Los tiempos actuales se presentan de manera sumamente conflictiva a quienes han de dar soluciones a los problemas de nuestro país.

El más importante de ellos es el económico pues en función de los recursos con que se cuente para desarrollar los programas y proyectos se estará en menor o mayor posibilidad de llevar a cabo las metas establecidas.

Los problemas más grandes que requieren solución inmediata son los de la vivienda y la educación y por lo tanto, la tenencia de la tierra, así como el equipamiento de la misma con obras de infraestructura.

Es evidente que a la fecha, las grandes ciudades han representado un atractivo para muchos provincianos que buscando mejores empleos, educación y condiciones de vida, emigran a los grandes centros de población, en donde lo único que encuentran son condiciones de vida desastrosa, donde proliferan toda clase de delitos,

y abusos, pasando a formar parte del grupo social conocido como --marginados; creando al rededor de las ciudades nuevos asentamientos irregulares uniéndose a los ya existentes.

La expansión urbana conlleva el crecimiento de las metrópolis, las que a su vez traen serios problemas de contaminación, congestión y disolución de vínculos familiares, pero éstos no son irresolubles.

De esta manera, surge la necesidad de proveer los servicios públicos, a partir de la infraestructura cuya solución es menester y que ya se ha hecho indispensable como pavimento, agua potable, alcantarillado, escuelas, zonas comerciales, electrificación, servicios de limpia etc.,

El problema de los desechos sólidos (basura) es tan viejo como la misma humanidad, ya que cuando la humanidad se volvió sedentaria (primeros poblados), aparecieron los primeros problemas relativos a la disposición de desechos sólidos y líquidos.

En todas las civilizaciones, la basura nos ha proporcionado datos bastante precisos para calcular los periodos en que florecieron, ya que entre sus componentes se encontraron, huesos y utensilios de barro de diversas épocas.

La basura también nos confirma las costumbres y alimentación de los pobladores de las diversas regiones del mundo.

En nuestro país, por medio de los desechos domésticos y humanos hemos descubierto los usos y costumbres de las distintas culturas que se desarrollaron en las diversas regiones, al hacer las excavaciones en las ruinas de la época precolombiana.

En la época precolombiana la solución a los problemas de los desechos sólidos era ya preocupación de los monarcas, los datos históricos nos remontan a la época de los aztecas con el reinado de Moctezuma.

Durante la época de la colonia, el Virrey Conde de Revillagigedo

do establece los primeros carros que recogían la basura, evitando con esto la existencia de muladares en las calles, que de acuerdo con las crónicas, éstos basureros expedían al aire malos olores -- con perjuicio de la salud de los pobladores.

En la actualidad la concentración de habitantes en grandes urbes como la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey etc., genera problemas específicos asociados con aspectos sociales, culturales y económicos principalmente. Por un lado el desarrollo tecnológico ha provocado el incremento de la generación per cápita de basura, incrementando las necesidades de equipo adecuado para su recolección; el masivo desarrollo urbano crea por una parte dificultades para el transporte de los desechos y por la otra la imposibilidad de utilizar sitios cercanos para la disposición final. Por otro lado, el valor contenido en la basura es atractivo para personas de escasos recursos creando una fuente de trabajo totalmente inadecuada pero de personas dispuestas a todo antes de permitir que su fuente de sustento desaparezca.

Esta situación ha originado prácticas de disposición final de residuos sólidos inadecuadas provocando la contaminación del medio ambiente.

En un esfuerzo por encontrar nuevos y mejores métodos de disposición de la basura, que tomen en cuenta las características socioeconómicas y técnicas de nuestro país, especialmente en las grandes ciudades, se ha recurrido a la incineración controlada observándose que puede ser un sistema adecuado que resuelve el problema en forma integral. Este proceso ha recibido gran impulso a nivel mundial especialmente en países con alto desarrollo económico y utilizando los sistemas apropiados de control de emisión de contaminantes puede considerarse una solución adecuada en nuestro medio.

1.- INTRODUCCION

La Universidad en una consecuencia mas de su autonomia, requiere proveer de manera adecuada los servicios públicos necesarios para su funcionamiento. Es en este rubro en el que se incluye el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los desechos, problemática particular cuya solución puede generar experiencias constructivas que puedan extenderse a nivel nacional.

En la Universidad, por su propia naturaleza se genera toda clase de desperdicios desde los de limpieza y comida, hasta materiales de construcción, productos de demolición y desechos tóxicos de los diversos laboratorios que en ella se localizan.

Aunque las características de generación no pueden ser aplicables a otros sectores de actividad, las soluciones al manejo de los desechos si corresponden a las acciones generalmente desarrolladas en otras áreas.

El objetivo primordial del presente trabajo es el de evaluar -- operativamente la planta incineradora de residuos sólidos instalada en Ciudad Universitaria. Se incluye inicialmente un análisis de la problemática de los residuos sólidos en el Distrito Federal y una descripción de las posibles alternativas de disposición final. Posteriormente se describe la planta incineradora, identificando los problemas operativos sobresalientes, estableciendo posibles soluciones. Finalmente y constituyendo la parte más importante de este trabajo se analiza la posibilidad de cambiar el combustible utilizado de diesel a gas L.P.

2.- PROBLEMATICA DE LOS DESECHOS SOLIDOS

2.1 INTRODUCCION

Para poder analizar la problemática de los desechos sólidos en Ciudad Universitaria es necesario tener un conocimiento global de la generación y disposición de estos en la Ciudad de México. Por lo que en el presente capítulo se mencionarán algunos aspectos de relieve en lo concerniente a este problema.

2.2 GENERACION ACTUAL DE DESECHOS SOLIDOS EN EL DISTRITO FEDERAL

Actualmente el Distrito Federal cuenta con una población de - -
aproximadamente 10'000,000 de habitantes que generan diariamente -
10 474 toneladas de desechos sólidos provenientes de distintas -

fuentes siendo las más importantes:

Domiciliaria	7 020	ton/día
Mercados	496	" "
*Desechos Industriales	2 912	" "
Hospitales	46	" "
	<hr/>	<hr/>
	10 474	" "

* En este caso, realmente se generan 9 708 ton/día; sin embargo, aproximadamente el 70 por ciento se reutiliza dentro de las mismas industrias o en otras sin pasar a formar parte del sistema de recolección, por tanto para fines de generación se consideran únicamente 2 912 ton/día.

En un estudio reciente se estableció que la generación domiciliaria promedio per cápita es de aproximadamente 800 gr/día; y si consideramos los desechos de origen comercial y de servicios e industrial la general per cápita total actual es de 1.05 kg/día.

Considerando que el incremento anual de la generación durante la última década ha sido del 2 por ciento se estima que la generación per cápita para el año 2000 será de 1.47 kg/día.

2.2.1 Infraestructura

Para proporcionar el servicio de manejo de desechos sólidos el Distrito Federal cuenta actualmente con una infraestructura cuyas características se presentan en las tablas 2.1, 2.2 y 2.3.

Además, se cuenta con aproximadamente 6 679 peones que realizan el servicios de barrido manual.

2.2.2 Costos

Para poder establecer el costo que actualmente representa pres-

Tabla 2.1 EQUIPO ACTUAL

TIPO	TOTAL	No. U N I D A D E S		RENDIMIENTO	CAPACIDAD	PERSONAL
		OPERADO	En repa- ración			
				35-25 km/hr	3.7 m ³	
Barredora	240	53 (22%)	187 (78%)	205-10 km/hr	2.6 m ³	240
				2.5 ton/viaje		
V. Recolector	1454	748 (51%)	706 (49%)	2.5 viaje/día	7 m ³	4 362
U. Transferencia	63	27 (43%)	36 (57%)	3 viajes/día	30 ton	126
Traxcavo	40	26 (65%)	14 (35%)	--		80
Buldozar	15	10 (67%)	5 (73%)	--		30

Tabla 2.2. INSTALACIONES ACTUALES

TIPO	No.	UBICACION	CAPACIDAD	PERSONAL
Incineración	2	S.J.Aragón	100 ton/día/planta	9/planta
		Tlalpan	200 ton/día	18
Estación de Transferencia II			691 ton/día/es	3/est.
			7600 ton/día	33

Tabla 2.3 SITIOS DE DISPOSICION ACTUALES

No.	NOMBRE	SUPERFICIE (Has.)	CAPACIDAD (ton/día)	DURACION (año)
1	Sta Cruz Meyehualco*	148	835	0
2	San Lorenzo Tezonco*	64	835	0
3	Sta. Catarina	44	1 200	7
4	Bordo Xochipa	215	3 100	22
5	Sta. F6	25	2 700	1
6	Tlalpan	2	165	0.75
7	Milpa Alta	2	165	0.75
8	Cuautepec	2	165	0.75
9	Tlapizahuaya	100	3 000	15

* Saturado y cerrado

tar el servicio de recolección, transporte y disposición de los desechos sólidos, se calcularon los costos anuales de los distintos elementos del sistema. Algunos de estos costos fueron calculados en forma muy gruesa como es el caso de las instalaciones, ya que, aunque existen algunas de ellas, no se tiene el adecuado control como para manejar costos.

Como ya se indicó, si consideramos el incremento anual de la generación per cápita, se estima que para el año 2000 se generarán aproximadamente 25 456 ton/día de basura si la población es de 17.5 millones de habitantes. Los requisitos de equipo, instalaciones y personal, así como los costos necesarios para prestar el servicio al nivel actual siempre y cuando el área urbana no pase de 643 km², se presentan en la table 2.4.

Si el área urbana se incrementa a 1 050 km² al año 2000 y la población mantiene un índice de crecimiento alto, el número de barrenos aumentará aproximadamente a 11 876 y el de barradoras a 431, ya que ambos son función de la superficie de la zona urbana. Asimismo la distancia que se tendrá que recorrer para disponer de los desechos sólidos se incrementará, ya que al saturarse los tiraderos actuales, se tendrán que abrir otros que estarán más alejados de las estaciones de transbordo, por lo que se considera que el costo del transporte aumentará un 50 por ciento, elevando el costo del servicio a 37 159 millones de pesos, ésto es 11 por ciento mayor que el crecimiento urbano solamente alcanza los 643 km².

En la tabla 2.5 se presenta un resumen del costo del manejo de Desechos Sólidos para el año 2000, considerando una población de 17.5 millones y dos alternativas del área urbana a 643 y 1 050 km² (sin y con extensión).

Por lo anterior expuesto podemos observar que si seguimos manejando los desechos sólidos como hasta ahora lo hemos hecho y que debido al aumento de la población y del área urbana que tendremos en

Tabla 2.4 CALCULO COSTO AÑO 2000 (precios 1983)

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO ANUAL UNITARIO	IMPORTE
Barrido Manual	peón	165,000	1,199'880,000
Barredora	unidad	7,838,544	2,069'375,600
Vehículo Recolector	unidad	3'717,912	13,250'638,000
Unidad de Transbordo	unidad	20'139,980	3,081'416,900
Equipo Pesado	unidad	4'236,424	538'025,840
Planta Incineración	planta	491'323,000	2,456'615,000
Planta Tratamiento	planta	3,695'625,000	11,086'875,000
Estación Transbordo	estación	2'912,500	78'637,500
		T O T A L	33,761'637,500

Tabla 2.5 COMPARACION DEL COSTO DEL MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS.

CONCEPTO	C O S T O A N U A L* S I N E X T E N S I O N	C O N E X T E N S I O N
Barrido Manual	1,119.8	1,959.5
Barrido Mecánico	2,069.4	3,378.4
Recolección Mecánica	13,250.6	13,250.6
Transporte	3,160.0	4,740.0
Disposición	538.0	538.0
Tratamiento	13,543.5	13,543.5
TOTAL	33,761.4	37,410.0

*Millones de pesos (1983)

los 16 años siguientes, tendremos que realizar un gasto elevado para su manejo, principalmente en el transporte de los mismos ya que cada vez se tendrán que depositar en lugares mas apartados de la Ciudad.

Esto nos lleva a buscar métodos más apropiados y económicos que puedan cubrir las necesidades de los próximos años.

2.3 CIUDADES GRANDES

El desarrollo creciente del país se ha traducido en mayores niveles de producción y consumo de bienes y servicios para grupos cada vez mas numerosos.

El proceso de industrialización ha ido en rápido aumento incorporando más población a posibilidades de empleo. Por otro lado, el proceso de urbanización ha planteado una transformación radical en la distribución de la población. En lo que va de este siglo, la población urbana pasó de 19.4 por ciento que había en 1900 a 66 por ciento en 1980, misma que llegará a 80 por ciento en el año 2000. La dinámica de la población ha sido también un factor determinante del desarrollo del país, de 13.6 millones de habitantes que existían en México a principios del siglo, la población llegó a 69.9 millones en 1980 creciendo a un ritmo de 2.9 entre 1970 - 1980; y alcanzará los 104.43 millones al final del siglo. Más población, mayoritariamente concentrada en ciudades y mas altos niveles de producción y consumo son rasgos característicos del desarrollo reciente del país.

Pero así como se logran avances en el orden económico y social, el desarrollo tiene implicaciones que deben ser observadas en el diseño de cualquier estrategia. La industrialización, el crecimiento demográfico y la urbanización traen aparejados efectos secundarios que se manifiestan en desequilibrio de todo tipo: económicos, sociales, regionales y ambientales.

El estado ha reconocido estos efectos y se han diseñado políticas que tienden a aminorarlos, como las relativas a la distribución del ingreso para impulsar el sector agrícola y externo de la economía, para aumentar los mínimos de bienestar de la población, para distribuir racionalmente a la población y para reducir los impactos ambientales de las actividades humanas.

En relación a estos últimos, México como muchos otros países en vías de desarrollo carece de una serie de instrumentos que permitan incidir realmente en la problemática ambiental.

La producción, distribución o consumo de bienes y servicios genera una serie de desechos que no están reconocidos, si bien se puede decir que las sociedades modernas son sociedades de consumo y en cierta forma de desperdicio, al desecho no se le ha atribuido ningún valor en el ciclo económico. Así, el ciclo termina en el consumo sin considerar que en todas las etapas existen desechos que deben ser reconocidos como parte de éste, desechos significan tanto costos privados como sociales.

El problema existe además porque el desecho no sólo debe ser considerado en el ciclo económico por los costos privados y sociales que representa sino porque en muchos casos, el desecho tiene intrínsecamente un valor económico que debe ser reconocido, especialmente en países de escasos recursos.

2.4 APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Difícilmente se puede justificar una política basada simplemente en la eliminación de los desechos sólidos. Se trata de algo que por su valor potencial y por su peligro hay que gestionar y administrar.

Por medio del aprovechamiento de los desechos sólidos, a través de la recuperación selectiva de sustancias en ellos contenidas o la transformación en otras, se vislumbra una solución que pueda contribuir a aliviar los problemas planteados, disminuyendo las dificultades

des y costos de eliminación evitando una mayor contaminación del ambiente y ayudando a la conservación de los recursos naturales.

En definitiva, se trata de devolver en lo posible, al consumo de la sociedad las sustancias y energía contenidas en los desechos sólidos y tender a que el hombre tome de la naturaleza aquella cantidad de materias primas que verdaderamente necesita, es la forma más auténtica de preservar el medio ambiente, del cual los recursos naturales son una parte, finalmente, habrá que devolver a la naturaleza los residuos que inevitablemente queden, de la forma más congruente con la ecología.

Habrá que contabilizar también, para que el balance sea completo, otros beneficios sociales añadidos:

- Disminución de las dificultades y costos de eliminación
- Mejora del medio ambiente
- Conservación de los recursos naturales

En otras palabras habrá que considerar como sociales una parte de los costos correspondientes.

Son variadas las medidas que se pueden adoptar para que se den condiciones de oferta y demanda favorable al desarrollo de procesos e instalaciones de aprovechamiento y a la conquista de posiciones ventajosas de mercado para los productos recuperados.

Para lograr una mejor administración y gestión del problema de los desechos sólidos se deberán considerar las operaciones individuales de eliminación y aprovechamiento como elementos componentes de un sistema que comprende:

- a) La recolección, b) El transporte, c) La separación, d) La recuperación y e) La transformación de los desechos así como
- f) La eliminación de los no aprovechables. Todo esto a escala regional. Figura 2.1

Esquemáticamente las operaciones fundamentales que puede exigir

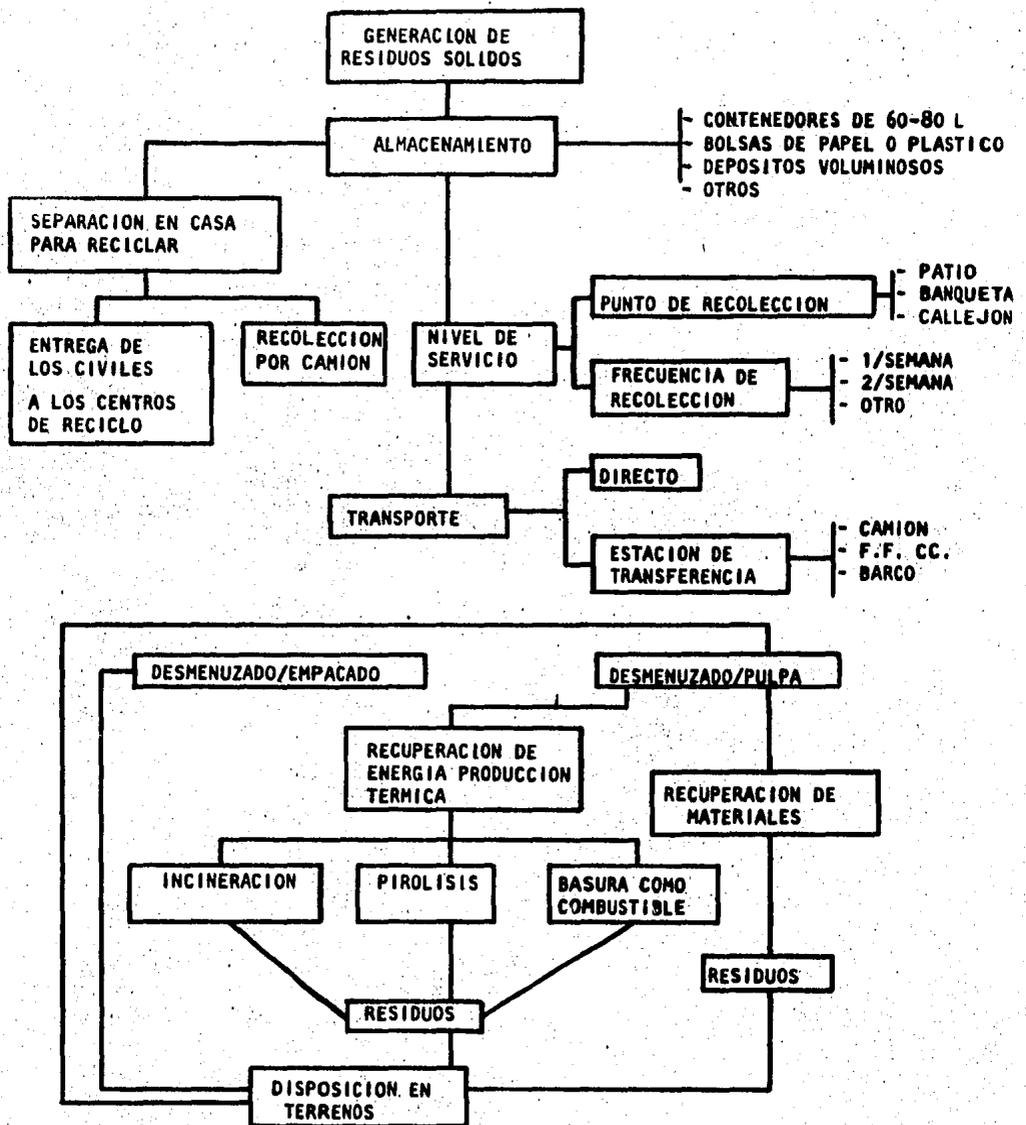


FIG.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE ALTERNATIVAS EN EL MANEJO DE DESECHOS SOLIDOS

el tratamiento de los desechos sólidos son de tres tipos:

- Recolección y transporte
- Aprovechamiento
- Eliminación (Figura 2.2)

El primer tipo de operaciones, recolección y transporte es el más costoso de la gestión de los residuos sólidos, no obstante ha sido el más desatendido durante mucho tiempo. Recientemente se ha mejorado con modernos sistemas de transporte y con estaciones de transferencia.

El conjunto de las operaciones de tratamiento se puede descomponer así:

- Recolección, almacenamiento y transporte
- Reducción de volumen, ya sea por compactación o por incineración.
- Reducción de tamaño por trituración
- Separación y concentración selectiva de materiales incluidos en los desechos sólidos.
- Transformación o conversión de determinados productos de los desechos en otros útiles por métodos físicos, químicos o bioquímicos.
- Recuperación o rescate en su forma original de materiales incluidos en los residuos para volverlos a utilizar con los mismos fines en otras aplicaciones secundarias. Tablas 2.6, 2.7 y 2.8.
- Eliminación vertido o vaciado

Las operaciones más características de los métodos de aprovechamiento son los de separación y concentración selectiva, transformación y recuperación.

Por regla general, el aprovechamiento integral implica la utilización conjunta de las tres. (Figura 2.3)

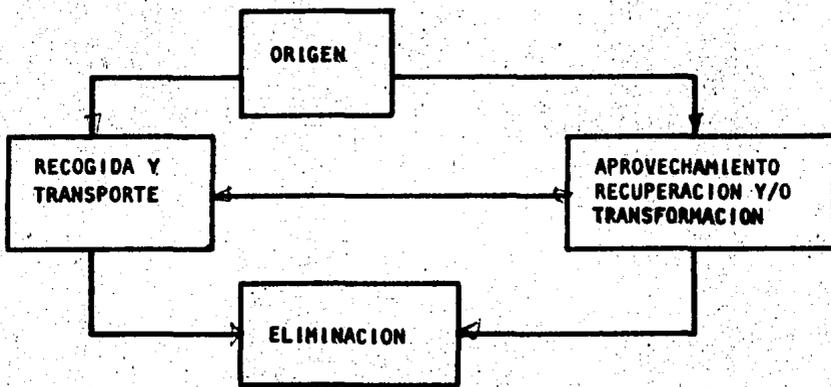


FIG. 2.2 Esquema general de tratamiento de los Residuos Sólidos

Tabla 2.6 Resumen de modo de recuperar Energía y materiales de Residuos Urbanos.

PROCESO	RECUPERACION DE MATERIAL	RECUPERACION DE ENERGIA	OBSERVACIONES
Entierro controlado o relleno sanitario	Terreno relleno		Problemas de transporte y disponibilidad de terreno
Desmenzado y separación por aire	Materiales, vidrio, papel	Combustible orgánico	
Pulpa acuoza y cribado	Fibra de celulosa	Celulosa seca para combustible	
Incineración	Cenizas, vidrio metales	Calor, electricidad	Alto costo de instalación y mantenimiento; emisión potencial de contaminantes
Pirólisis	Metales, vidrio	Gas y aceite combustible	Alto costo de instalación
Liquefacción	Metal, vidrio	Aceite combustible	Alto costo de instalación
Gasificación	Metales, escoria	Gas combustible	Alto costo de instalación
Composteo	Composta, metal vidrio	Composta seca como combustible	Operación costosa, demanda limitada de composta
Hydrolysis	Azucar, proteínas	Estamol por fermentación	En desarrollo

Tabla 2.7 Categorías del Reciclado (de mayor a menor conveniencia)

TIPO DE RECICLADO	EJEMPLOS
Reuso del artículo	Botellas retornables, rellena--bles
Reciclo de no sacrificio: resu--so del material a un ni--vel de calidad similar --(reciclado primario)	Papel periódico reprocessado pa--ra producir mas periódico
Reciclo de no sacrificio: reuso del material a un nivel de menor calidad (reci--clado secundario)	Aislamiento de fibra de vidrio proveniente de botellas
Reciclo de sacrificio: nuevo --uso del material (reci--clado terciario)	Composteo del papel, pavimenta--ción con vidrio triturado
Reciclo termal: (conversión a --combustible almacenable. Incineración directa pa--ra producir energía	Pirólisis de residuos urbanos Incineración de residuos urba--nos

Tabla 2.8 Economía del tratamiento de Residuos Urbanos en orden creciente de costos

- 1.- Relleno Sanitario
 - 2.- Recuperación de combustibles sólidos
 - 3.- Recuperación de materiales
 - 4.- Compostación con recuperación inorgánica
 - 5.- Pirolisis con recuperación de residuos
 - 6.- Relleno Sanitario (remoto)
 - 7.- Incineración con recuperación de residuos y vapor
 - 8.- Incineración con recuperación de vapor
 - 9.- Incineración convencional
 - 10.- Incineración con recuperación de energía eléctrica
-

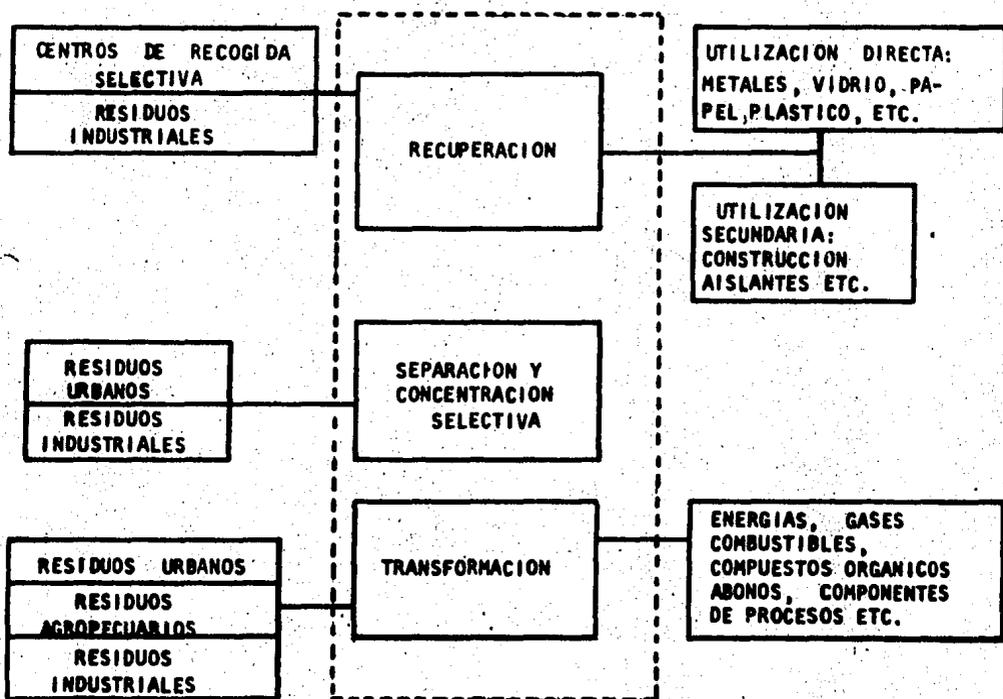


FIG. 2.3 Aprovechamiento Integral de los residuos Sólidos

En las figuras 2.3 y 2.4 se presentan esquemas de aprovechamiento integral de los residuos que incluye las operaciones de separación y concentración selectiva, recuperación y transformación. El planteamiento bajo estas perspectivas y en función de las condiciones y posibilidades locales de los residuos y mercados de los productos aprovechables, permitirá sin duda la elección óptima de los métodos que deben utilizarse y de los productos que se deberán seleccionar.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

El desarrollo de cualquier actividad humana, tiene como resultado una inevitable producción de residuos sólidos que pueden ser de diversos tipos, a los que se denominan desechos sólidos.

El desecho sólido se puede definir como toda materia sólida o semisólida producida por el hombre, cuando no la considera con valor suficiente para retenerla.

Una clasificación de los desechos sólidos de acuerdo a su composición se da a continuación:

1.- Basura municipal

- Residencial: a) putrescible
 b) no putrescible
- Industrial
- Construcción y demolición
- Basura recolectada en las calles
- Lodos producidos en el tratamiento de agua y aguas negras
- Automóviles de desecho
- Desechos voluminosos
- Árboles

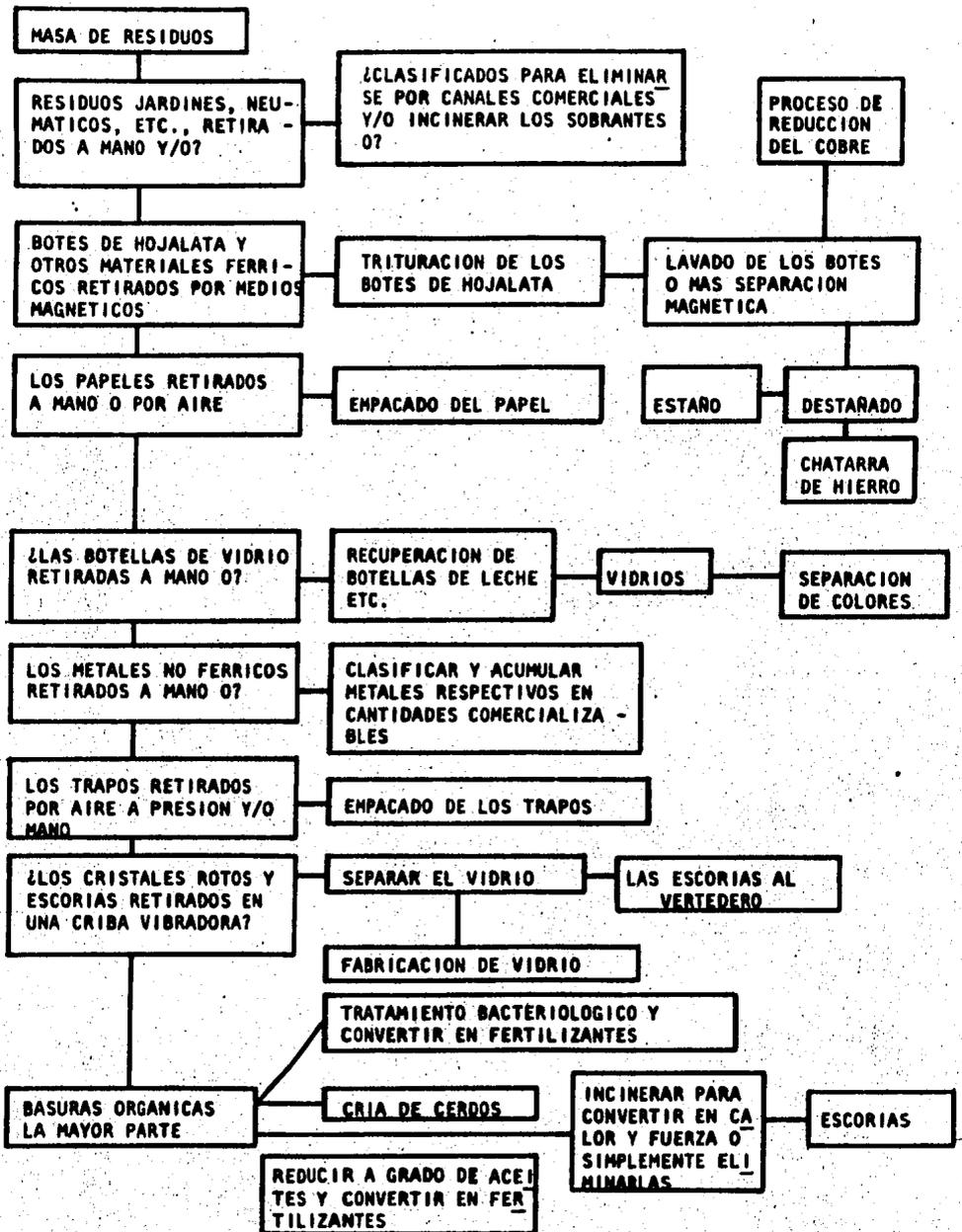


Fig. 2.4 Flujo del proceso de recuperación de residuos.

- 2.- Desechos agrícolas:
- a) Estiércoles
 - b) Desperdicios de cosechas
 - c) Animales muertos

3.- Desechos de la minería:

Los desechos sólidos pueden ser agrupados de acuerdo con su constitución en clases con características muy marcadas como se muestran en la tabla 2.9.

2.5.1 Grupo I

Desechos residenciales.- Son los que cotidianamente se generan en la vivienda, están constituidos principalmente por papel, cartón plásticos, madera, trapo, desechos de comida, desechos de jardín, tierra y materia orgánica.

Desechos comerciales.- Los que se producen en las diferentes etapas de distribución y preparación de bienes necesarios para la vida cotidiana como la venta de alimentos, centros de autoservicio, hoteles, tiendas en general y centros de recreación. Los principales componentes son: papel, cartón, vidrio, lamina, plásticos, envases de todo tipo, madera y materia orgánica.

Desechos de mercado.- Se producen en la comercialización de productos en los centros destinados a la venta de alimentos, la composición de este tipo de desechos es de cerca del 80 por ciento de materia orgánica como son los desperdicios de frutas, verduras, flores, carnes, el otro 20 por ciento se compone de latas, cartón, papel, tierra, vidrio y plástico.

Desechos de la vía pública.- Son los que se depositan en la calle, están constituidos en su mayoría por: papel, tierra, plástico, hojas y animales muertos esencialmente.

Desechos de zonas de diversión.- Se generan en centros de reu-

Tabla 2.9 DESECHOS SOLIDOS DE ACUERDO CON SU CONSTITUCION

Grupo I	Desechos residenciales Desechos comerciales Desechos de mercados Desechos de instituciones Desechos de la vía pública Desechos de zonas de diversión
Grupo II	Desechos de construcción y demolición
Grupo III	Desechos de mobiliario
Grupo IV	Desechos metálicos
Grupo V	Desechos semisólidos
Grupo VI	Desechos agropecuarios
Grupo VII	Desechos industriales
Grupo VIII	Desechos de laboratorios y hospitales (peligrosos)

nión como son; cines, teatros, estadios, parques recreativos, -- etc.; y los desechos que se hacen característicos son; papel, plásticos, vidrios, hojas y materia orgánica.

2.5.2 Grupo II

Desechos de la construcción.- Son los productos de las actividades de la industria de la construcción su composición básica es la tierra, arena, tabique y similares.

2.5.3 Grupo III

Desechos mobiliarios.- Son los que proceden de la vivienda e inmuebles, por lo general está constituidos por madera, telas, trapos y metales.

2.5.4 Grupo IV

Desechos metálicos.- Son los que provienen de talleres mecánicos de reparación automotriz, doméstica, puertos y estaciones ferroviarias. Los desechos principales están dados por metales y plásticos.

2.5.5 Grupo V

Desechos semi-sólidos.- Este tipo de residuos son por lo general con un gran contenido de sustancias en estado líquido provenientes de plantas químicas, colorantes y pintura.

La composición es por lo general agua y sólidos en suspensión.

2.5.6 Grupo VI

Desechos agropecuarios.- Son los desechos producidos en las zonas agrícolas y ganaderas este tipo de desechos se encuentra constituido por estercoles de animales, ramas, esquilmos y madera.

2.5.7 Grupo VII

Desechos industriales.- Principalmente dentro de este grupo se tienen los desechos que provienen de toda la industria en general - este tipo de desechos pueden estar en estado sólido o en estado -

líquido los cuales no pueden ser tirados en la tierra ni ser vertidos al drenaje por lo que se ponen en recipientes especiales.

2.5.8 Grupo VIII

Desechos peligrosos.- Este ramo de residuos sólidos especiales, está compuesto básicamente por los de origen minero los que resultan de las actividades agropecuarias relativas a fertilizantes y -blocidas y por los residuos tóxicos entre los que se pueden considerar los radioactivos.

Cabe aclarar que el campo de la SEDEU, en cuanto al manejo de los residuos sólidos, abarca a todos aquellos que no sean del tipo radioactivo ya que el control de estos últimos ha sido llevado a cabo hasta la fecha, por la comisión de salvaguardias nucleares, el ININ.

Ahora bien, independientemente de su origen, existen los llamados residuos peligrosos y potencialmente peligrosos como es el caso de los residuos patológicos. Es importante aclarar que la gran mayoría de los residuos peligrosos y potencialmente peligrosos, son de origen industrial y que no necesariamente se pueden generar en estado sólido. Por lo tanto se puede decir que en el campo industrial se podrán encontrar los siguientes tipos de residuos:

- Residuos Industriales no peligrosos
- Residuos Industriales peligrosos
- Residuos Industriales potencialmente peligrosos

De lo anterior se desprende el hecho de que toda industria genera al menos un tipo de residuo y en algunos casos, una sola industria genera en un momento dado, los 3 tipos: La subsecretaría de ecología, para efecto de sus acciones en el campo de los residuos sólidos industriales, ha establecido las siguientes definiciones a manera de marco de referencia para tales tipos de residuos.

a) Residuos sólidos industriales.- Son aquellos provenientes de las

operaciones y procesos industriales que no se pueden utilizar como materia prima dentro del establecimiento industrial que lo genera. Quedan por tanto excluidos de esta categoría, los residuos sólidos generados en oficinas, servicio de comedor, embalaje, etc., de los establecimientos industriales, ya que estos caen en la categoría de residuos sólidos municipales. También quedan excluidos los residuos procedentes de las operaciones comerciales de personas y empresas - dedicadas a la industria de la construcción urbana que incluye: edificios, servicios públicos y de parques y jardines. Por otro lado - para efectos de reglamentación, quedan incluidos como residuos sólidos industriales los lodos y polvos provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas y aire en la industria.

b) Residuos peligrosos.- Este tipo de residuos pueden definirse de 3 maneras diferentes.

- Genéricamente en donde de manera general, se define como residuo que presenta riesgos a la salud y al ambiente.
- De acuerdo con su procedencia, por ejemplo: lodos provenientes del tratamiento del agua en la galvanoplastia.
- Por nombre, que no es más que una lista de sustancias de probada peligrosidad, que a cierta concentración en los residuos los vuelven peligrosos. Algunos de ellos se muestran en la tabla 2.10

La subsecretaría de Ecología, utiliza la llamada clave CRETl para categorizar los residuos sólidos peligrosos, en donde:

C=corrosivo
R=reactivo
E=explosivo
T=tóxico
I=inflamable

Esta clave, aunque útil para categorizar residuos resulta difícil de aplicar por el momento, debido a la falta de infraestructura para llevar a cabo los análisis requeridos.

c) Residuos potencialmente peligrosos.- Estos residuos, para efecto

Tabla 2.10 LISTA DE COMPUESTOS NO RADIOACTIVOS PELIGROSOS (Químicos)

Inorgánicos

Cromato de amonio
 Dicromato de amonio
 Pentafluoruro de antimonio
 Trifluoruro de antimonio
 Tricloruro de arsénico
 Trióxido de arsénico
 Cadmio de todas sus formas
 Cloruro de cadmio
 Cianuro de cadmio
 Nitrato de cadmio
 Óxido de cadmio
 Fosfato de cadmio
 Cianuro de cadmio y potasio
 Sulfato de cadmio
 Arsenato de calcio
 Arsenito de calcio
 Cianuro de calcio
 Ácido crómico
 Arsenato de cobre
 Cianuro de cobre
 Hidrazina
 Arsenato de plomo
 Arsenito de plomo
 Arsenito de magnesio
 Cloruro mercurio
 Cianuro mercurio

Halógenos e inter-halógenos

Pentafluoruro de Bromo
 Cloro
 Pentafluoruro de cloro
 Fluor
 Fluoruro percloril

Orgánicos

Acroleína
 Alquilo de plomo

Carcinógenos

Cloropicrín
 Cetilo de cobre
 Clorotetraazol de cobre
 Triazida cianúrica
 Diazodinitrofenil (DDNP)
 Sulfato de dimetil
 Dinitrobenzeno
 Dinitrocresol
 Dinitrofenol
 Dinitrotolueno
 Dinitrato de etilcol
 Fulminato de oro
 Estifenato de plomo

de definición son aquellos que contienen concentraciones de las listas de sustancias potencialmente peligrosas, cuyos efectos no han sido comprobados, o que normalmente no presentan peligro; pero que en condiciones específicas pueden presentarlo.

d) Residuos sólidos industriales no peligrosos.- Serán aquellos residuos sólidos que cumplen con lo especificado en los residuos industriales y no sean potencialmente peligrosos.

e) Residuos sólidos industriales potencialmente peligrosos.- Son todos los residuos industriales en estado sólido que caben dentro de los residuos sólidos industriales y potencialmente peligrosos.

Los métodos más adecuados para la disposición final de los residuos del tipo industrial, no necesariamente en estado sólido, son los que a continuación se mencionan, dependiendo de la peligrosidad de tales residuos:

a) Relleno sanitario.- Este método de disposición final, se empleará para aquellos residuos que se hallan clasificados como no peligrosos ni potencialmente peligrosos.

b) Cementerio Industrial.- Todos aquellos residuos tóxicos y no tóxicos que pueden disponerse sobre el suelo bajo ciertas medidas sanitarias y que se clasifican como residuos peligrosos y potencialmente peligrosos, deberán ser dispuestos mediante una obra de Ingeniería civil, comunmente llamada cementerio industrial.

c) Incineración.- Esta forma de disposición final se recomendará para todos aquellos desechos de tipo peligroso y potencialmente peligrosos, que no pueden disponerse en un cementerio industrial, ya sea por su alta peligrosidad, o bien porque en un futuro cercano no podrán ser reutilizadas para su aprovechamiento como materia prima, debido al escaso desarrollo actual de la tecnología en nuestro país.

3.- METODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL

3.1 INTRODUCCION

Los residuos sólidos en el país han sufrido grandes cambios en las tres últimas décadas no solo en cuanto a su cantidad, sino también en lo referente a la calidad de los mismos.

La basura municipal ha aumentado desde unos 300 gramos habitante por día al principio de los cincuentas, hasta 750 en la actualidad. La población se ha incrementado de 30 a 80 millones aproximadamente. Esto significa que la cantidad de basura ha crecido en el país de 9,000 a 60,000 toneladas por día. Así mismo la calidad ha variado mucho desde su contenido orgánico de fácil biodegradación de cerca de un 80 por ciento, hasta uno del 40 por ciento en la actualidad. Significando que la parte restante está constituida por vidrio, hojalata, papel, plásticos y otros artículos desechables, no biodegradables o de difícil biodegradación.

Por otra parte la generación de residuos sólidos industriales ha crecido en forma aún más dramática a raíz del despegue industrial - que ha tenido el país. La generación y complejidad de los residuos sólidos industriales ha tomado proporciones no imaginables.

Por lo tanto, de continuar un crecimiento sin control en la producción de los desechos sólidos se llegará a un punto en que se agotarán los recursos naturales existentes que son económicamente explotables y agravará el ya costoso problema del manejo de los desechos sólidos.

Por todo esto actualmente se ha empezado a tomar conciencia del problema que implica el manejo de los desechos sólidos y se ha iniciado la búsqueda de posibles soluciones que permitan, sino eliminar en su totalidad, sí disminuir en su mayor parte los desechos sólidos generados en las grandes ciudades como la de México, así en base a estudios minuciosos en el problema se ha llegado a determinar que la recuperación de materiales que se puedan reutilizar y la producción de energía a partir de los desechos sólidos constituyen los caminos más viables para aminorar la concentración de los desechos sólidos.

Dentro de los métodos de tratamiento que más se practican en la actualidad para el manejo de los desechos sólidos son los que en los siguientes incisos se describen.

3.2 RECICLAJE

El reciclaje es el concepto que implica la devolución al ciclo de consumo de los materiales terminados, intermedios o subproductos que se generan en el ciclo habitual de la transformación de recursos naturales en bienes de consumo. Dentro del reciclaje se consideran dos variantes que son: Reciclaje directo y reciclaje indirecto.

3.2.1 Reciclaje directo

El reciclaje directo consiste en el aprovechamiento directo de materiales sin sufrir alteraciones importantes en su estado físico, composición química o estado biológico, como ejemplo tenemos la reutilización de los metales recuperables, la reutilización del vidrio recuperado en la industria cristalera; la reutilización del papel recuperado para la fabricación de pastas de papel, así como la reutilización del plástico.

3.2.2 Reciclaje indirecto

El reciclaje indirecto consiste en el aprovechamiento de los materiales sometidos a una determinada transformación, permitiendo con esto su utilización en forma distinta a su origen, como ejemplos de esto tenemos procesos que no implican cambios en su estado físico como la reutilización del vidrio para materiales de relleno así como materiales de construcción.

Por otra parte tenemos los procesos que implican cambios físicos y químicos, como la transformación de los residuos sólidos en abonos orgánicos, la incineración con recuperación de calor, y los procesos pirolíticos.

Para hacer un buen reciclaje y una adecuada recuperación de los materiales aprovechables contenidos en los desechos sólidos se clasifican de la siguiente manera:

- Cartón
- Papel
- Plástico rígido
- Plástico de película
- Trapo
- Vidrio
- Metales ferrosos
- Metales no ferrosos
- Madera
- Materia orgánica

Es indudable que el reciclaje de la mayor parte de estos subproductos se lleva a cabo antes de que los materiales se integren al total de los residuos sólidos que llegan a las plantas procesadoras de basura, encargadas de hacer la separación y recuperación de materiales reutilizables, haciendo con esto en muchos de los casos, incosteables las plantas de utilizar este método de tratamiento de los desechos sólidos. En un caso particular que se tiene este problema es en la ciudad de México en la planta procesadora de basura de San Juan de Aragón.

3.3. SEPARACION DE SUBPRODUCTOS

En la actualidad se hace necesario el separar los subproductos de los desechos sólidos, ya que debido al alto contenido de estos en la basura, y a la demanda que se tiene de algunos de ellos en diferentes procesos, es importante recuperarlos mediante diversos procesos.

3.3.1 Recuperación

La separación de componentes es una operación necesaria en la recuperación de desechos generados en distintas fuentes, y donde la energía y los productos recuperables van a ser obtenidos de diferentes procesos. La separación requerida puede ser manual y mecánicamente. Cuando la separación es manual no es necesario reprocesar los desechos. En técnicas mecánicas es necesario para la reducción en una primera etapa de los desechos. El equipo y técnicas usadas para la separación de componentes se muestra en la tabla 3.1

3.3.1.1 Clasificación manual

La separación manual de los desechos sólidos puede efectuarse en el mismo lugar de donde son generados. El número y tipo de componentes varían de acuerdo al lugar de donde provienen, la composición típica suele ser: periódico, aluminio y vidrio de lugares residenciales. Altas cantidades de papel, metal y madera de fuentes industria-

TABLA 3-1 Técnicas utilizadas para la separación de desechos sólidos.

T E C N I C A	MATERIAL RECUPERABLE	PREPROCESAMIENTO	O B S E R V A C I O N
Separación manual	Papel, madera, material ferroso y no ferroso.	Ninguno	Utilizado para separar grandes cantidades de papel y metal en comercios e Industrias.
Separación centralizada	Periódico y papel corru-	Ninguno	Puede ser alternativa económica dependiendo del costo de operación
Separación con aire	Materiales combustibles	Trituración	Utilizado para concentrar metal y vidrio.
Separación inercial	Materiales combustibles	Triyuración	Utilizado como separación con aire.
Tomizado	Vidrio	Ninguno ó separación	Para remover vidrio y desechos grandes.
Flotación	Vidrio	Separación con aire ó trituración	En contaminación de agua, costoso.
Separación Óptica	Vidrio	Trituración y separación con aire	Utilizado para separar vidrio de acuerdo al calor.
Separación Electrostática	Vidrio	Separación con aire y separación magnética y tomizado.	
Separación magnética	Material ferroso	Trituración	Muchas aplicaciones.
Separación por Induc	Material no ferroso	Trituración y separación magnética	Utilizado para separar materiales no ferrosos como Aluminio.

les y comerciales.

3.3.1.2 Separación con aire

La separación con aire ha sido utilizada por muchos años en operaciones industriales, es generalmente usada para la separación de materiales orgánicos, llamadas partículas ligeras y para materiales inorgánicos es llamada separación de partículas pesadas. Dentro de esta separación están productos de papel, materiales plásticos y otros materiales ligeros.

Equipo para la separación con aire.

Una primera alternativa para la separación por aire puede verse en la figura 3.1 la cual es un conducto al que se le inyecta aire hacia arriba para transportar el material ligero, este flujo de aire atraviesa el conducto separando el material más ligero.

Otro equipo utilizado para el mismo fin se conoce como clasificador por aire en zig zag; la pequeña unidad experimental se muestra en la figura 3.2. Consiste en una columna vertical con deflectores internos en zig zag en el cual el aire es inducido en alto porcentaje por este ducto, los desechos son introducidos por la parte superior del mecanismo. En teoría cada cambio de dirección causada por el dispositivo en zig zag crea turbulencia, con lo cual logra que los desechos se agiten y se separen.

Otra máquina utilizada para separar materiales por medio de aire se muestra en la figura 3.3. En esta unidad la separación de las partículas ligeras es acompañada por la combinación de tres acciones. La primera es la vibración, la cual ayuda a mover el material dentro del separador así como los componentes pesados. La segunda acción en el material es un efecto inercial en el cual el aire es empujado a través de la alimentación impartiendo una aceleración inercial a las partículas llevándolas hacia abajo del separador. La

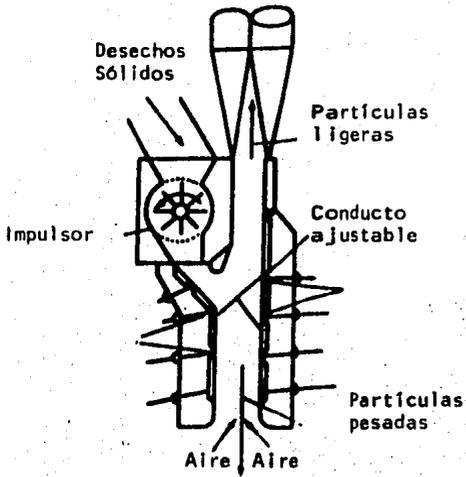


Fig. 3.1 Clasificador de aire de conducto variable

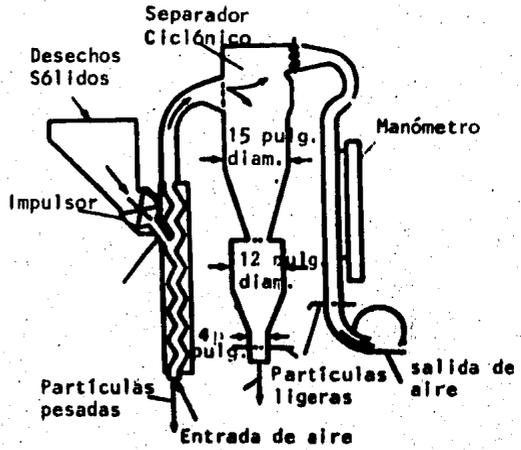


Fig.3.2 Clasificador zig-zag

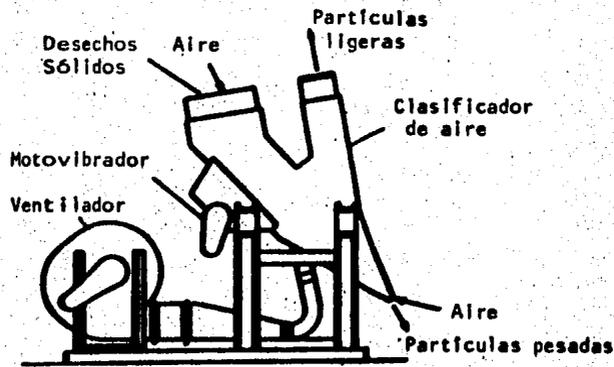


Fig. 3.3 Clasificador por Vibración

tercera operación que completa la función del separador es la inyección del aire. El flujo del aire cambia la dirección de las partículas pequeñas y de esta forma las partículas son llevadas fuera de la unidad por el escape del aire y los desechos son depositados dentro del separador por acción de gravedad. Los principales componentes del separador se muestran en la figura 3.4.

El separador ciclónico es utilizado para separar las partículas grandes por aire de convección, alternativamente el aire para el ciclon puede ser reciclado dentro del clasificador siendo o no removido. El aire de operación puede suplirse por un ventilador que envíe el aire a bajas presiones, las partículas pueden ser removidas por el clasificador de aire y pueden disponerse para recuperación subsecuentes en el sistema, las fracciones grandes pueden ser almacenadas o transportadas a otros sitios de disposición para futura utilización como combustible o material para composta.

3.3.1.3 Separación magnética

El procedimiento de separación de desechos sólidos por medio de un campo magnético se denomina separación magnética. La separación magnética es el método más comúnmente utilizado para la recupera---ción de materiales ferrosos, en algunas instalaciones el sistema ---magnético es usado para la recuperación de materiales ferrosos antes de disponerlos para otro fin. Cuando los desechos son acumula---dos para disponerlos en un incinerador es usado este método para separar los residuos antes de someterlos a este proceso.

Equipos de separación magnética

A través de los años diversos tipos de equipos se han utilizado para la recuperación de materiales ferrosos empleando el método de separación magnética. Los tipos más comúnmente usados son el de ---íman suspendido, el de polea magnética y el del tambor magnético ---suspendido, mostrados en las figuras 3.5, 3.6, y 3.7 respectivamen---

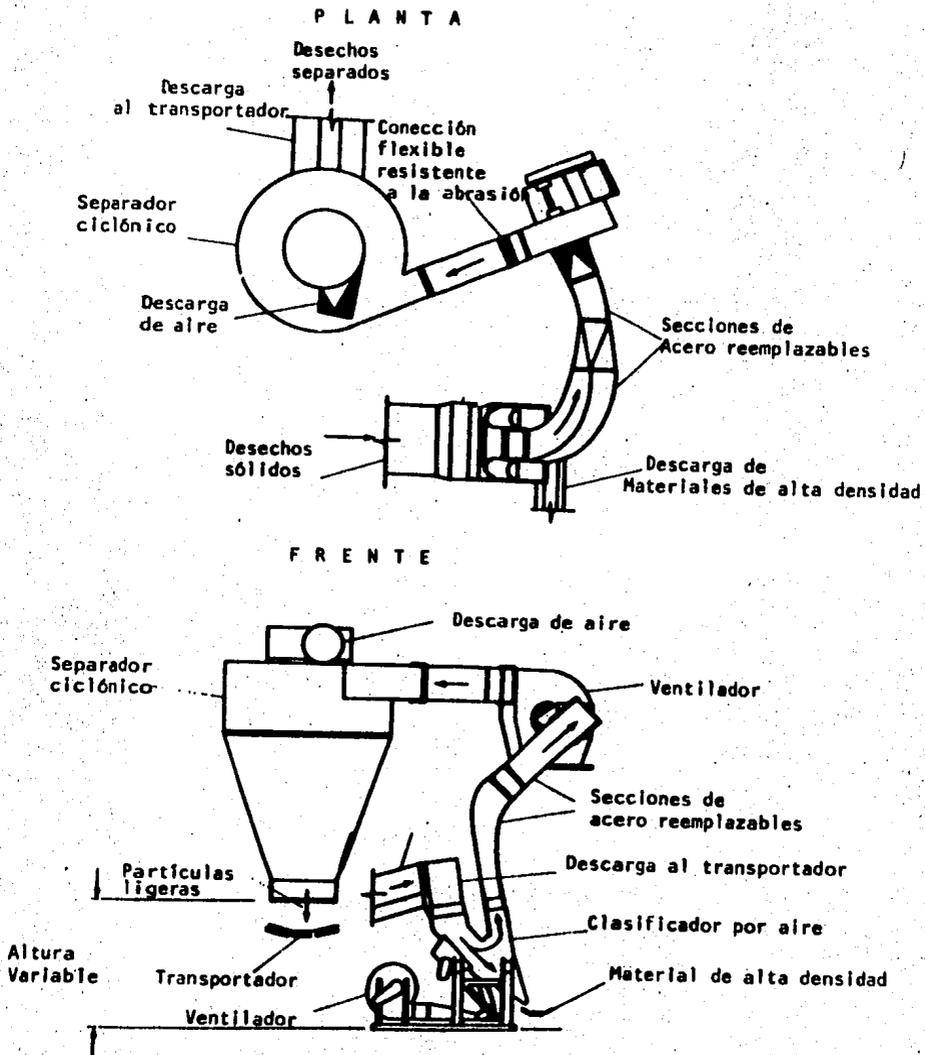


Fig.3.4 Separador de Aire

te. El funcionamiento de estos mecanismos es esencialmente mediante la rotación de transportadores que al pasar bajo estos dispositivos magnéticos los desechos sólidos, son atraídos los materiales de tipo ferroso y los no ferrosos son depositados en contenedores distintos. Para una mayor eficiencia son usados dispositivos de varias -- etapas como se muestra en las figuras 3.8 y 3.9.

Un sistema típico de varias fases diseñado para trabajar en un extremo del transportador que alimenta los desechos sólidos al separador se muestra en la figura 3.8 donde se emplean tres ímanes, el primer íman es empleado para atraer el material ferroso que viene en los desechos sólidos, el segundo es el íman transportador usado para conducir los metales separados a un extremo del transportador y el tercero es el íman de descarga el cual se encarga de llevar -- los metales ferrosos a una zona carente de magnetismo lo cual permite que los materiales atrapados sean depositados en contenedores diferentes del resto de los desechos sólidos.

Otro tipo de separador magnético muy usado en las plantas procesadoras de basura es el separador de dos tambores magnéticos mostrado en la figura 3.9 donde el primer tambor magnético es usado para levantar el material ferroso contenido en los desechos sólidos y -- arrojarlo a una banda transportadora intermedia, el segundo tambor es más pequeño y se coloca en un extremo de la banda intermedia girando en dirección contraria al flujo del material, con este tambor se vuelve a separar el material ferroso asegurando con esto una mejor separación, el material no ferroso cae libremente en una banda transportadora que se encuentra abajo de la banda intermedia descargándose por un lado los materiales ferrosos y por otro los no ferrosos.

3.3.1.4 Tamizado

El tamizado involucra la separación de una mezcla de diferentes

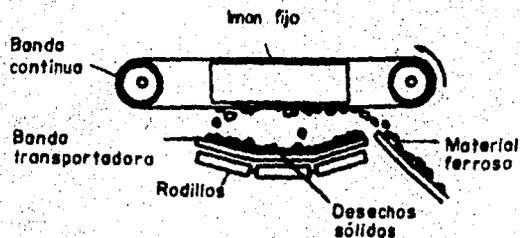


Fig. 3.5 Separador de iman suspendido

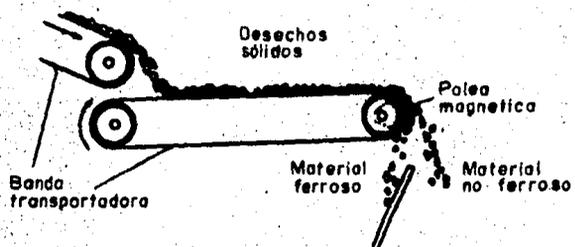


Fig. 3.6 Separador de polea magnética

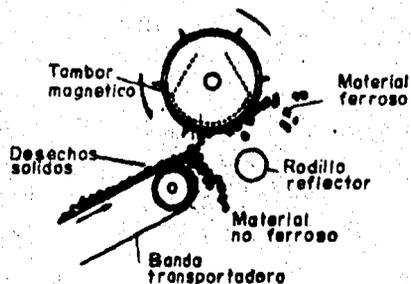


Fig. 3.7 Separador de tambor magnetico

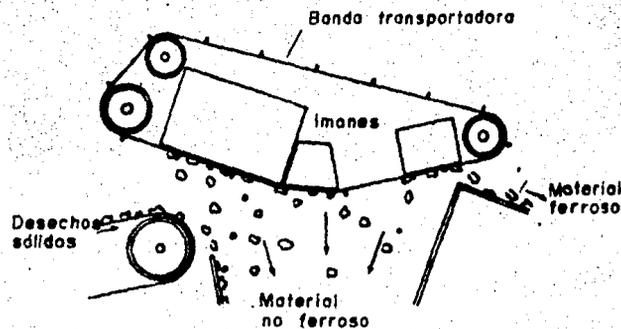


Fig. 3.8 Separador de imanes múltiples

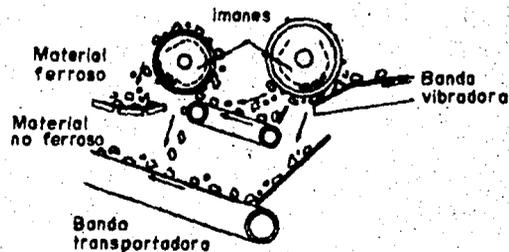


Fig. 3.9 Separador magnetico de dos tambores

materiales y de diferentes tamaños dentro de dos o más porciones de varias superficies. El tamizado es realizado por método seco o húmedo, el método seco es el más común en los procesos de desechos sólidos. El tamizado tiene un gran número de aplicaciones en los recursos de recuperación de subproductos. El tamizado tiene que usarse antes y después de despedazarse el material para separar las fracciones ligeras y pesadas del material.

Equipo para tamizado

Los tipos más comunes de tamices usados para la separación de los desechos sólidos son los de vibración que se muestra en la figura 3.10 y los de tambor rotatorio, estos dispositivos son utilizados principalmente para separar el vidrio y la mayor eficiencia que presentan estos equipos es del 60 por ciento del total alimentado.

3.3.1.5 Separación óptica

Este método identifica los tonos de distintas partículas especialmente vidrio debido a las propiedades de este, este sistema también puede ser usado para separar las mezclas de vidrio. El funcionamiento consiste en cuatro operaciones básicas.

- Partículas alimentadas mecánicamente
- Partículas localizadas ópticamente
- Resultado de la operación evaluada electrónicamente
- Tipos de partículas predeterminadas y removidas a determinado tiempo por medio de una rafaga de aire.

Un típico separador óptico de este tipo se muestra en la figura 3.11, en la figura se muestra que las partículas de vidrio son alimentadas por una tolva a una bandeja vibradora que es usada para controlar la cantidad de partículas alimentadas a un conducto incli

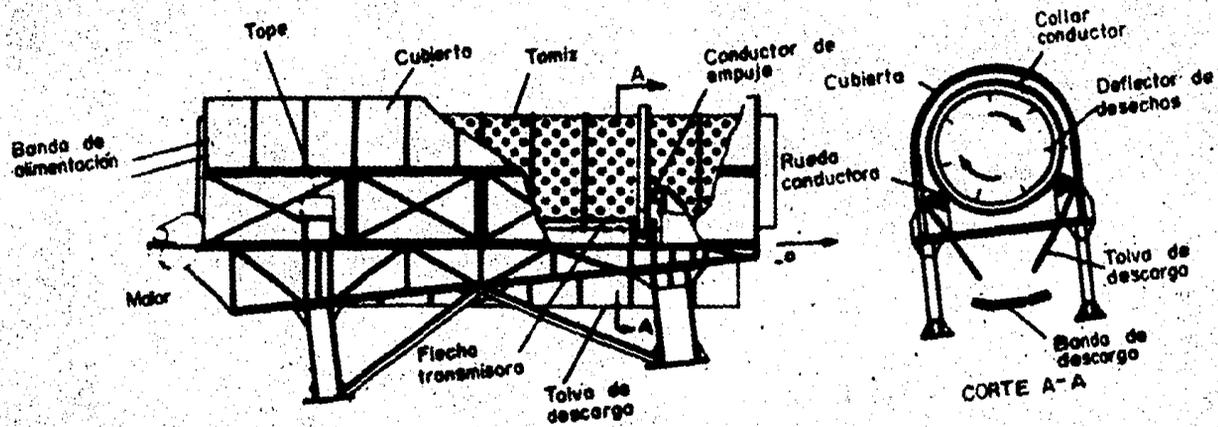


Fig. 3.10 Separacion por tamizado

nado el cual es empleado para guiar las partículas a la unidad de inspección para su evaluación. La unidad de inspección contiene una fuente de luz y sensor para examinar las partículas que van cayendo, cuando una partícula de vidrio es detectada, una señal es mandada al gatillo electrónico para que este suelte una rafaga de aire por la boquilla del eyector provocando que el vidrio sea separado de las demas partículas no deseadas, concluyendose así el proceso de separación óptico.

3.3.1.6 Separación Inercial

Los métodos inerciales se basan en los principios de separación bálística o gravitoria. Estos sistemas son adecuados para separar partículas de desechos sólidos previamente molidos el cual por efecto de la gravedad dichas partículas serán separadas por un lado en partículas ligeras (orgánicas) y por otro en partículas pesadas (inorgánicas). La forma de operación de tres diferentes tipos de separadores se muestran en la figura 3.12. Estos métodos son muy utilizados en Europa.

3.3.1.7 Separación electrostática

Este tipo de separador puede ser usado para separar el vidrio contenido en los residuos sólidos aprovechando un campo electrostático producido por un alto voltaje. El sistema consiste en alimentar los desechos sólidos a un tambor rotatorio cargado negativamente como se muestra en la figura 3.13 y cerca de este tambor se coloca un electrodo con carga positiva lograndose así la separación de los diversos tipos de materiales segun la carga adquirida.

Una forma de utilizar en forma combinada los métodos de separación antes descritos en una planta procesadora de basura se muestra en la figura 3.14

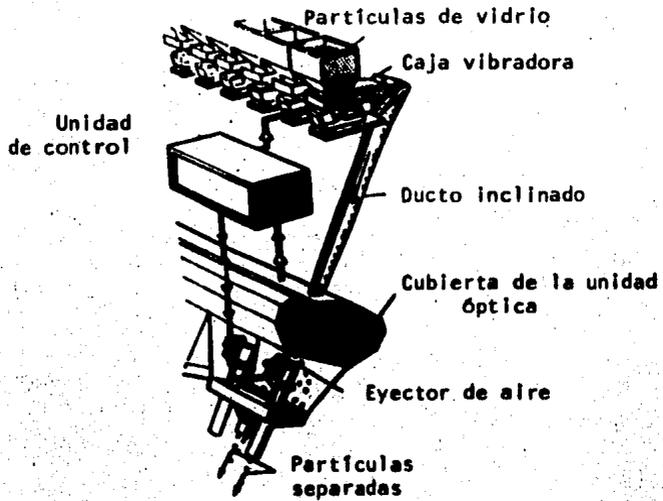


Fig. 3.11 Separador óptico

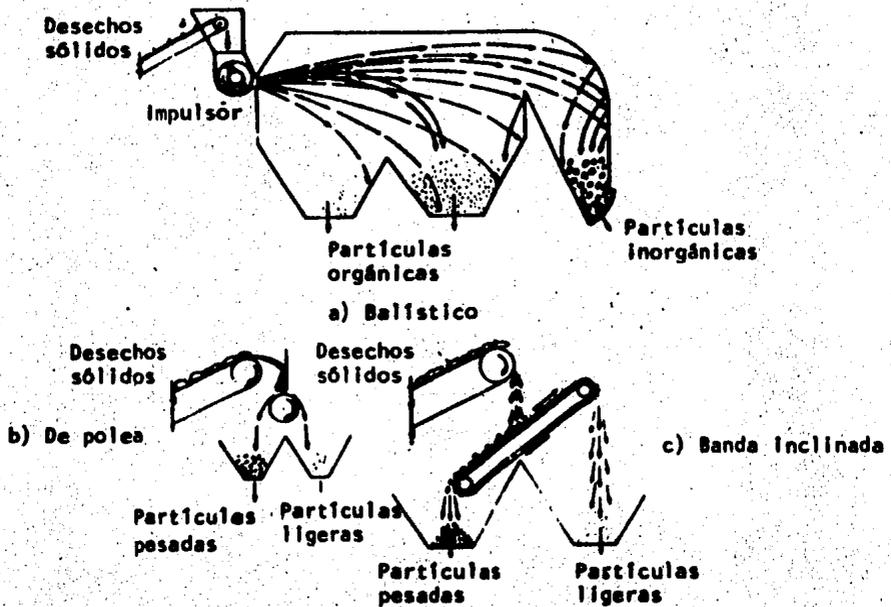


Fig. 3.12 Tipos de Separadores Inerciales

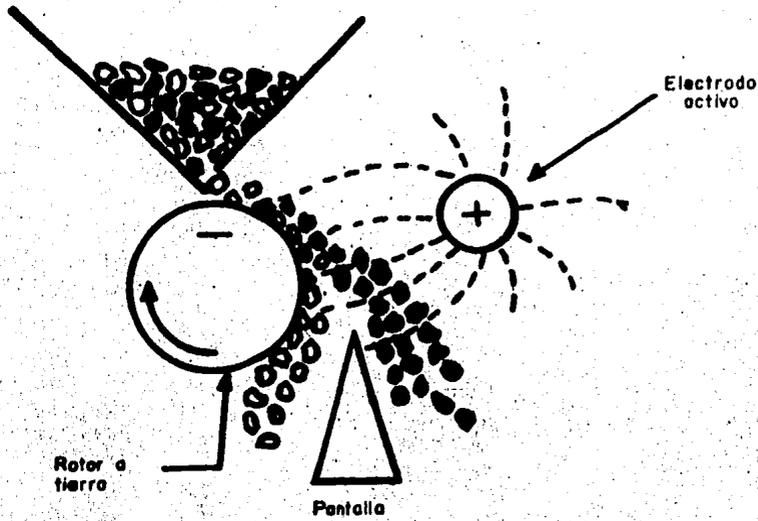


Fig. 3.13 Separador electrostático

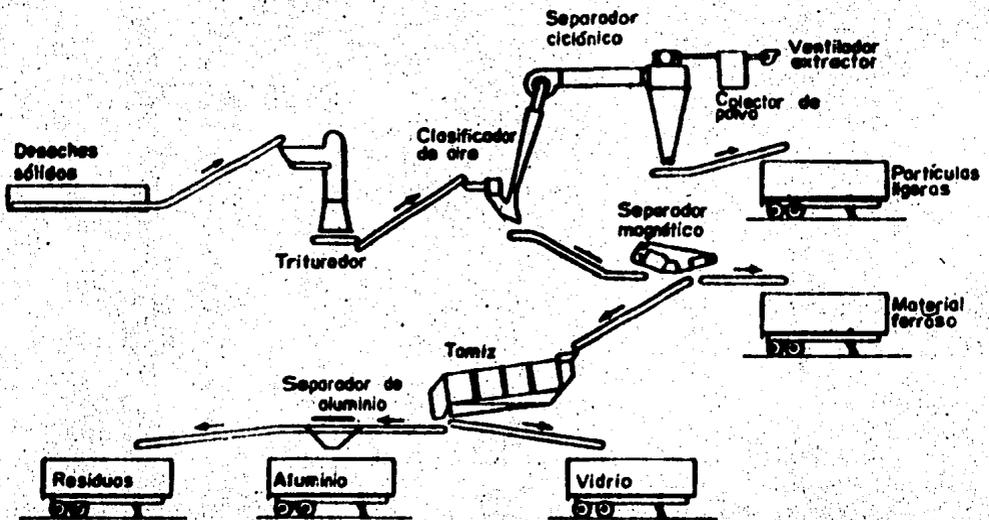


Fig. 3.14 Diversos métodos de separación combinados

3.4 RELLENO SANITARIO

El relleno sanitario se puede definir como el método de disposición final de los desechos sólidos en la tierra, sin creación de molestias o riesgos para la salud pública, mediante el uso de principios de Ingeniería, para confinar los desechos sólidos en una área lo menor posible, reduciendo estos a un volumen práctico y cubriéndolos con una capa de tierra al finalizar cada día de operación o a intervalos más frecuentes, según sea necesario. Para desechos municipales, alimentos procesados y desechos farmacéuticos, la cubierta elimina los insectos y roedores que son transmisores de enfermedades.

En un relleno sanitario los materiales voluminosos tales como escombros de demolición, maderas de construcción y partes de máquinas, son separados y posteriormente utilizados para la cubierta final lo que proporciona un mejor soporte para futuras construcciones.

Para estimar la vida útil de un relleno sanitario, es necesario conocer:

- La cantidad de basura
- Volumen por rellenar
- Densidad de la basura en el relleno
- Sistema de cubierta

Una de las consideraciones fundamentales en la selección del sitio adecuado para un relleno sanitario es la hidrología de la zona ya que es de ella de quien depende la formación de lixiviado, su cantidad y la posible contaminación del agua en los alrededores. El diseño y la operación de un relleno sanitario se van a ver seriamente afectados por el viento, la lluvia y la temperatura por lo que es necesario considerarlos para un buen funcionamiento del sistema.

3.4.1 Métodos de relleno

Existen dos métodos básicamente de construcción de un relleno sanitario el método de área y el método de trincheras. Generalmente el método de trincheras se usa cuando el nivel del agua subterránea es bajo y la capa de tierra en el suelo tiene un espesor mayor de dos metros y su empleo es más adecuado en terrenos planos o con ligeros desniveles. El método de área se puede aplicar casi en cualquier topografía y se usa frecuentemente cuando se tiene grandes cantidades de desechos sólidos. Existe una tercera opción que es una combinación de los dos métodos anteriores.

El método de área como el de trincheras tienen una característica en común, que es la de su construcción a base de celdas. Los desechos sólidos recibidos se esparcen y compactan dentro de una área determinada al final de cada día ó varias veces durante el mismo, posteriormente se cubren con una delgada capa de tierra la cual también es compactada. Los desechos compactados y la cubierta de tierra constituyen lo que llamamos celda, varias celdas de la misma altura constituyen un nivel y varios niveles van a formar parte de un relleno terminado.

3.4.1.1 Método de área

El método de área es aplicable para cualquier tipo de terreno -- (plano, cañones, etc.) y se recomienda para rellenos sanitarios -- grandes. Todos los desechos sólidos recibidos son esparcidos en capas dentro de una área determinada y al finalizar cada día de operación se cubren con una capa delgada de tierra que también es compactada. Es recomendable una altura de basura de 2 a 2.5 metros, el ancho debe ser como mínimo dos veces el ancho de la cuchilla del tractor, se recomienda como máximo 50 metros y depende del flujo de vehículos y la cantidad de desechos, el largo será aproximadamente -- igual al ancho. Este método se muestra en la figura 3.15.

3.4.1.2 Método de trinchera

Este método consiste en la excavación de trincheras en las cuales se esparcen y compactan los desechos para posteriormente ser cubiertos con el material excavado. Aquí se disponen de grandes cantidades de tierra de recubrimientos ya que la cantidad excavada es mucho mayor que la usada. Hay ciertas clases de terrenos como el arcilloso que son ideales para la aplicación de este método ya que permite la construcción de paredes muy delgadas entre una trinchera y otra. El fondo de la trinchera debe tener una pendiente ligera que permita un drenaje adecuado de las celdas.

El método de trincheras presenta ciertas limitaciones como son:

- Conservación del nivel freático
- El tipo de máquina limita la profundidad
- El tipo de suelo

Las trincheras deben ser perpendiculares a los vientos con el fin de que estos no arrastren la basura. El método de trinchera se muestra en la figura 3.16 y una combinación de los dos métodos antes descritos se ilustra en la figura 3.17.

3.5 COMPOSTEO

El tratamiento de los desechos sólidos a través de la digestión bacteriana es un método que en términos generales se define como la descomposición biológica de la materia orgánica contenida en los desechos sólidos, tendientes a obtener un humus estabilizado.

Este método consiste en someter la parte orgánica de los desechos a la acción bioquímica de los microorganismos, de una manera controlada técnicamente con el objeto de estabilizar la parte de fácil biodegradación. La descomposición puede realizarse en condiciones

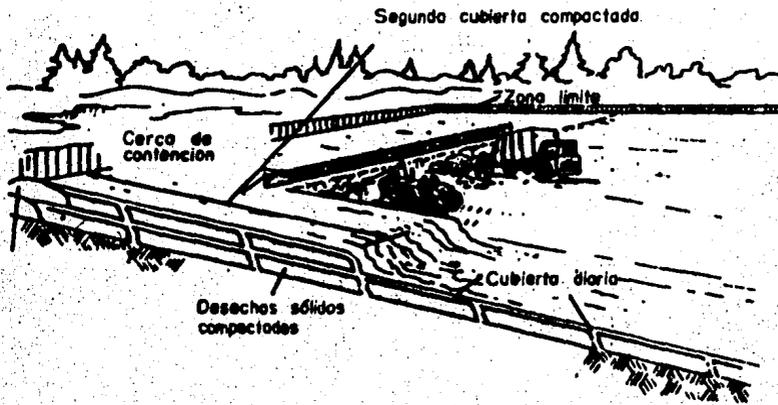


FIG 3.15 METODO DE AREA

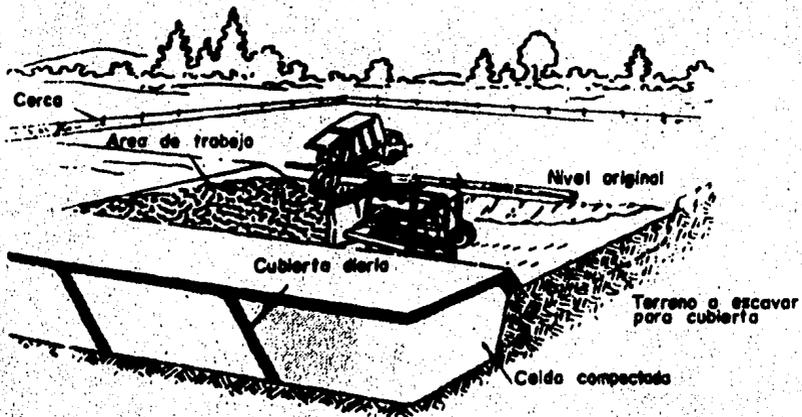


FIG. 3.16 METODO DE TRINCHERA

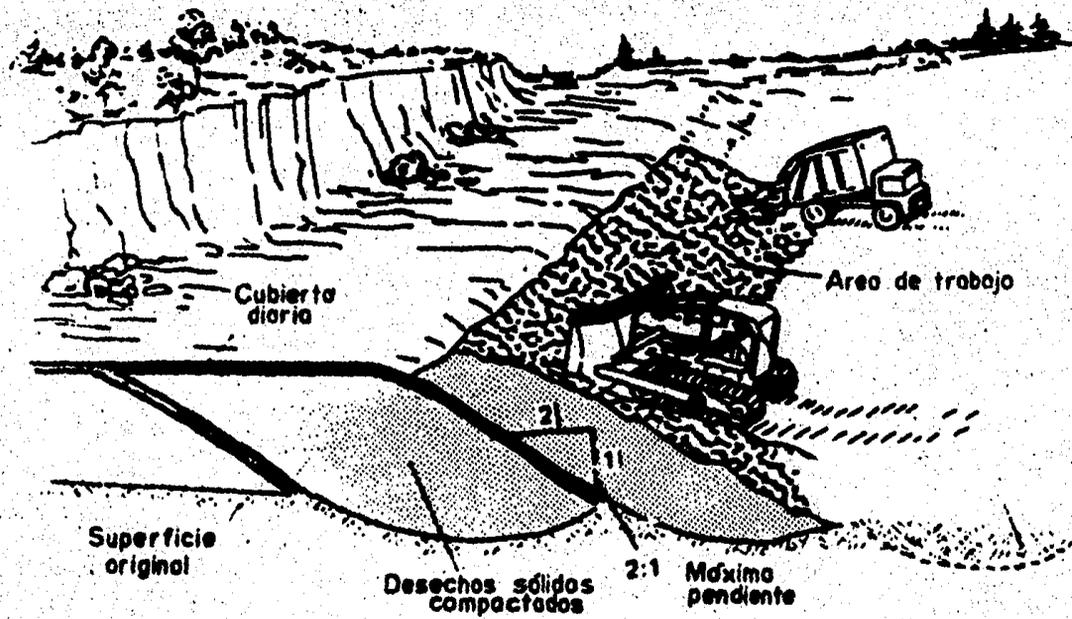


Fig. 3.17 Combinación de métodos (Área y trinchera)

aeróbias, es decir, en presencia de oxígeno o en condiciones anaeróbias en ausencia de oxígeno. Las condiciones aerobias son las más -- aconsejables ya que el tiempo requerido para el proceso se reduce -- considerablemente. Este tratamiento no presenta el problema derivado de los olores y gases. El proceso puede realizarse a temperaturas mesofílicas (26 a 45°C) ó termofílicas (de 60 a 80°C). En la práctica, la mayor parte de los procesos se efectúan a temperaturas termofílicas por lo que el producto final es inocuo desde el punto de vista de germen patógenos.

El producto resultante es un mejorador de suelos de color café -- grisáceo y ligero olor a tierra húmeda. Su contenido de nutrientes varía según la tabla 3.1. Este producto resultante puede utilizarse para los siguientes fines:

- Mejorar suelos desgastados o carentes de materia orgánica
- Mejorar las características físicas en los suelos arenosos o arcillosos
- Mejorar los cultivos finos tales como Floricultura, Fruticultura y otros
- Uso para parques y jardines municipales
- Agricultura en general

Todo método de digestión bacteriana debe tender a reunir los requisitos para que el proceso sea lo más rápido, completo y sanitario posible, con base en los siguientes fundamentos.

- 1.- Posibilidad de extracción de algunos materiales no digeribles como vidrio, loza, metal etc.
- 2.- Mezcla uniforme de los residuos y elementos orgánicos.
- 3.- Preparación de la mezcla de modo que presente las mayores facilidades para la invasión y el desarrollo de bacterias y microorganismos.
- 4.- Periodo de descomposición y estabilización en condiciones óptimas.

En lo que representa a la localización de la planta de composteo, se recomienda que se haga en área que cuente con buenas vías de acceso, electrificación, agua y en general todos los servicios municipales comunes. De preferencia deberá de estar localizada cerca de -- los principales centros generadores de residuos sólidos, para que de esta forma se minimicen los costos de recolección y transporte. Así mismo deberá estar localizada en un lugar apropiado para que los --- vientos dominantes alejen el olor de la ciudad, previendo una mala operación temporal de la planta.

3.6 INCINERACION

La eliminación de los residuos sólidos a través del proceso de incineración comprende una serie de etapas más o menos complejas.

Las plantas de incineración bien proyectadas representan una muy buena solución, desde el punto de vista sanitario, para tratar los - residuos sólidos de una comunidad. Todas las bacterias e insectos se destruyen en forma rápida, como también se eliminan en forma muy satisfactoria las materias combustibles contenidas en los desechos sólidos.

La incineración presenta el inconveniente de dejar un residuo de - cenizas y escoria del 10 por ciento del volumen inicial, así como los componentes no combustibles que tienen que eliminarse posteriormente en forma adecuada mediante relleno sanitario.

En la actualidad es posible lograr aprovechar parte de la energía disponible en los desechos sólidos a través de un horno incinerador bien diseñado, proyectado y operado, siempre que el contenido de humedad, cenizas y el calor de combustión de los desechos sólidos así lo permitan. Energía que puede ser utilizada con propósitos municipales, industriales ó domésticos, sin embargo, existen diversas razo-

nes por las cuales los hornos incineradores solamente se aconsejan para algunas ciudades. Circunstancias tales como la elevada inversión inicial y los altos costos de operación, ya que los municipios de nuestro país no están en posibilidades de realizar este tipo de inversión.

Otro inconveniente que presentan los incineradores es el problema de la contaminación atmosférica al emitir el humo y gases producto de la combustión de los residuos sólidos ya que los equipos de control de emisiones resultan costosos en su adquisición, operación y mantenimiento.

A continuación se señalan una serie de factores que limitan la implantación de incineradores:

- a) Bajo calor de combustión y el alto porcentaje de humedad en los residuos, son inconvenientes que pueden subsanarse mediante el precalentamiento del aire, presecado de los residuos mediante la utilización de combustibles adicionales.
- b) Alto contenido de materia vegetal, lo que ocasiona, si la operación del horno no es satisfactoria, que alguna cantidad de materia orgánica sea susceptible de entrar en descomposición.
- c) Naturalmente, en el proceso de incineración, se alimenta al horno la totalidad de los desechos sólidos generados, sin tener una buena recuperación de aquellos materiales que puedan tener cierto valor comercial.

Debido a que el tema principal de este trabajo es la incineración de los desechos sólidos, en el siguiente capítulo se presenta un análisis más profundo sobre este proceso.

3.7 PIROLISIS

La pirolisis se define como la descomposición físico-química del

material orgánico constituyente en los desechos sólidos por la acción del calor, todo esto realizado en una atmósfera deficiente de oxígeno.

Por medio de la pirólisis la materia orgánica contenida en los desechos sólidos se transforma en tres subproductos que son:

- a) Un residuo sólido compuesto principalmente de carbón, cenizas y metales. El carbón tiene un poder calorífico de 12,000 BTU/lb y la cantidad de metal depende de la composición de los residuos y del grado de separación que hayan tenido.
- b) Un producto líquido compuesto de agua y mezclas orgánicas tales como alcohol metílico, alquil alcohol, metil acetona y oleos de acetato y alquitran.
- c) Un gas de bajo valor calorífico compuesto principalmente de CO_2 , CO , N_2 y CH_4 en una mezcla con un poder calorífico de 3,500 a 6,500 Kcal/kg.

La forma y las características de la fracción combustible varía para cada uno de los procesos que se están desarrollando en la actualidad y esta en función del tiempo de reacción, de la temperatura, de la presión en el reactor pirólítico, del tamaño de las partículas y de la presencia de catalizadores y combustibles auxiliares.

La pirólisis de residuos municipales se efectúan en reactores diseñados especialmente para procesar estos materiales, un tipo característico de estos reactores consta de una retorta calentada con gas, hermética y revestida con una chaqueta bien aislada.

Esta retorta gira lentamente y tiene una pequeña inclinación en el sentido de la alimentación hacia la descarga. Los residuos son alimentados a través de un sello que abre intermitentemente y son sometidos dentro de la retorta a temperaturas de 650 a 1,400°C en una atmósfera libre de oxígeno. Al estar en ausencia de oxígeno los mate

riales no entran en combustión propiamente dicha y son descompuestos en sólidos, líquidos y gases.

La producción de gases en el reactor es de aproximadamente 1.56 - m³/kg de residuo alimentado.

Los reactores tienen tamaños que van de 150 kg/hr hasta 12,000 -- kg/hr y el ciclo desde la alimentación hasta la descarga dura entre 12 y 15 minutos.

En la pirólisis, contrariamente a lo que sucede en la incineración, la reacción que se lleva a cabo es del tipo endotérmico, el calor aplicado a los residuos es con el fin de destilar los componentes volátiles.

En la actualidad la pirólisis ha sido usada solamente para residuos sólidos municipales, no existe mucha experiencia en el caso de pirólisis de residuos sólidos tóxicos, sin embargo, la pirólisis también presenta una alternativa de tratamiento para los residuos tóxicos que contengan una parte considerable de materia orgánica.

En resumen la pirólisis puede llegar a ser una solución atractiva para el tratamiento de los residuos sólidos municipales, ya que aunque el proceso requiere de altos costos de inversión y operación, su efectividad desde el punto de vista de la reducción de volumen, producción de subproductos útiles, mínima contaminación atmosférica y una posibilidad de ingresos económicos puede llegar a generalizar su uso en un futuro cercano.

De acuerdo con lo antes descrito, la disposición de los desechos sólidos en el Distrito Federal es cada vez más crítica, ya que la generación de estos se incrementa día a día y las técnicas a utilizar deben ser las más adecuadas de acuerdo a la constitución geográfica de la ciudad.

Las alternativas antes mencionadas como son; Composteo, relleno -

sanitario, pirólisis, etc. Podrían ser utilizadas si se dispusiera de grandes áreas y de sitios específicos ya que esto acarrea problemas como el de reserva ecológica y contaminación del manto acuífero. La pirólisis por su parte es una alternativa más compleja ya que requiere de un control especial para su adecuado funcionamiento. Debido a esto y a la urbanización del Distrito Federal se hace necesario llevar los desechos a lugares cada vez más alejados incrementando el costo de transportación, esto crea la necesidad de utilizar -- una técnica de acuerdo a las necesidades propias del lugar. Es por todo esto que el camino más viable para la solución de este problema es la incineración, aunque trae consigo problemas de contaminación atmosférica, pero con el adecuado equipo de control de contaminantes se hace atractivo el utilizar esta técnica.

En el siguiente capítulo se hace un estudio más amplio acerca de las alternativas que presenta la incineración así como la manera de utilizar esta técnica adecuadamente.

4.- INCINERACION.

La incineración puede considerarse como el proceso más antiguo y altamente utilizado en la actualidad para la disposición de los desechos sólidos.

Sus objetivos principales son la reducción del volumen y el peso, así como la transformación de la basura en materiales relativamente no combustibles, de mejor aspecto y no aptos para el desarrollo de plagas y animales.

Este método ha tomado importancia debido a la dificultad de -- transportar desechos sólidos a sitios cada vez más lejanos, ya que el costo de transporte de la basura se incrementa debido a la baja densidad de ésta. Por eso es recomendable hacer uso de un método -- que reduzca el volumen de desechos a transportar. Algo importante -- es que la reducción de la cantidad de basura hace más duradera la --

vida útil de los sitios de relleno.

En cuanto al aspecto sanitario la incineración es muchas veces considerada como la mejor solución para el problema de la basura. Pero aunque, por un lado los residuos de la combustión son prácticamente estériles e inofensivos, por otro lado la operación de incineración siempre produce contaminantes atmosféricos y en el agua requiriendo de procesos costosos para su control. Por todo esto la incineración debe ser evaluada en bases estrictamente económicas, en comparación con otros métodos de reducción de basura. El grado de reducción de basura que se obtiene hoy en día en los incineradores de 75/90 por ciento en volumen. Sin embargo los residuos nunca deben ser olvidados, por lo que no se debe considerar a la incineración como un proceso final ó solución total para el problema de los residuos sólidos.

Con el objeto de mejorar las condiciones de quemado previniendo accidentes, incendios, malos olores, producción de humos y combustiones incompletas, se han desarrollado equipos de incineración de diversos diseños y capacidades desde los simples incineradores domésticos hasta las instalaciones centrales capaces de procesar miles de toneladas por día.

En Estados Unidos de América el primer incinerador fué construido en 1885, en Governors Island, New York Harbour, sin embargo muchas de las plantas que constituyeron en ese tiempo, presentaron problemas relacionados con la expedición de humos, malos olores y otros gases, resultado de bajas temperaturas de operación!

Para reducir estos problemas, se emplearon combustibles auxiliares como gas natural, petróleo, mezclas de carbón con basura, o bien técnicas de pre-secado para mejorar la eficiencia de la combustión. Con todas estas dificultades el sistema de incineración se difundió en Europa. Desde esas fechas hasta 1950 las mejoras más

importantes en el diseño de incineradores fueron la sustitución de la alimentación manual por la alimentación mecánica y la adaptación, para incineradores de basura, de parrillas mecánicas.

De los años cincuenta a la fecha ha habido otros avances principalmente dentro de los controles de emisiones de contaminantes. Como los lavadores, ciclones y precipitadores electrostáticos que son capaces de reducir la emisión de material en forma de partículas a niveles -- bastante bajos.

Otros avances obtenidos son las técnicas de aprovechamiento de calor generado en la combustión para la producción de vapor o energía eléctrica.

A finales de los años setenta y como consecuencia de la crisis -- energética, se desarrollaron un gran número de plantas incineradoras utilizando basura como combustible y recuperando la energía en forma de vapor o electricidad. Bajo estas condiciones, el control de emisiones contaminantes no fue tan severo ya que el objetivo primordial era la recuperación de energía.

En años más recientes, en países con limitada disponibilidad de -- terreno adecuado para la disposición de residuos sólidos, como Japón y varios países Europeos, se han desarrollado sistemas de incineración cuyo principal objetivo es el de controlar la contaminación ambiental lo que se ha traducido en la incorporación de sistemas de control de emisiones que aseguran condiciones ecológicas de operación.

4.1 PRINCIPIOS DE LA COMBUSTION

La incineración es un proceso de combustión controlada de desechos combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. El principio de la combustión se define como un proceso químico de oxidación, acompañado por -- el desprendimiento de energía.

Con los combustibles más comunes (carbón, petróleo, gas, madera, etc.) la oxidación es una reacción rápida realizada con el oxígeno del aire adquiriendo durante el proceso una alta temperatura, produciendo calor en grandes cantidades. Estos combustibles tienen solamente tres constituyentes elementales carbón, hidrógeno y azufre, - los cuales con el oxígeno realizan la combustión completa. Sin embargo, para la mayoría de los combustibles consideramos solamente - como elementales el carbón y el hidrógeno, no tomando en cuenta el azufre por las pequeñas cantidades en que se presente y por no influir de manera apreciable en la producción de calor o en los cálculos de requerimiento de aire.

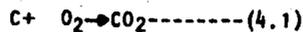
En la combustión los elementos son transformados al más alto estado de oxidación estable, para el carbón y el hidrógeno, estos estados son el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) que representan los principales productos. Lo esencial para que ocurra esta transformación es que el combustible y el aire estén juntos en proporciones apropiadas, de modo que ocurra la ignición y se mantenga la combustión hasta que todo el carbón e hidrógeno sean transformados en los gases mencionados, resultando solamente un residuo incombustible.

Para realizar la combustión completa se debe proveer al combustible con tiempo suficiente y de turbulencia o mezcla de ignición suficientemente alta. Conociendo la relación oxígeno combustible y como el oxígeno está en el aire en determinadas proporciones, podemos fácilmente calcular el aire requerido para la combustión. El problema de calcular esta proporción empleándose desechos sólidos como combustible es debido a la imposibilidad de predecir la heterogeneidad natural de éstos. Sin embargo, considerando una composición promedio para la basura y a su vez tomando solamente el carbón e hidrógeno en la reacción se puede calcular el aire necesario en este proceso. Aunque en realidad hay muchas otras reacciones adicionales

durante la combustión, en forma general podemos expresar lo siguiente:

Oxidación teórica del carbón.

La reacción estequiométrica que nos da la oxidación del carbón puede expresarse como sigue:



De acuerdo con la reacción 4.1, se requiere una molécula de O_2 para producir una molécula de CO_2 o sea que se requieren 32gr. de O_2 y 12gr. de carbón para generar 44gr. de CO_2 .

Considerando que el oxígeno representa el 21 por ciento del volumen del aire atmosférico o aproximadamente el 24 por ciento en peso, los requerimientos de aire para la combustión del carbón son:

$$\frac{32}{12} \times \frac{1}{0.24} = 11.11 \text{ kg. de aire/kg. carbón}$$

o sea que se requieren aproximadamente 11 kg. de aire para oxidar 1 kg. de carbón.

De la misma forma llegaremos a:

$$34.34 \text{ Kg. de aire/Kg. de hidrógeno.}$$

Y de la misma manera podremos calcular las relaciones de Kg. de aire/Kg. de elemento para cualquier otras sustancias que se encuentren en la basura y pueden influir significativamente en la combustión.

Si tomamos como ejemplo una determinada muestra de basura como la que se presenta en la table 4.1, necesitaremos de la siguiente cantidad de aire para la combustión.

Teniendo en cuenta que una parte de hidrógeno esta combinada con agua y que por lo tanto no participará en la reacción.

$$[(0.2295)(11.11)] - [(0.0325)(0.188)(34.34)] = \frac{2.84 \text{ Kg.de aire}}{\text{Kg.de basura.}}$$

Tabla 4.1 Ejemplo de una muestra de basura.

	%	en peso
Humedad		30.00
Carbón		22.95
Hidrógeno		3.25
Oxígeno (en forma de agua de Constitución)		18.80
No combustibles		25.00
		100.00

Esta sería la relación teórica aproximada de aire necesario para la combustión de la basura, considerando despreciables otras reacciones de oxidación que ocurran.

Como la basura es un material de composición bastante variable este valor teórico no puede ser usado en la práctica, pues puede haber una deficiencia de oxígeno resultando una combustión incompleta y formación de monóxido de carbono e hidrocarburos. Entonces el valor que se usa va del 50 al 300 por ciento sobre el valor teórico calculado, dependiendo de las características de la basura así como el diseño del horno. El exceso de aire también es usado para controlar la temperatura en la cámara de combustión, protegiendo los refractarios que constituyen las paredes del horno. Existe por eso un límite de exceso de aire que en caso de ser sobrepasado perjudicaría la incineración, bajando demasiado la temperatura de combustión, resultando una combustión incompleta con emisión de partículas y sustancias volátiles.

De la misma forma, el control de la temperatura ha sido el principal mecanismo que controla la producción de oxígeno de nitrógeno - - (NOx) por lo que su manejo se ha considerado de gran importancia en la operación de los procesos de incineración.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de combustión se considera en tres etapas:

- Secado, cuando evaporamos la humedad (el grado de humedad varía desde seca hasta saturación).
- Destilación, cuando es absorbida por la basura una gran cantidad de calor despidiéndose así gases (hidrocarburos) y ocurriendo la ignición a 650° - 700°C.
- Combustión del carbón fijo, cuando con calor adicional y la mezcla con las cantidades requeridas de oxígeno, continúa el proceso de combustión hasta una transformación total del carbón fijo en dióxido de carbono quedan

do sólo materiales inertes no combustibles.

Considerando la combustión dentro del incinerador tipo central mostrado en la fig. 4.1, el proceso de secado ocurre en su mayor parte inmediatamente después de la carga de basura. En estos hornos la primera parte del sistema de parrillas es frecuentemente conocido como parrilla de secado. Cuando las basuras son secadas - toma lugar la ignición en la sección usualmente llamada parrilla de ignición. Ambas secciones de parrillas están ubicadas en la cámara de ignición o cámara de combustión primaria. Los gases volátiles y las partículas de carbón no quemadas desprendidas durante la ignición, necesitan más tiempo, turbulencia y temperatura para completar la incineración, que se logra en la cámara de combustión - - (también llamada cámara de combustión secundaria) la cual puede - estar combinada con la cámara de ignición o encontrarse separada - dentro del horno. En la cámara de combustión la temperatura deberá ser por lo menos 800°C y las velocidades de los gases deberán - estar en un rango entre 3 y 12 m/seg. asegurando que haya turbulencia para la mezcla.

El aire para mantener la combustión es suministrado por tres lugares diferentes:

- Por debajo de las parrillas (aire bajo fuego).
- Aire de sobre fuego (introducido sobre la cámara de combustión, teniendo como propósito provocar la turbulencia además de proveer oxígeno.
- Aire infiltrado; entra a través de rajaduras o fisuras y aperturas y es frecuentemente incluido como aire sobre fuego, ver figura 4.2

La proporción de aire bajo fuego y sobre fuego depende - del diseño del incinerador. Los cálculos de combustión para los - desechos sólidos pueden ser hechos en la misma base usada para -

otros combustibles, es decir, convirtiendo la cantidad en peso de basura en capacidad de producción de energía calorífica en Kcal/hr. para lo cual el peso del aire para combustión y gas resultante son más o menos uniformes y fácilmente determinables. La humedad puede ser estimada a partir de características conocidas o pesando y secando una muestra representativa de la basura. El poder calorífico de la basura puede ser determinando, aproximadamente sumando los poderes caloríficos de sus componentes proporcionalmente a los porcentajes en peso respectivos presentes en el material.

Como ejemplo del diseño de un horno de incineración adaptado de "combustión engineering", edición revisada publicada por Combustión Engineering Inc. New York. Supondremos, la incineración en 24 hrs. de 200 toneladas de basura y un poder calorífico de la materia combustible seca de 4000 Kcal/kg. y fijando la temperatura de operación en 1000°C, la velocidad de liberación de calor de 180000 Kcal/m³/hr. (valores basados en la experiencia). tendremos los siguientes resultados:

Poder calorífico de la basura.....	4,000 Kcal/Kg.
Humedad.....	30%
Cenizas y material no combustible.....	25%
Poder calorífico real.....	1,800 Kcal/Kg.
Velocidad de incineración 200 toneladas por día.....	8,333 Kg/hr
Velocidad de incineración en Kcal/hr.....	1500000 Kcal/hr.
Exceso de aire requerido para quema de basura a la temperatura de 1000°C de acuerdo con la fig. 4.A y considerando 30% de humedad tenemos un exceso de aire de.....	100%
Aire teórico basado en el cálculo estequiométrico.....	2.8 Kg aire/Kg basura

Peso total del aire por
 Kg. de combustible.-----5.6 Kg aire/Kg basura
 Peso del agua por
 Kg. de basura.-----0.428 Kg.
 Peso del agua por
 Kg. de combustible.-----0.570 Kg.
 Peso del gas por Kg de
 combustible.-----7.17 Kg. gas/Kg.basura
 Area de parrillas consi-
 derando una velocidad de
 liberación de calor de-
 80000 Kcal/m²/hr.-----18.75 m²
 Velocidad de combustión.-----444.44 Kg/m²/hr.
 Volúmen del horno considerando
 180000 Kcal/m²/hr.-----83.33 m³
 Altura del horno 83.33/18.75.-----4.44 m
 Peso total del aire.-----21000 Kg. aire/hr.
 Volúmen del aire tomadg
 como densidad 1.13 Kg/m³ a
 37.7°C -----303 m³/min.
 Aire suministrado por los
 ventiladores, considerando 15%
 de infiltraciones.-----257.55 m³/min.
 Peso del gas saliendo del horno.---59745 Kg/hr.
 Volúmen del gas tomando la
 densidad del gas de 0.251 Kg/m³ --- 3967 m³/min.

Como se puede observar en el ejemplo anterior, los cál-
 culos presentados son aproximados y algunos factores son tomados -
 de acuerdo con las prácticas de los Estados Unidos. Para cálculos
 más precisos y completos, particularmente con respecto al dimensio-
 namiento del horno, debe hacerse un análisis de cada situación.

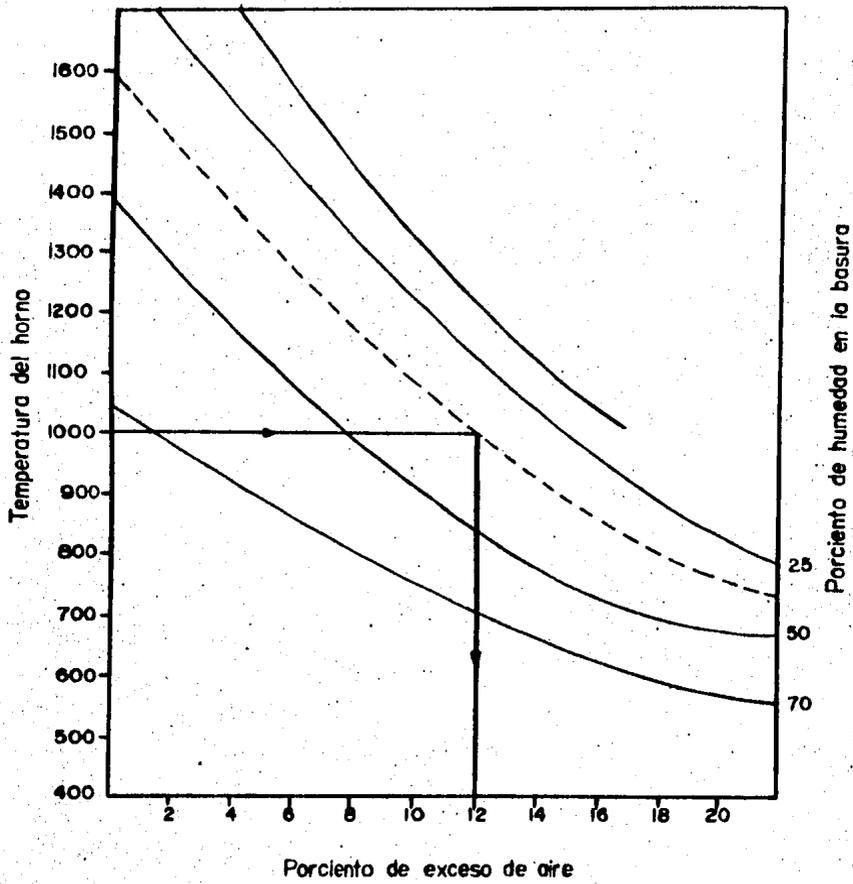


Fig. 4.A Grafica para la determinacion del exceso de aire

4.2.1 Tipos de Incineración e Incineradores

La incineración de residuos sólidos puede llevarse a cabo a cielo abierto y en un lugar semiabierto ó cerrado.

En la incineración tipo abierto la combustión no es controlada, ni se reducen las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

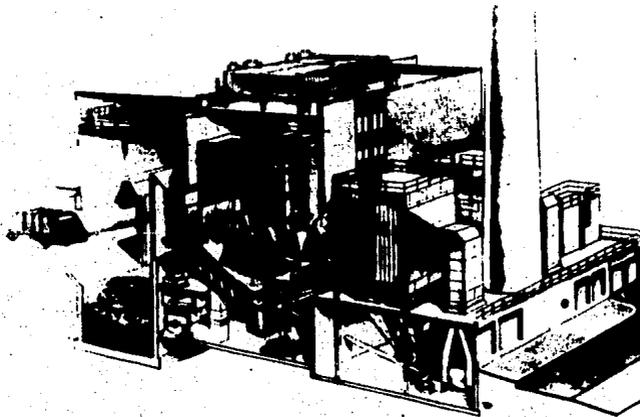
Para el segundo tipo se utilizan incineradores tipo teepee su construcción no pasa de ser una cobertura metálica cónica colocada sobre la pila de basura en combustión realizando la alimentación mediante tractor o banda transportadora.

Hoy en día el tipo de incineración se efectúa en ambientes cerrados, en éstos la combustión ocurre dentro de un compartimento cerrado en forma cilíndrica o rectangular y formado generalmente por una base metálica en forma de parrillas fijas o móviles, con paredes y techos de material refractario ó de camisas de agua. La quema en este tipo de incineradores es controlado básicamente por medio de la velocidad de alimentación y suministro del aire para la combustión.

Los incineradores se pueden dividir según el tipo de operación en continuos e intermitentes.

4.2.1.1 Intermitentes

Estos son de menor capacidad menos de 250 toneladas y cada carga de basura es alimentada al horno, quemada antes de proceder a otra carga. Un esquema de este tipo de incinerador se muestra en la figura 4.2 como anteriormente se mencionó éste tipo de incineradores es utilizado en plantas pequeñas y con baja eficiencia térmica y a su vez se dividen en hornos rectangulares y cilíndricos. Los primeros son de 2 ó 4 compuertas de recarga en el techo, los desechos son quemados en parrillas inclinadas fijas y con movimiento alternado,



Cut-away view of incineration plant

Fig.4.1 Incinerador Tipo central

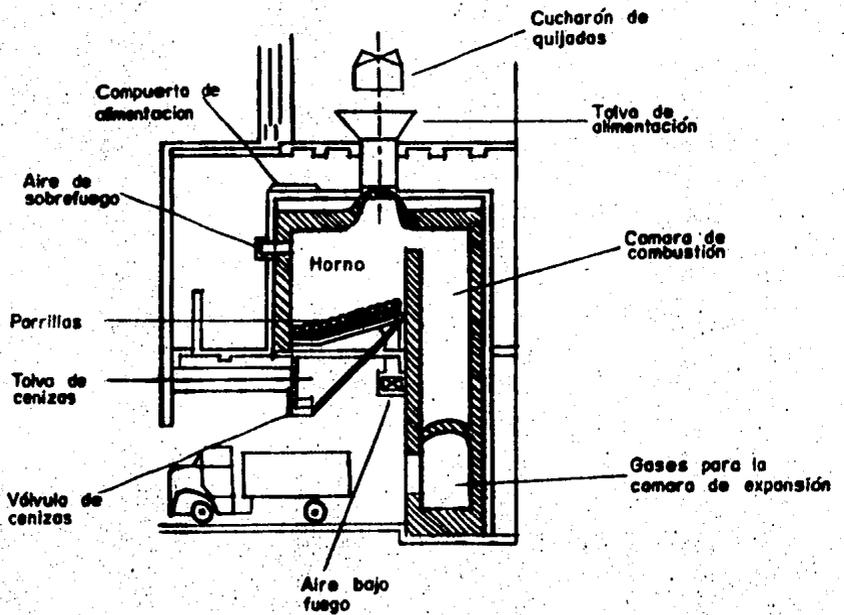


Fig. 4.2 Incinerador Intermitente

para agitar el material combustible y mover la escoria hacia la parte delantera donde las parrillas de basura están colocadas. Los hornos cilíndricos están diseñados de tal manera que una tolva coloca los desechos en el centro de una parrilla circular sobre un cono el cual provee la admisión de aire y de combustible. El cono tiene un movimiento de rotación y está provisto de brazos que proporcionan una agitación a la camada combustible así como también expulsa el residuo ó escoria de la combustión a la periferia, provista de parrillas de descarga.

4.2.1.2 Continuos

En los hornos de alimentación continua, la carga es introducida constantemente y regulable, así como la descarga de los residuos de la quema. Este tipo es el utilizado en los incineradores modernos de gran capacidad, en virtud de la mayor eficacia y menos problema en el mantenimiento del refractario ya que no están sujetos a choques térmicos como en el tipo intermitente, un incinerador de este tipo se muestra en la figura 4.3. Este tipo de hornos también pueden dividirse en cuanto al tipo de la cámara de combustión ya que puede tener una sola o varias. Hoy en día son usados los de cámara múltiple que permiten mayor eficacia de quema y menor contaminación atmosférica.

La mayor diferencia entre los tipos de hornos de alimentación continua radica en las parrillas. Los factores importantes a considerar en la selección de refractarios son: costo, resistencia física, resistencia de calor, choques térmicos y mecánicos, resistencia al escoriamento, astillamientos, acciones abrasivas y rompimiento en general. Los dos factores que producen el mayor problema de costo de mantenimiento son: el escoriamento y el astillamiento de los refractarios. Las paredes de agua han sido utilizadas cuando se

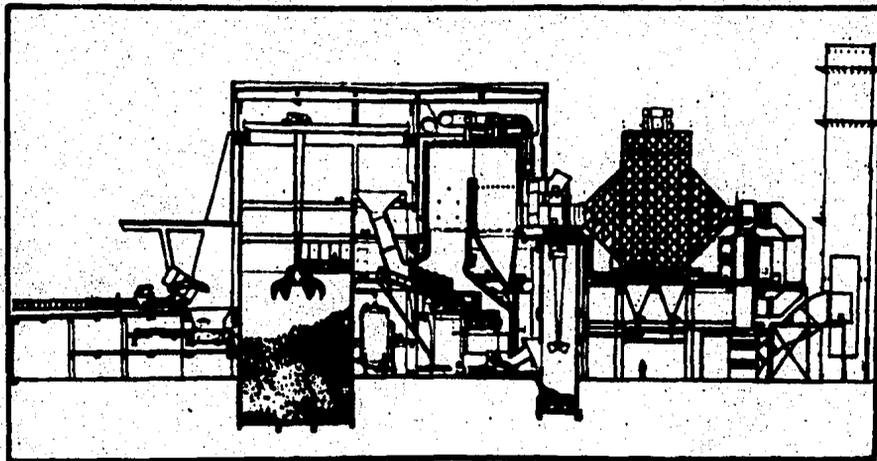


FIG.4.3 INCINERADOR DE ALIMENTACION CONTINUA

cuenta con la posibilidad de recuperación y utilización de calor, - así cuando con refractario se requiere de 100 a 300 por ciento de -- exceso de aire, con paredes de agua solo se requiere de 25 a 30 por ciento para obtener altas temperaturas aunque uno de los problemas es la corrosión.

Dentro de la recuperación de los materiales ya manejados se consideran las cenizas, la escoria, las latas y la chatarra. Diferentes aparatos pueden ser utilizados para la separación de estos materiales pero todos utilizan el principio de atracción magnética por imanes permanentes o electromagnéticos. Las cenizas existentes en los residuos de la combustión pueden ser utilizados como abono debido a su riqueza en potasio, calcio y fósforo y en la industria de la construcción, donde se utiliza como agregado ligero para el concreto.

En el aprovechamiento de calor generado en la combustión de basura es necesario la instalación de una caldera, dependiendo del diseño de la caldera, ésta puede ser complementada con economizadores o precalentadores. Otra ventaja de la recuperación de calor es la referente a la disminución de la temperatura de los gases de la combustión. La temperatura más baja de los gases aumenta la eficacia de los lavadores y permite el empleo de otros sistemas con la limitación de temperatura como los precipitadores electrostáticos.

Al mismo tiempo que la incineración produce un residuo sólido, produce también un residuo gaseoso, compuesto de una mezcla de gases y partículas sólidas, algunos de los gases son considerados como taminantes y deben ser sometidos a un proceso de tratamiento antes de descargarse al medio ambiente.

Este tratamiento debe efectuarse con equipos especiales de control ubicados en el camino de los gases hacia la chimenea.

4.2.2 Dispositivo para separación de partículas

Existen varios dispositivos que son utilizados para la separación de partículas, que son de gran ayuda por su eficacia y poder de separación, entre ellos se encuentran: los separadores centrifugos, precipitadores electrostáticos, dispositivos húmedos etcétera.

4.2.2.1 Separadores centrifugos

Los separadores centrifugos son los dispositivos más ampliamente usados para separar material particulado grande y mediano (10μ a 50μ) y partículas de aerosol, estos dispositivos se muestran en la figura 4.4. Hay dos tipos básicos; el multiciclón y el ciclón. El primero está constituido de numerosos tubos colectores con entrada axial, están unidos dentro de recipientes de chapa para recibir las partículas - acarreadas por el gas.

La entrada rotacional, imparte un movimiento giratorio al gas - creando un movimiento fuerte en espiral dentro de cada tubo. Este movimiento centrifugo separa las partículas de la corriente de gas, - que sale limpio. El material una vez separado, desciende a la salida inferior y se sedimenta en la tolva de partículas.

El ciclón opera con los mismos principios básicos que el multiciclón. La eficiencia de separación es baja para partículas menores de 10μ . Estos dispositivos utilizados durante mucho tiempo, no son generalmente utilizados en la actualidad sobre todo en países desarrollados, ya que normalmente alcanzan las eficiencias requeridas por la nueva legislación ambiental. Además, no tiene efecto alguno en la remoción de gases a menos que sean operados después de la adición de reactivos formando parte de un lavado de gases en seco.

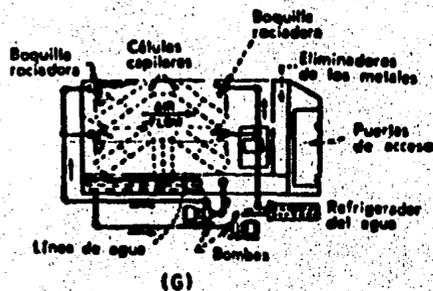
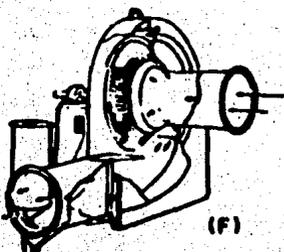
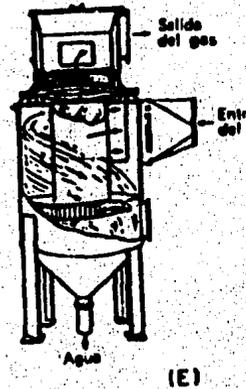
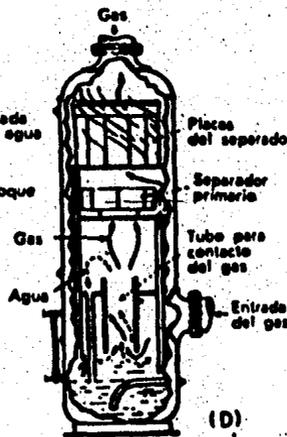
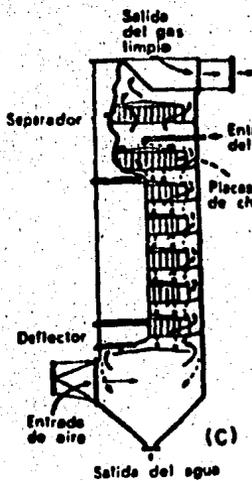
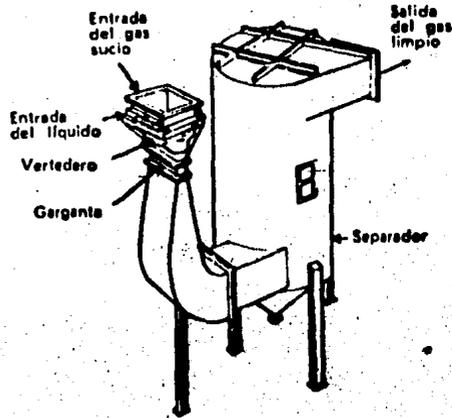
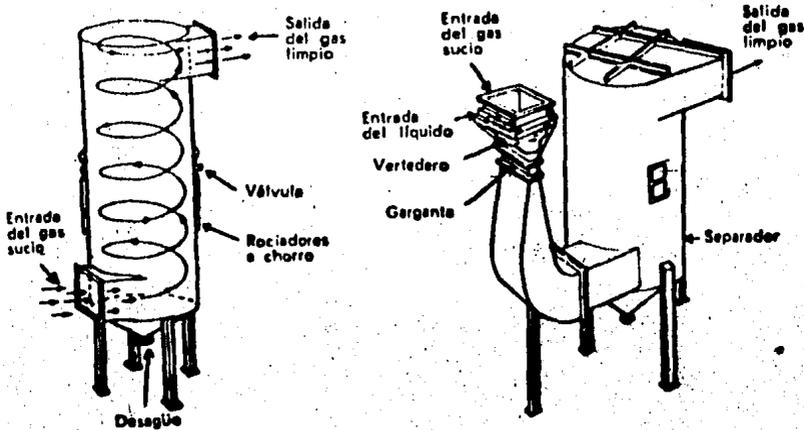


Fig. 4.4 -Depuradores y lavadoras. (A) Depurador ciclónico Airetron/Mikro (maquinaria de pulverización). (B) Depurador Venturi Airetron/Mikro (maquinaria de pulverización). (C) Depurador de lavado múltiple (Claude B. Schneible Co.). (D) Constrictor del torbellino de líquido (Blaw Knox Co.). (E) Depurador de tipo hidrociclónico (Whiting Corp.). (F) Depurador centrífugo (Schmiegl Industries). (G) Filtro húmedo (Air and Refrigeration Corp.).

4.2.2.2 Colector húmedo

El colector húmedo o lavador es utilizado en muchos diseños, el principio es humedecer la partícula para que sea removida del flujo de gas. Esto se logra haciendo pasar el flujo de gas a través de una cortina de asperción líquida, entonces las partículas son retenidas por el rocío líquido que limpia el gas cargado de partículas y los gases son removidos, mientras que los gases insolubles se escapan.

4.2.2.3 Cámara de sedimentación con cortina de agua

Este sistema consiste en aumentar el tiempo de recorrido de las partículas sólidas en su camino a la atmósfera mediante una cámara, en la que se disminuye la velocidad del flujo con alguna solución líquida, precipitando las partículas sólidas, para ser removidas por mecanismos hidráulicos que limpien la cámara a determinados intervalos de tiempo.

4.2.2.4 Torres lavadoras

En este sistema el líquido no se dispersa en el gas sino que fluye como una película sobre la superficie colectora. Los efectos de humidificación o condensación, la acción del líquido en esos casos consiste simplemente en barrer la superficie colectora para evitar el rearrastre por el gas, del polvo ya separado, teniendo lugar la recolección o separación real por una acción mecánica determinada, los dispositivos húmedos generalmente utilizados para separar partículas sólidas se muestran en la figura 4.5.

4.2.2.5 Precipitador electrostático

El principio de separación electrostática se basa en el hecho de

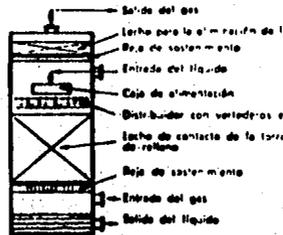
que, si uno o más de los materiales de una mezcla granular pueden recibir una carga superficial al entrar a un campo electrostático o antes de ello, los granos de ese material serán repelidos por uno de los electrodos y atraídos hacia el otro, según el signo de la carga de los granos. Al hacer que esos granos caigan a canales separados, se produce una concentración o separación.

Los principales mecanismos de electrificación para la separación de sustancias sólidas se pueden dividir en 3 grupos; electrificación por contacto, electrificación por inducción conductiva y electrificación por bombardeo de iones.

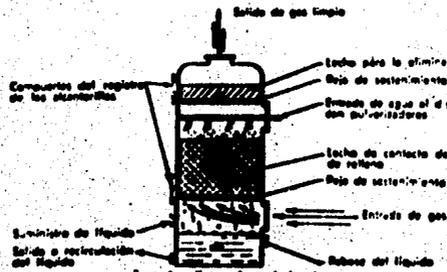
En la carga por contacto de partícula a partícula, el área de contacto suele ser muy pequeña y es necesario proporcionar algún método mecánico para producir contactos repetidos, con el fin de que se acumule una carga superficial promedio apreciable en las partículas.

En la electrificación por inducción conductiva, si se pone una partícula sobre un conductor conectado a tierra, en presencia de un campo eléctrico, la partícula desarrollará rápidamente una carga superficial por inducción. Tanto si la partícula es conductora como si es dieléctrica, se podrá considerar como más o menos polarizada.

En el mecanismo por bombardeo de iones, los iones móviles los proporciona un electrodo de ház, que produce una descarga de corona, mientras que simultáneamente, concentra esa fuente de iones móviles en una dirección dada. Si se ponen en la trayectoria de esos iones móviles una partícula dieléctrica y otra conductora, una porción de la superficie de cada una de ellas recibirá una poderosa carga eléctrica. En el conductor, la redistribución de la misma carga será muy lenta, este mecanismo para la separación de partículas se muestra en la figura 4.6.



Torre de refina convencional a base de lecho o con vertederos y con distribuidor de vertederos en V



Torre de refina a base de lecho o con vertederos que utiliza un distribuidor a base de una serie de pulverizadores rotatorios

Fig. 4.5 Torres lavadoras

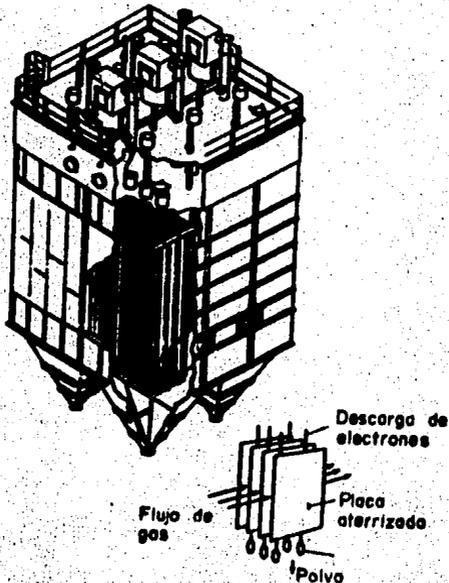


Fig. 4.6 Precipitador electrostatico

4.2.2.6 Colectores de Tela.

En este mecanismo se hacen pasar los gases cargados de polvo por un tejido que retiene el polvo y deja pasar los gases. En realidad la separación no es una simple filtración, ya que los poros de la tela suelen tener dimensiones mucho mayores que el tamaño de las partículas separadas. Cuando los gases cargados de polvo pasan por primera vez por la tela, el rendimiento de separación será pequeño hasta que se hayan separado suficientes partículas para formar lo que corresponde a una capa previa en los poros del tejido, el succimiento suele hacerse por medios mecánicos, estos dispositivos se muestran en la figura 4.7

4.2.2.7 Cámaras de Sedimentación.

Las cámaras de sedimentación son otro tipo de mecanismos utilizados para la separación de partículas sólidas. La separación se realiza esencialmente mediante la acción de la gravedad. Los estanques de sedimentación generalmente tienen dos puntos débiles que son; el mantenimiento de la cámara y que puede haber debilitamiento de la base y la posible aparición de grietas, de las que podrían derivarse problemas de contaminación masivas. El otro aspecto que requiere atención es el del líquido que entra en la zona de sedimentación y sufre desviaciones, la forma esquemática de una cámara de sedimentación se muestra en la figura 4.8

4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

El proceso de eliminación de residuos sólidos mediante el método de incineración presenta grandes ventajas y desventajas, ya que con éste se logra reducir considerablemente la cantidad de basura disponible obteniendo material relativamente fácil de manejar, sin riesgo de descomposición y ausencia de malos olores, así como el ahorro

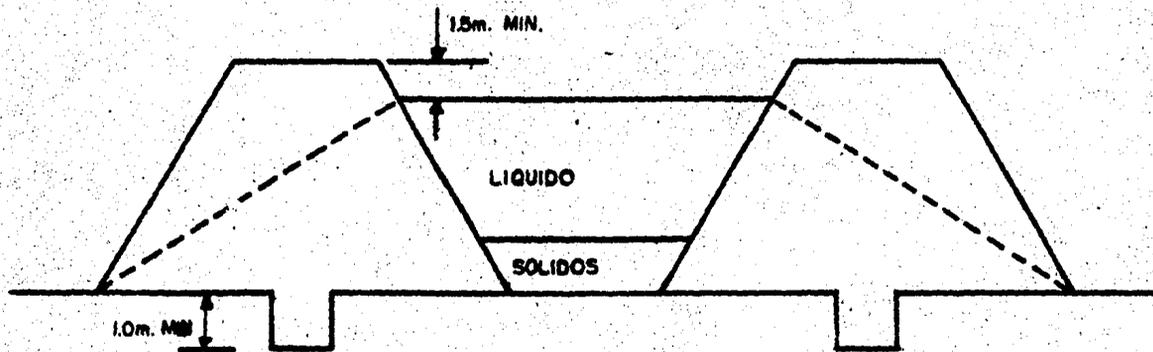


Fig.4.3 Estanque de sedimentación

en términos económicos del costo de transportación de los desechos a lugares cada vez más alejados de los centros urbanos, ya que de manejar los residuos dentro de alguna comunidad repercutiría de alguna forma en el aspecto social y sanitario creando focos de infección que ponen en peligro la salud humana así como la creación de plagas y animales que alteran de alguna forma el medio ecológico.- En cuanto a la recuperación de energía parece ser el camino más viable para el aprovechamiento de la energía liberada durante el proceso de incineración, aunada a la cantidad de energía que representa el utilizar diferentes tipos de combustible con distinto poder calorífico que de aprovecharse adecuadamente nos reditua grandes beneficios en cuanto al aspecto transformación de energía calorífica en vapor y éste a su vez en energía mecánica.

De la misma manera que la incineración nos muestra grandes ventajas en su utilización, asimismo presenta desventajas, principalmente en el aspecto ambiental debido a que los gases emitidos a la atmósfera durante este proceso, gran cantidad de ellos son tóxicos y algunos nocivos a la salud, otra gran desventaja es el alto costo de operación así como en el equipo de control que se encarga de reducir y controlar la emisión de partículas al medio ambiente.

Estas son algunas de las ventajas y desventajas que nos da el utilizar el método de incineración y la manera de aprovecharlos en beneficio propio. Con el equipo de control adecuado así como con el buen mantenimiento que se le da a una planta incineradora, se pueden resolver los problemas que presente el manejar, cada vez -- una cantidad mayor de desechos sólidos.

4.4. APLICACIONES Y ALTERNATIVAS EN NUESTRO MEDIO.

La principal forma de recuperación o separación de recursos de los desechos sólidos consiste, en recuperar el calor generado a --

partir del proceso de incineración.

La primera solución consistió en recuperar la energía que estaba contenida en los residuos, suministrándolos, como combustible a las calderas normales. El intento de quemar las sustancias de desecho en calderas no solo no tuvo éxito, sino que en la actualidad es ilegal en muchas zonas.

Entre las varias posibilidades para recuperar calor de desechos de la incineración, están el quemador de masas en horno de pared refractaria con calderas de calor residual colocadas en la corriente de gases de la combustión, el quemador de masas en hornos con pantallas de agua, con la superficie de convección anexa a la corriente de salida, preprocesamiento de residuos y separación de la parte combustible, la combustión tiene lugar en una caldera tipo utilitario, parcialmente sobre una parrilla y parcialmente en forma de suspensión.

Algunos factores que deben considerarse en el diseño y selección de los sistemas de recuperación de calor son la eficiencia de la caldera, el diseño de la cámara del horno y el aire de combustión suministrado. Mientras que en las plantas más antiguas con calderas de calor de desecho instaladas en la corriente de gases, la producción promedio es de 1.5 a 1.8 libras por libra de desecho. En los hornos modernos de pantalla de agua y en las unidades de fuego en suspensión, la producción de vapor es del orden de 3 libras por libra de desecho la menor eficiencia en las unidades caldera de calor de desecho se debe a las mayores pérdidas de calor en los afluentes de la chimenea de la planta, motivados por el mayor exceso de aire requerido para controlar, en forma adecuada, las temperaturas de combustión en el horno refractario primario.

Como anteriormente se ha mencionado, uno de los caminos para la

eliminación de los desechos sólidos es quemarlos. Sin embargo - el proceso nos genera demasiada ceniza y gases, estos últimos se deben a las altas temperaturas en el horno de la cámara de combustión. Las cenizas se pueden considerar estériles sin riesgo de descomposición y pueden ser usadas para otro propósito como puede ser; relleno sanitario o como abono. Por otro lado los gases pueden ser eliminados, si estos son llevados a través de una zona de temperaturas suficientemente altas aproximadamente 800°C. Posteriormente estos gases deben ser enfriados y limpiados antes de ser descargados a la atmósfera. Este proceso consiste en una filtración, enfriar los gases a 300°C aproximadamente, es usual hacerlo por inyección de agua y adicionando aire frío. Los gases calientes restantes son removidos sin ser utilizados. La aplicación más importante de calor generado por una planta de incineración, es el de generar vapor. Es sabido que el incremento de desechos sólidos es muy grande año con año, por lo cual este recurso puede ser utilizado. El valor calorífico de los desechos sólidos, tiene casi el mismo poder calorífico que el del carbón; por lo que es importante tomar en consideración los desechos sólidos para la generación de vapor y energía.

Suponiendo un poder calorífico de 9187 KJ/KG. (2200 Kcal/Kg) y una eficiencia de caldera de 65 por ciento. Una tonelada de desechos produce a proximadamente 2.3 toneladas de vapor, este vapor puede llevarse a través de una turbina y producir arriba de 500 KWH.

En algunos países europeos se ha tenido éxito en la recuperación de calor, esto mismo puede aplicarse en México ya que la cantidad de desechos se incrementa cada día más y se hace necesario aprovecharlos de alguna forma.

El vapor saturado es generado a presiones de 10.5 Kg/cm^2 a altas temperaturas, el máximo porcentaje de evaporación de una caldera es de 31.8 toneladas de vapor por hora con una eficiencia aproximada de 57.8 por ciento, el poder calorífico de los desechos es de 5000 BTU/lb. cada horno producirá 24.4 MW ó 57 millones de KJ/hr.

Específicamente en la planta incineradora de Ciudad Universitaria la incorporación de una planta generadora de vapor sería favorable para abastecer de agua caliente a gran parte de las instalaciones dedicadas a actividades deportivas, por otra parte la generación de energía eléctrica puede ser otra alternativa. Para este propósito es utilizado el principio del ciclo Rankine, que se muestra en la figura 4.9.

Otra aplicación del calor generado por una planta incineradora es llevarlo a las industrias por medio de una tubería especial, de acuerdo al comportamiento del flujo de calor, podemos diseñar el tubo con un espacio de aire entre el interior y el exterior del tubo. El desague instalado directamente en la tierra o a través de un canal.

Este sistema de flujo y regreso en el tubo está diseñado de tal forma que se puede volver a calentar el agua que regresa por el espacio exterior del tubo formando un sistema de recirculación, este sistema se muestra en la figura 4.10 y puede si así se requiriera ser utilizado en Ciudad Universitaria para el propósito antes expuesto.

Este diseño cada vez más reconocido puede ser más eficiente y por un sistema que libre la turbación y pérdidas de transferencia de calor a través de lo largo del sistema, esperando no exceder de 150 W/hr. tomando del ambiente temperaturas de 5°C . Un esquema real de producción de energía por medio de desechos sólidos se encuentra en Uppsala (Suiza) este sistema se muestra en la figura 4.11.

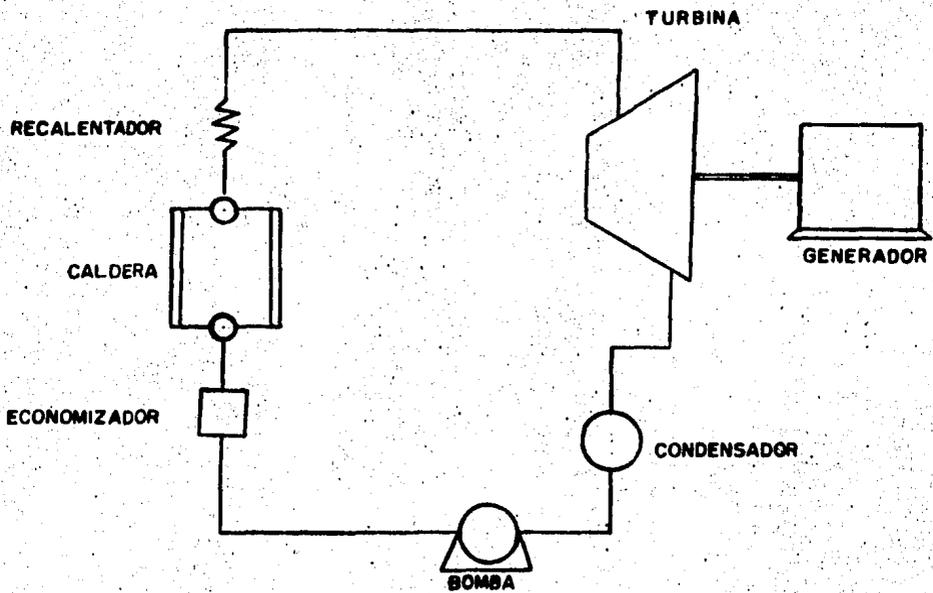


FIG 4.9 APROVECHAMIENTO DE GENERACION DE VAPOR MEDIANTE EL CICLO RANKINE

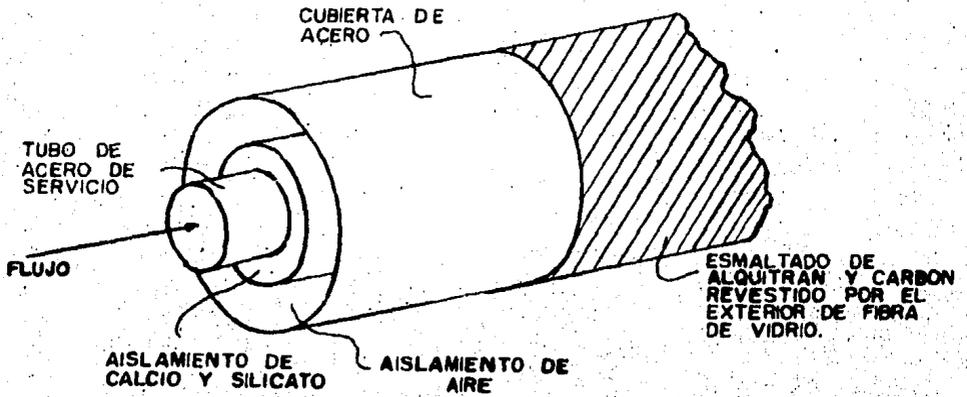


Fig. 4.10 Conducto aislante para transportar el calor.

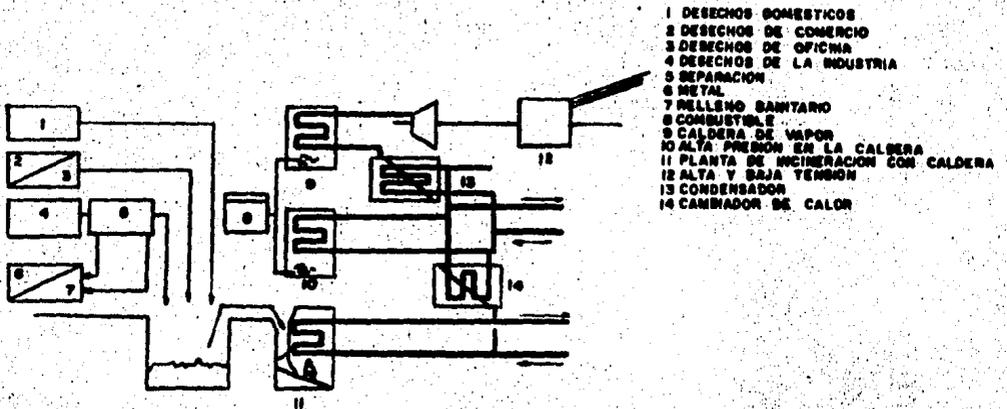


Fig. 4.11 Producción de energía por medio de desechos

5.- PLANTA INCINERADORA DE CIUDAD UNIVERSITARIA

En la actualidad en Ciudad Universitaria, como en todas las poblaciones importantes se ha agravado el problema de la recolección y disposición final de los desechos sólidos ya que ha aumentado tanto en volumen como en el número de sus componentes a medida que la población estudiantil se incrementa.

Debido a esto una de las medidas que se han tomado para disminuir dicho problema, ha sido la construcción de la planta incineradora de desechos sólidos de la U.N.A.M.

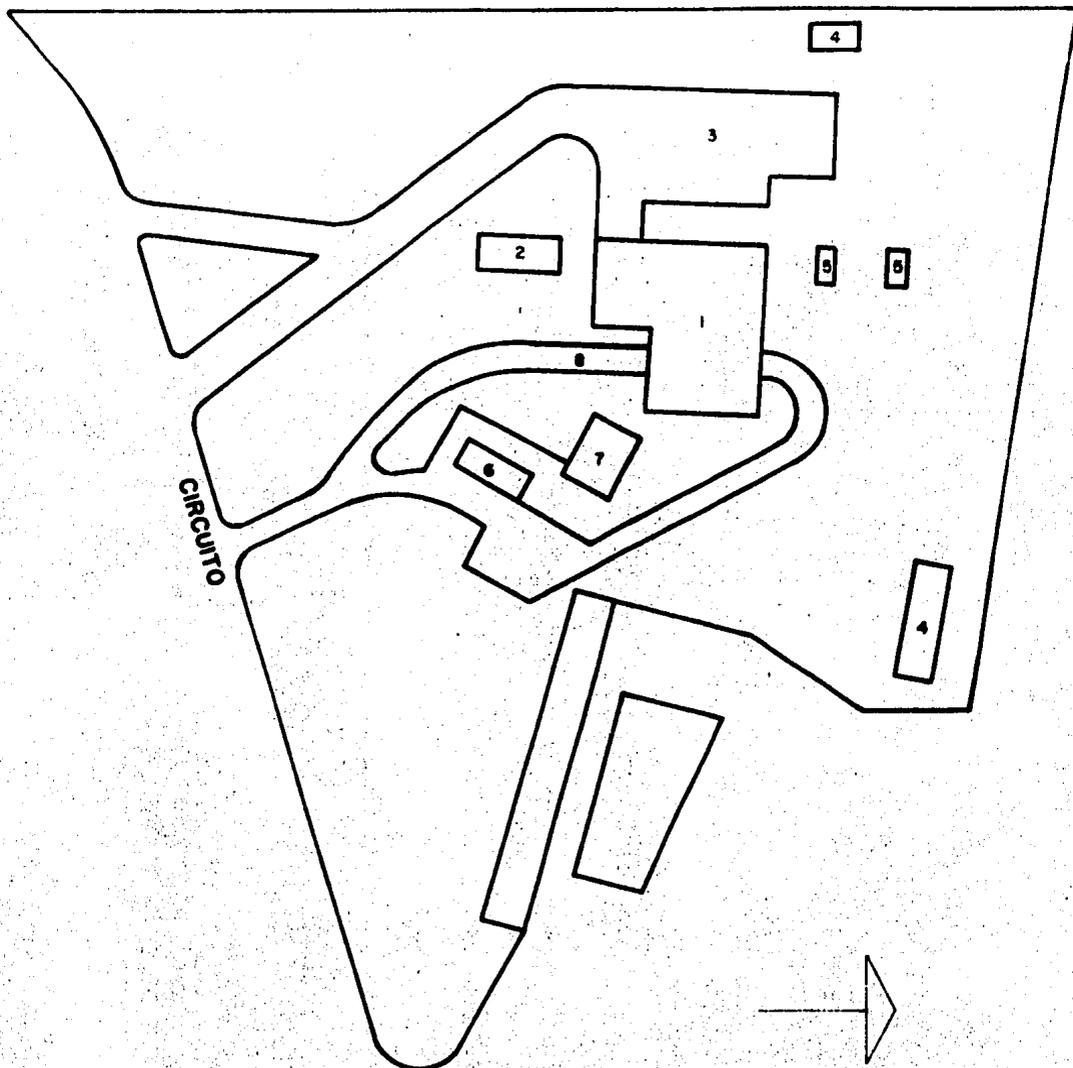
5.1 DESCRIPCION DE LA PLANTA

La planta incineradora de desechos sólidos se encuentra localizada en un área de 13,500m² dentro de los terrenos de Ciudad Universitaria localizada al sur-poniente de la avenida Insurgentes, como se

muestra en la figura 5.1 en la que se presenta un esquema general de la planta, la cual podemos dividir en cinco zonas principales -- que son:

- Zona de recepción, con una superficie aproximada de 13,000m² y -- consiste esencialmente en un patio de maniobras y una plataforma donde se descargan los desechos sólidos de los vehículos de -- transporte. En la zona se puede considerar una área de almacenaje donde son depositados los desechos por determinados periodos hasta que puedan ser procesados.
- Zona de selección, donde se separan manualmente algunos subproductos como vidrio, metal, hule y madera, esta zona esta compuesta -- por una plataforma intermedia entre el sitio de recepción y las -- tolvas de carga de los incineradores y cuatro compartimientos en donde se almacenan los subproductos seleccionados, el material no recuperable pasa de la zona de selección a la zona de incinera--- ción.
- Zona de incineración, consta de una área de 200m², constituidos -- por dos tolvas captadoras de basura que a su vez, la conducen a -- dos unidades de incineración (hornos de tabique refractario) con cuatro quemadores Diesel tipo cañon cada uno. Las cenizas produc-- to de la incineración, se descargan por el fondo de cada uno de -- los hornos, los que estan asentados sobre unas tolvas para cenii-- zas, estas a su vez, estan ubicadas al centro de un túnel con an-- cho de 3.85m y 4m de alto. Para la extracción de cenizas, se cons-- truyó un acceso con un ancho de 4m y longitud de 107m en forma de circuito cerrado con sentido de sur a norte.
- Zona de tanques de combustible, localizada al oeste de la zona de recepción y al norte de la de selección, cuenta con dos tanques -- para Diesel con capacidad de 20,000 litros cada uno.
- Zona de servicios, cuenta con una superficie de 40m², donde se lo

CAMPOS DEPORTIVOS



- 1 INCINERADOR
- 2 OFICINA
- 3 PATIO DE MANIOBRAS
- 4 CISTERNAS
- 5 TANQUES DE DIESEL
- 6 EQUIPO DE BOMBEO
- 7 BOMBEO
- 8 ACCESO EXTRACCION DE CENIZAS

PLANO DE CONJUNTO
PLANTA INCINERADORA DE BASURA
C. U.

FIG. 5.1

caliza la caseta de vigilancia, la bodega de herramientas así como baños y vestidores.

Es conveniente mencionar que dentro de las instalaciones de la -- planta se localiza uno de los pozos que abastecen de agua potable a la Universidad y junto al cual fue provista una pequeña área para es tacionamiento.

5.2 DESCRIPCION DE OPERACION

La operación del sistema se puede resumir como sigue: La basura - es descargada por los vehículos de recolección y transporte en la zo na de recepción.

Los subproductos recuperables son separados manualmente del total de los desechos y depositados en los compartimientos respectivos, -- principalmente vidrio y metal los cuales son vendidos a compradores particulares.

Los desechos al ser incinerados son depositados en la tolva de -- alimentación para luego ser vaciados a la cámara de combustión. El proceso de combustión en el incinerador que es de cámaras múltiples se inicia en una cámara primaria en la que se descargan los residuos sólidos, dicha cámara se conoce como cámara de ignición, la carga de dicha cámara se lleva a cabo en forma manual a través de la compuerta y los residuos se depositan sobre las rejillas que se encuentran en el fondo de esta. En este momento se enciende el arco voltaico - de los quemadores (piloto) que al ser detectado por las células fotoeléctricas abre el paso al combustible iniciándose la combustión. En esta cámara tiene lugar la desecación, la ignición y la combustión - de los residuos sólidos.

A medida que se va produciendo la cremación, la humedad de los compo - nentes volátiles del combustible se evaporan y se oxidan parcialmen - te al salir de la cámara de ignición. Posteriormente estos compues--

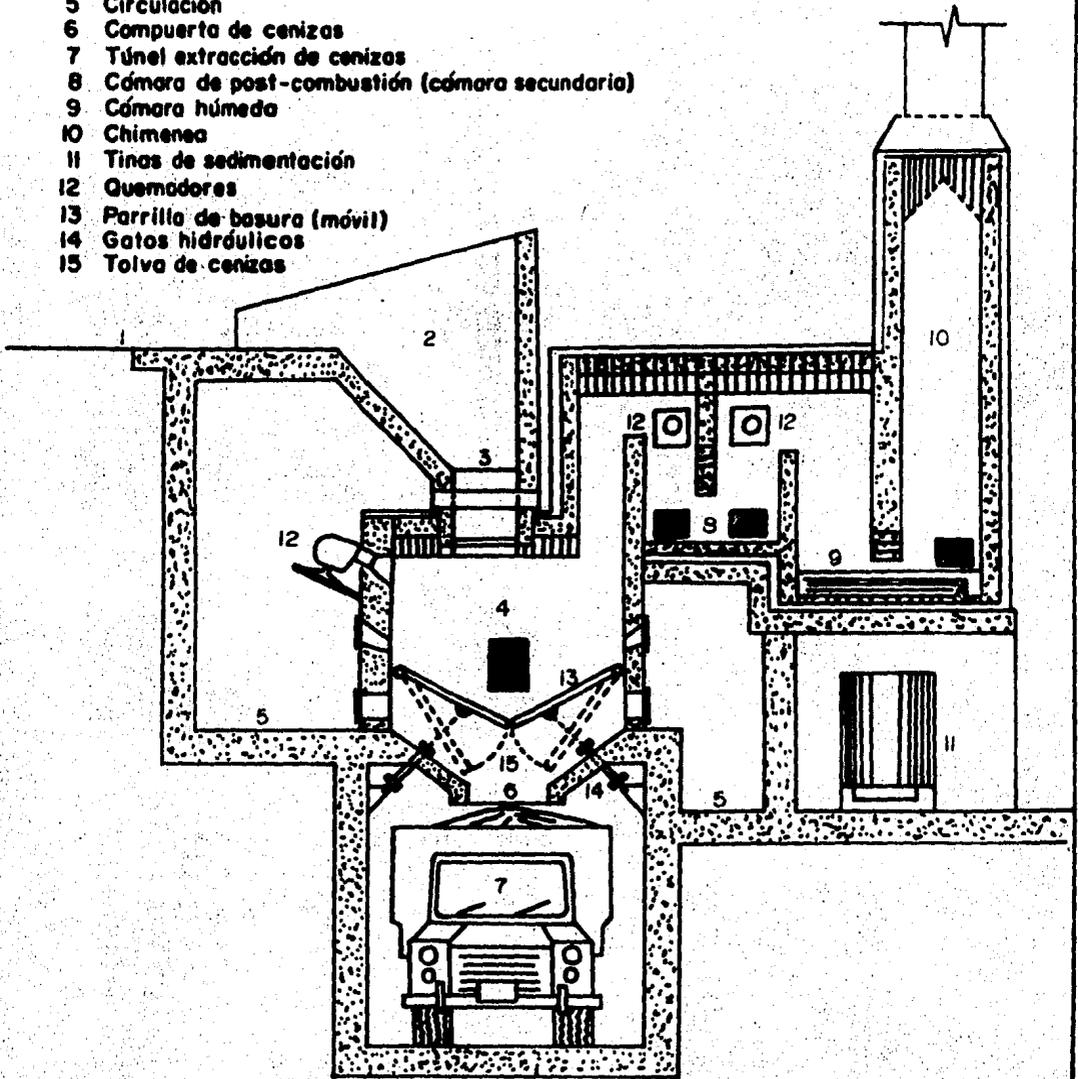
tos volátiles pasan a una segunda cámara provista de un quemador secundario el cual enciende al mismo tiempo que el que se encuentra en la cámara de combustión, la turbulencia que se produce en esta cámara, como consecuencia de la existencia de zonas que tienen menos aire, así como los cambios violentos en la dirección de la corriente, hacen que la reacción de la combustión sea casi completa.

En la tercera cámara, conocida como cámara de combustión final, - existe también al igual que en la primera cámara, una pared refractaria o muro de revestimiento (mampara), que la separa de la segunda cámara. Las cenizas volátiles y otras partículas sólidas de materia son recogidas en la última cámara al chocar con las paredes o por sedimentación gravitatoria, así como por la misma velocidad con la que vienen de la segunda y tercera cámara, siendo atrapadas en una charola de concreto con una lámina de agua. Por último se descargan los gases a través de una chimenea, la importancia de la existencia de varias cámaras y paredes de separación en el incinerador estriba que con ello se introducen un cierto número de cambios en la dirección de la corriente de los productos de la combustión, con lo que se consigue una mejor mezcla, así como la retención, de cualquier partícula de materia antes que sea descargado en la atmósfera.

La parte inferior del horno está formada por parrillas de acero-níquel-cromo resistente a altas temperaturas, y mecanismos hidráulicos para subir y bajarlas para la descarga de las cenizas, por lo tanto después de terminada la combustión de la basura y pasado el tiempo necesario para reducir la temperatura de las cenizas, estas son depositadas en camiones de volteo a través de las tolvas de descarga y transportadas hasta sitios de disposición final como materia inerte. El sistema de operación y elementos principales del incinerador se muestra en la figura 5.2.

ELEMENTOS PRINCIPALES DEL INCINERADOR

- 1 Zona de selección (reciclado)
- 2 Tolva de basura
- 3 Compuerta de basura
- 4 Cámara de combustión (cámara primaria)
- 5 Circulación
- 6 Compuerta de cenizas
- 7 Túnel extracción de cenizas
- 8 Cámara de post-combustión (cámara secundaria)
- 9 Cámara húmeda
- 10 Chimenea
- 11 Tinajas de sedimentación
- 12 Quemadores
- 13 Parrilla de basura (móvil)
- 14 Gatos hidráulicos
- 15 Tolva de cenizas



 Registro de mantenimiento y oxigenación

Fig. 5.2

5.3 IDENTIFICACION DE PROBLEMAS OPERACIONALES

Muchos y muy variados han sido los problemas que desde su inicio se han presentado en la planta incineradora de basura, los cuales - mediante mantenimiento adecuado y cambio en el diseño original se - han resuelto favorablemente, logrando con esto que el sistema operativo de incineración sea cada vez más eficiente.

5.3.1 Antecedentes generales de la planta Incineradora.

La planta de Incineración inició sus operaciones el día primero de Marzo de 1984. Cuenta con una capacidad de diseño de 1,300 Kg/hr de basura seca en cada horno, utilizándose estos al 80 por ciento de su capacidad a fin de evitar aumentos considerables en la temperatura de los hornos.

La operación y mantenimiento de la planta se realizó con una plantilla de 16 personas. Un jefe de planta, dos operadores, un auxiliar de mantenimiento, cuatro personas para la selección y carga de basura, dos vigilantes, dos veladores, un vigilante día domingo y tres - jardineros, existiendo únicamente un turno de trabajo de lunes a - - viernes y medio día los sábados.

El flujo de basura es variable cada día de la semana teniendo - - aproximadamente una recepción de basura por día, como se muestra en la tabla 5.1. Esta cantidad de basura nos da una utilización del 75 al 80 por ciento de la capacidad de la planta en un solo turno misma que se ve incrementada al 100 por ciento con la basura húmeda en temporadas de lluvia.

5.3.2 Identificación de problemas operativos.

Para que la planta de incineración trabaje eficientemente se han

Tabla 5.1 FLUJO DE BASURA A LA PLANTA INCINERADORA

DIA	PESO APROXIMADO (TONELADAS)	NO. DE CARGA POR INCINERADO
Lunes	14	7
Martes	28	14
Miercoles	18	9
Jueves	18	9
Viernes	28	14
Sábado	3	1
Total	104	54

tenido que superar varios problemas relacionados con el diseño y operación de esta, los cuales pueden atenuarse de diferentes formas dando como consecuencia un mejoramiento general del proceso, así como el aprovechamiento de recursos generados por la misma.

Entre los problemas que se han encontrado, consideramos los siguientes como los más importantes:

- Exceso de consumo de combustible.
- Problemas en la apertura y cierre en la compuerta de alimentación a la cámara de combustión.
- Corrosión en la tubería que alimenta a la cámara de atrape de cenizas.
- Falta de control de la temperatura del horno.
- Deterioro frecuente de las fotoceldas en los quemadores.
- Problemas de volatilización de cenizas durante la descarga.
- Separación de desechos.

5.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A continuación se presentan algunas alternativas y cambios que se han realizado para el mejoramiento del proceso de incineración, así como los problemas que representarán hacer estos ajustes que de cierta forma modificaron el diseño original.

5.4.1 Alto costo y exceso de combustible

Dentro de los problemas operacionales de la planta de incineración consideramos que el de mayor importancia debido a las características económicas, ambientales y energéticas es el de la utilización de combustible.

Actualmente se está utilizando diesel para la combustión de los de

sechos sólidos y las características de este combustible son: El diesel es un hidrocarburo líquido más pesado que la querosina, su peso específico varía de 0.82 a 0.90 con poder calorífico de 18,000 a 19,200 BTU/lb. y densidad $\rho = 49.92 \text{ lb/ft}^3$ (800 Kg/m^3). El problema de utilizar este combustible radica en el costo mensual que se tiene en la planta, ya que el precio del diesel es de \$31.20/litro y de acuerdo al consumo de combustible se tiene un gasto de \$930,490/mes. Lo que representa al año un costo de \$11,165,880.00 trabajando 60 hrs. a la semana y además considerando que se mantiene estable el precio del diesel.

Otro de los problemas primordiales de utilizar este combustible es la alta emisión de gases contaminantes a la atmósfera como el ácido sulfúrico entre otros, que además de crear problemas socioambientales se crean problemas corrosivos en el sistema.

A continuación se presenta un análisis comparativo entre diesel y otros combustibles.

5.4.1.1 Combustóleo

El combustóleo es un combustible más pesado que el diesel su empleo es generalmente en aparatos generadores de vapor o en industrias que requieren este combustible en sus diversos procesos de calentamiento, su peso específico varía de 0.92 a 0.99 con un poder calorífico que va de 17,500 a 18,300 BTU/lb. es una mezcla compleja de hidrocarburos y hay que precalentarlo para disminuir su viscosidad y poder ser transportado desde su almacenamiento hasta los aparatos de aprovechamiento, en muchos quemadores hay que inyectarlo a presión para atomizarlo, también hay que filtrarlo, el mantenimiento del equipo es costoso y el contenido de azufre es otro problema, ocasionando con esto un mayor costo de instalación. El costo de combustóleo es de \$7.68/litro lo que disminuye considerablemente el costo --

mensual de combustible a \$ 290,763/mes.

5.4.1.2 Gas L.P.

Gas licuado del petróleo, constituido básicamente por propano (C_3H_8) y Butano (C_4H_{10}) puros ó sus mezclas y en menos proporciones contiene otros hidrocarburos tales como el isobutano, propileno, butileno, pentano etc.

Es un hidrocarburo que a condiciones normales es gas pero que se licúa a presiones relativamente bajas y temperatura normal. Es un gas que se le puede manejar fácilmente en estado líquido, pero en recipientes apropiados para ello, el uso de este combustible es tanto en motores de combustión interna ya que su octanaje es alto, como en generadores de vapor y en usos domiciliarios, es también base de la industria de la petroquímica.

Las ventajas que se tienen en la utilización de gas L.P. son las siguientes:

- Es el combustible más limpio (no produce cenizas)
- De gran octanaje
- No contiene humedad
- Menos impurezas, especialmente el contenido de azufre lo que limita las emisiones de óxidos de este compuesto.
- Se licúa fácilmente
- Fácil transportación
- Mayor control en la combustión lo que reduce las emisiones de contaminantes.

Desventajas en la utilización de gas L.P.

- Es necesario tener recipientes especiales para su almacenamiento.
- Para la utilización en quemadores se requiere equipo de regulación, equipo de control, dispositivos de seguridad etc. Debido a las

características de los combustibles antes mencionados se observa -- que el combustible que nos da mayores ventajas para su aprovecha--- miento es el gas L.P. por lo que se procedió a realizar el diseño - del sistema que permitiría cambiar el combustible, este diseño se - presenta en el siguiente capítulo. Siendo la parte medular de este trabajo.

5.4.2 Apertura y cierre de la compuerta de alimentación

Los desechos son suministrados por una tolva de alimentación por - la que se introducen los desechos sólidos los cuales son descargados - a través de una compuerta accionada hidráulicamente (sistema origi-- nal),. El problema de las compuertas viene dado de sieño, puesto que no se consideraron las dimensiones adecuadas y el tipo de material pa - ra contrarrestar la dilatación térmica, debido a las altas temperatu- ras a las que estan expuestas, la deformación mas importantes fue en el sentido vertical lo que impidió su deslizamiento sobre baleros de material especial con centros de bronce, los cuales asimismo, se fun - dieron con el marco soporte. Este problema se resolvió substituyendo las compuertas originales por otras construidas con lámina de acero - de calibre 12 a la cual se unio una placa de asbesto para fuego direc - to de 1.25 cm, colocando está sobre una capa de concreto refractario armado con varillas de acero inoxidable con diametro de 1.25 cm., el espesor de este concreto fué de 4 cm, se recubrió esta loza con otra placa de asbesto de 1.25 cm. y el conjunto fué ensamblado con birlos de acero inoxidable. Aunque actualmente estas compuertas se accionan en forma manual con trifor de media tonelada, la compuerta y el siste - ma manual se muestran en la figura 5.3.

5.4.3 Corrosión en la tuberfa

El problema en la tuberfa se debe esencialmente a las altas tempa

raturas alcanzadas por el agua de sedimentación de las partículas en la última cámara, ya que esta se recircula y llega a alcanzar temperaturas del orden de 80°C, así como también por las sustancias corrosivas que se originan de quemar los desechos, aunque éstas en menor proporción, puesto que un estudio reciente del agua muestra que el pH está dentro de los límites aceptables, esto significa que el agua mezclada con residuos sólidos no provoca tal corrosión sino las altas temperaturas que se registran. Este problema se resolvió cambiando la tubería que alimenta a la cámara de atrape de cenizas que anteriormente era de cobre a acero inoxidable, debido a que la de cobre fue afectada en el segundo mes de operación, este problema se muestra en la figura 5.4.

Es necesario contar con un sistema de enfriamiento, puesto que no es aprovechable la energía generada durante el proceso de combustión y toda esta energía es descargada sin ser utilizada.

5.4.4 Control de temperatura

La temperatura dentro del horno debe oscilar entre 750°C y 1000°C para reducir el coeficiente de formación de humo y la aparición de olores. La temperatura por debajo de 750°C produce humo y permite que se escapen malos olores del incinerador, y por encima de 1000°C se puede producir la sintetización ó fusión de las cenizas con el recubrimiento refractario del horno, actualmente existe deficiencia en la combustión debido al mal control de temperatura y a la falta de exceso de aire en la cámara de combustión, como anteriormente se mencionó es necesario el adecuado control de aire, para que exista una buena combustión y este puede suministrarse por diferentes partes del incinerador, ya sea aire bajofuego o sobrefuego, por todo esto es necesario tener registro real de la temperatura por lo que se hace obligado colocar varios pirómetros en diferentes zonas del horno, puesto que actualmente solo se cuenta con uno, el cual general-



Fig. 5.3 Compuerta de alimentación

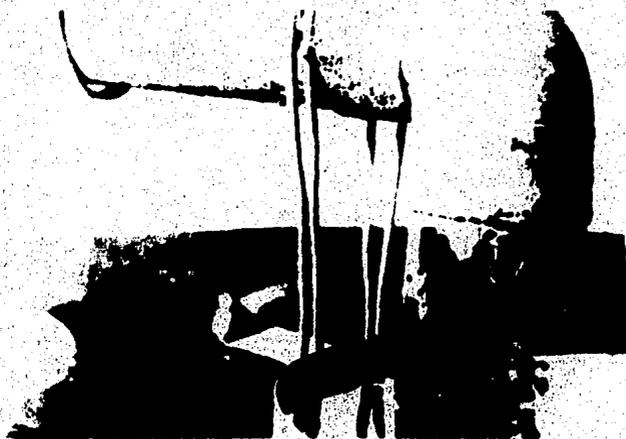


Fig. 5.4 Corrosión en la tubería

mente queda dentro de la basura al cargarse el honor, registrando -- una temperatura incorrecta.

5.4.5 Deterioro frecuente de las fotoceldas

El sistema de accionamiento del quemador, esta en función de la temperatura registrada dentro del horno, como el sistema es automático, se manda una señal por medio de una híz de luz detectado por la fotocelda hasta el sistema automático de control que se encarga del suministro de combustible. El problema que se presentó fué principalmente en los cables eléctricos conectados a las fotoceldas que accionan el mecanismo para dar paso al combustible una vez que se ha formado el arco voltaico de encendido y se ha agravado por algunos fenomenos que han incrementado la temperatura en las cubiertas de los quemadores, como han sido al incrementar el flujo de combustible para tratar de realizar la incineración completa de la basura la presencia de grandes cantidades de materia con alto poder calorífico, la diferencia de temperaturas entre la primera y la segunda cámara de combustión que provoca la acumulación de calor alrededor de la boca de los quemadores. En este caso se ha encontrado que 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, orificio que siendo muy pequeño no permite la circulación eficiente obligando a que esta masa de aire caliente salga a través de dichos quemadores. Esto provoca que los cables entren en contacto con el calor fundiéndose los recubrimientos y generándose un corto circuito que impide la acción de las celdas fotoeléctricas.

Se planea resolver el problema utilizando un recubrimiento de tela de asbesto y teflón para el sistema eléctrico en contacto con elementos que incrementen su temperatura.

5.4.6 Problema de volatilización de las cenizas durante la descarga

Una vez finalizada la combustión de los desechos, se apaga el sistema, y se espera un tiempo razonable para que las cenizas se enfríen un poco para ser descargadas a camiones de volteo. Y es en este momento cuando gran parte de las cenizas, sobre todo las de menor tamaño, escapan a la atmósfera provocando problemas de volatilización y gran parte de estas cenizas caen fuera del camión. Para contrarrestar este problema se diseñó un sistema de aspersión de agua que consiste esencialmente en tubos perforados con ranuras cada centímetro en contraflujo con agua a presión, como se muestra en la figura 5.5. La cortina de agua que se forma atrapa gran parte de las partículas evitando que escapen a la atmósfera, el agua que cae fuera del camión con las partículas es conducida hasta un lugar donde se descargan directamente al suelo provocando su infiltración. Considerando la posible presencia de metales pesados o sustancias tóxicas en las cenizas. Se han iniciado prácticas a fin de realizar análisis de estos productos de la combustión y llevar a cabo un manejo adecuado de los mismos.

5.4.7 Separación de desechos

El problema de separación de desechos se presentó desde los inicios de la planta de incineración y radica en separar los componentes que presenten problemas al ser incinerados, puesto que la composición de basura que llega a la planta es muy variada como se puede ver en la tabla 5.2, ya que no solo se quema basura generada dentro de la Universidad, sino que mucha de esta proviene de lugares residenciales circunvecinos, puesto que el sistema de recolección es mucho más eficiente dentro de la Universidad.

Los principales componentes que presentan problemas son el vidrio metal así como el plástico ya que al incinerarse estos, forman en su conjunto una especie de piedra que presenta problemas en el material

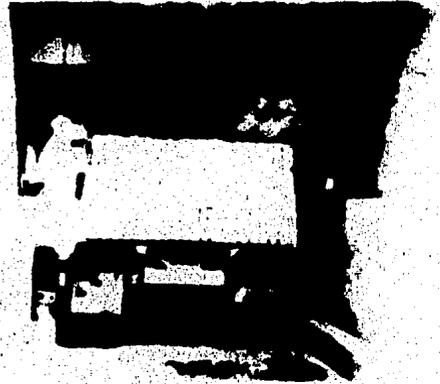
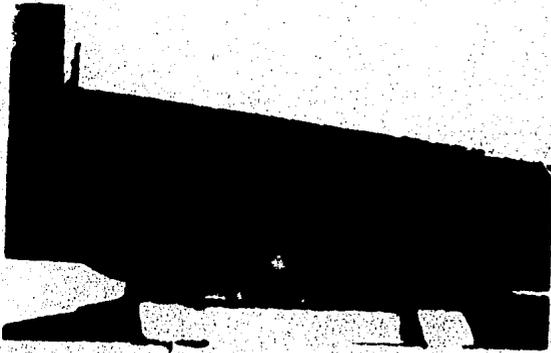


Fig. 5.5 Volatilización de cenizas y sistema de aspersión

Tabla 5.2 CARACTERIZACION DE LA BASURA EN CIUDAD UNIVERSITARIA

RUBRO	PRODUCCION DIARIA (Kg)	PORCENTAJE
Papel blanco	1233.30	6.11
Papel color	320.25	1.60
Papel periódico	307.50	1.54
Papel kraft	158.30	0.65
Papel sanitario y - kleenex	129.10	0.89
Toalla de papel	177.35	0.89
Papel celofan	63.85	0.32
Papel encerado	20.40	0.10
Papel carbón y cinta de - máquina	54.55	0.27
Papel metálico	13.45	0.07
Cartón	367.35	1.84
Envases tetrapak	283.10	1.41
Sub-total de produc- tos de papel	3128.50	15.60
Plástico blando	361.30	1.34
Plástico rígido	267.55	1.80
Sub-total de plástico	628.85	3.14
Vidrio	622.45	3.11
Madera	923.00	4.79
Textiles	269.00	1.34
Latas	332.80	1.66
Sub-total varios	2182.25	10.90
Desechos orgánicos comida	1981.05	9.90
Desechos orgánicos laboratorio	110.90	0.55
Desechos químicos laboratorio	35.50	0.18
Desechos de construcción	613.50	3.06
Desechos orgánicos jardinería	4460.10	22.29
Tierra	2260.25	11.29
Otros	4622.10	23.10
Sub-total Laboratorios	14083.40	70.34
TOTAL	20023.00	100.00

refractario dentro del horno. Por todo esto se hace necesario el se parar el material que puede ser recuperado o que oresente problemas al tiempo de realizarse la incineración. Actualmente son separados el vidrio, lata y plástico, pero el proceso es muy tardado y retrasa las cargas que se hacen al horno, es por esto necesario contar con equipo de separación como el que se muestra en el capítulo 3.

5.5. Costo del sistema

En formar muy general se presenta un resumen de los costos de la planta de incineración, cuyo objetivo es el de dar una idea de lo que presentan estas cifras. Hay que tener claro que el sistema se encuentra actualmente en proceso de ajuste lo que pudiera reflejar en mayo o menor costo de operación y mantenimiento. Se tiene conocimiento de que se han incurrido en gastos durante la etapa de ajuste debido a las modificaciones que se han hecho, principalmente en las compuertas de alimentación, los recubrimientos a las estructuras de concreto, reposición de las celdas fotoeléctricas, etc. que no se hayn considerado en este análisis puesto que reflejan situaciones específicas que no deben generalizarse a futuras instalaciones de este tipo.

5.5.1 Costos de operación

La planta de incineración esta siendo operada por una compañía privada, la cual presenta la estructura de gastos que se muestra en la tabla 5.3. Estos sueldos son afectados en el esquema de la compañía por administración e IVA. Además sería necesario considerar supervisión por parte de la Universidad. Con el fin de hacerlos más general se estableció que este total afectado por indirectores del 40 por ciento podría ser representativo del costo del personal real. Por lo tanto el costo sería de \$1'139,726.7/mes.

Tabla 5.3 COSTO DE OPERACION DE LA PLANTA

PERSONAL	IMPORTE MENSUAL (\$)
1 Jefe de platanta	114,430.00
2 Operadores	130,777.60
1 Auxiliar de mantenimiento	65,388.60
4 Peones	170,010.88
2 Vigilantes	85,005.44
2 Veladores	104,622.08
1 Vigilante (domingo)	16,347.20
3 Jardineros	127,508.16
Total	\$814,090.56/mes

5.5.2 Costo de la planta

El costo de la planta fué de \$6'440,900.00 a mayo de 1984 de -- acuerdo con los conceptos que se presentan en la tabla 5.4. Este cos to incluye conceptos como luz, teléfono, papelería, servicios sanita rios, apoyo secretarial, etc. No se obtuvieron costos de mantenimien to debido en principio por ser una instalación nueva y porque los -- gastos en que se ha incurrido son considerados gastos generales de - inicio de operación. Suponiendo un costo de mantenimiento anual del 4 por ciento, la asignación mensual por este concepto es de - - - - \$208,136.00.

Costo por operación y mantenimiento \$1'727,732.00 mensuales.

Considerando una depreciación de 30 años para los edificios y 7 - años para los equipos, el costo capital mensual será de \$338,836.00.

Costo total mensual \$2'066,568.60

Aunque la planta está diseñada para procesar 1,350 Kg/hr. por hor no, actualmente se procesan aproximadamente 18 Ton/día durante 6 - - días de la semana. Con estos datos el costo de procesamiento por tonelada es de \$5,035.00 aproximadamente.

Tabla 5.4 COSTO DE LA PLANTA DE INCINERACION

CONCEPTO		IMPORTE	
1. Edificios			473,440.00
1.0 Estructuras		176,301.00	
1.1 Trabajos preliminares	1,612.00		
1.2 Cimentación	67,723.00		
1.3 Superestructura	106,966.00		
2.0 Albañilería		48,428.00	
2.1 Albañilería gruesa	16,510.00		
2.2 Albañilería acabados	31,918.06		
3.0 Instalaciones		209,197.00	
3.1 Hidráulica y sanitaria	15,905.00		
3.2 Elec. ilum. fuerza e intercomunicación	12,083.00		
3.3 Equipos especiales	181,209.00		
4.0 Complementos		39,514.00	
4.1 Vidriería y materiales laminados	535.00		
4.2 Cancelería interior	1,907.00		
4.3 Herrería	7,931.00		
4.4 Yesería y pintura	17,816.00		
4.5 Varios fletes	11,325.00		
5.0 Gastos generales		9,090.00	
5.1 Vigilancia	9,509.00		

Continuación Tabla 5.4 COSTO DE LA PLANTA DE INCINERACION

CONCEPTO		IMPORTE	
II. Obras exteriores			141,460.00
1.0 Obra civil y jardines		107,579.00	
1.1 Estacionamientos	31,180.00		
1.2 Banquetas y pavimentos	31,180.00		
1.3 Rejas y bardas	20,419.00		
1.4 Jardinería	24,800.00		
2.0 Instalaciones complementarias		33,881.00	
2.1 Acometida eléctrica	6,816.00		
2.2 Iluminación exterior	2,426.00		
2.3 Alimentación de agua	2,426.00		
2.4 Conexión drenaje	6,156.00		
2.5 Riego de jardines	13,057.00		
2.6 Canalización exterior teléfonos	3,000.00		
	<u>TOTAL</u>		\$ 624,409.00

6 DISEÑO DEL SISTEMA DE GAS L.P.

6.1 INTRODUCCION

Como se estableció en el capítulo anterior, uno de los principales problemas operativos que presenta el sistema de incineración de residuos sólidos de Ciudad Universitaria es el consumo de combustible y por lo tanto, los altos costos de operación. Después de un análisis general de las características que presentan otros combustibles alternos, se estableció que el gas licuado del petróleo es el que en estos momentos presenta las condiciones más adecuadas para ser utilizado, sin embargo se debe establecer que esta situación se presenta por el alto subsidio que se ha otorgado a este combustible dada su importancia por su uso doméstico. Se estima que esta situación no prevalecerá por mucho tiempo y desde un punto de vista de -

conservación de los recursos naturales, ambos combustibles representan costos semejantes.

El desarrollo del presente capítulo incluye la determinación del gasto de gas L.P. necesario para la operación de la planta incineradora basada en la energía requerida para la combustión de la basura; el diseño del sistema de quemado de gas L.P. que incluye la selección y localización del recipiente estacionario para almacenamiento el diseño de las líneas de conducción, la selección de los quemadores más adecuados para las condiciones de combustión del proceso y la identificación de los dispositivos de regulación que incluyen reguladores de presión, válvulas de seguridad, etc. Finalmente y como complemento del diseño se presenta un presupuesto global del costo requerido para efectuar el cambio de combustible propuesto, así como una posibilidad de aprovechar la energía disponible en los hornos de incineración.

6.2 DETERMINACION DEL GASTO DE GAS L.P. REQUERIDO

Al medirse el gasto de combustible en los dos hornos durante una semana se obtuvo un consumo máximo de:

$$Q = 1242.64 \text{ l/día de diesel}$$

Donde los quemadores de los hornos trabajan aproximadamente 10 -- horas al día, teniéndose un gasto de 124.26 l/hr (4.38 pies/hr), lo que nos representa un gasto másico de 219.03 lb/hr, y la energía teórica disponible la podemos calcular con la ecuación 6.1.

$$E = Q \times PC_d \text{ ----- (6.1)}$$

Donde:

PC_d = Poder calorífico de diesel en (BTU/lb)

Q = Gasto másico del diesel en (lb/hr)

$E = 219.03 \text{ lb/hr} \times 18000 \text{ BTU/hr}$

$E = 3'942,540.00$

Para la utilización de gas L.P. se debe tener la misma cantidad de energía disponible que no proporciona el diesel. Por lo tanto considerando de que el gas L.P. contiene en promedio 58 por ciento de Propano (C_3H_8) y 42 por ciento de Butano (C_4H_{10}) en volúmen, podemos determinar el poder calorífico de la mezcla a partir de la expresión 6.2

$$PC_{mg} = (X_{C3} PC_{C3} + X_{C4} PC_{C4}) K \text{ ----- (6.2)}$$

Donde:

PC_{mg} = Poder calorífico de la mezcla del gas en (BTU/pie³)

PC_{C3} = Poder calorífico del Propano a 60° F y 14.651pulg² en BTU/pie³ (ver tabla 6.1).

PC_{C4} = Poder calorífico del Butano a 60° F y 14.65 lb/pulg² en BTU/pie³ (ver tabla 6.1)

X_{C4} = Fracción volumétrica del Propano (0.58)

X_{C4} = Fracción volumétrica del Butano (0.42)

K = Factor de corrección de volúmen a 60° F y densidad relativa a 0.54 (1.0)

Por lo tanto de la ecuación 6.2 tenemos que:

$$PC_{mg} = [0.58 (2365) + 0.42 (3093)] 1$$

$$PC_{mg} = 2670.76 \text{ BTU/pie}^3$$

Tabla 6.1 Propiedades físicas y térmicas de algunos gases.

PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF GASES

Name	Formula	Molecular Weight	Density (g./cc. at 0°C.)	Sp. Ht. (ft. per lb. at 0°C.)	Sp. Ht. (ft. per lb. at 60°F.)	Sp. Ht. (ft. per lb. at 32°F.)	Heat of Combustion				D.T.C. per Cu. Ft. Air-Gas Mixture	
							D.T.C. / Cu. Ft.		D.T.C. / lb.			
							Gross	Net	Gross	Net		
Carbon to CO	C	12.000	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Carbon to CO ₂	C	12.000	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Carbon Monoxide	CO	28.010	0.9740	13.30	0.987	0.7700	307.4	303.4	14155	14155	...	94.6
Hydrogen	H ₂	2.016	0.0899	807.9	0.7097	0.7157	109.1	77.4	6196	15420	...	81.3
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	0.9674	27.94	0.974	0.7474	1741.7	772.8	21011	21443	...	86.2
Stilbene	C ₁₀ H ₈	120.16	0.8083	13.43	0.827	0.6749	1701.1	1420.4	22126	22495	...	92.5
Propene	C ₃ H ₆	42.080	0.8198	0.35	0.843	0.6163	2121.0	2101.0	21700	21770	...	93.3
Butene (iso)	C ₄ H ₈	56.107	0.8163	0.20	0.837	0.6146	2753.0	2733.0	23100	23200	...	94.8
Pentane (n)	C ₅ H ₁₂	72.150	0.8030	...	...	0.6020	3007.0	2957.0	24510	24710	...	94.8
Hexane (n)	C ₆ H ₁₄	86.170	0.8000	...	...	0.5970	3277.0	3227.0	27000	27400	...	94.8
Heptane	C ₇ H ₁₆	100.21	0.7945	13.40	0.799	0.5927	3546.1	3496.1	29110	29510	...	94.4
Propylene	C ₃ H ₆	42.080	0.8198	0.00	0.843	0.6163	2220.0	2181.0	22900	23000	...	97.2
Butylene	C ₄ H ₈	56.107	0.8163	0.00	0.837	0.6146	2876.0	2836.0	24200	24300	...	97.2
Acetylene	C ₂ H ₂	26.037	0.9806	14.00	0.997	0.7674	1874.0	1824.0	21300	21700	...	127.0
Acetylene	C ₂ H ₂	26.037	0.9806	...	...	0.8823	1794.0	1744.0	20200	20600	...	97.0
Toluene	C ₇ H ₈	92.062	0.8610	...	...	0.6436	4490.0	4390.0	37000	37400	...	97.0
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	0.9674	...	...	0.6818	...	...	15100	15500	...	100.0
Acetylene	C ₂ H ₂	26.037	0.9806	...	...	0.6173	...	...	18700	19100	...	100.0
Propylene	C ₃ H ₆	42.080	0.8198	...	...	0.5993	...	...	21200	21600	...	100.0
Hydrogen Sulphide	H ₂ S	34.082	0.8948	...	...	0.6929	...	...	16700	17100	...	100.0
Ammonia	NH ₃	17.034	0.7714	...	...	0.6450	...	...	9600	10000	...	100.0
Hydrocyanic Acid	HCN	26.037	0.9790	...	...	0.7919	...	...	790.0	790.0	...	110.0
Cyanogen	C ₂ N ₂	52.074	0.9790	...	...	0.6929	...	...	16700	17100	...	110.0
Carbon Disulphide	CS ₂	76.130	0.9900	...	...	0.8176	...	...	1870.0	1870.0	...	70.0
Ethyl Alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.070	0.7914	...	...	0.6277	...	...	1630	1630	...	100.0
Methyl Alcohol	CH ₃ OH	32.042	0.7914	...	...	0.6277	...	...	640.0	640.0	...	100.0
Ethyl Alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.070	0.7914	...	...	0.6277	...	...	1630	1630	...	95.4
Air		28.96	0.703	13.05	1.000	0.7534	...	...	10000	10000	...	...

v = vapor l = liquid s = solid All gas volumes corrected to 60°F and 30" Hg.

PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF GASES (Continued)

Name	Cu. Ft. per Cu. Ft. of Constituents					Lb. per Lb. of Constituents					Flame Temp. per Cu. Ft. of Constituents
	Required for Combustion		Flue Products			Required for Combustion		Flue Products			
	O ₂	Air	H ₂ O	CO ₂	N ₂	O ₂	Air	H ₂ O	CO ₂	N ₂	
Carbon to CO	0.5	0.260	1.000	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Carbon to CO ₂	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Carbon Monoxide	0.5	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Hydrogen	0.5	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Ethylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Stilbene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Propene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Butene (iso)	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Pentane (n)	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Hexane (n)	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Heptane	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Propylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Butylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Acetylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Acetylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Toluene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Ethylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Acetylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Propylene	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Hydrogen Sulphide	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Ammonia	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Hydrocyanic Acid	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Cyanogen	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Carbon Disulphide	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Ethyl Alcohol	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Methyl Alcohol	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Ethyl Alcohol	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...
Air	1.0	0.260	1.0	...	1.000	1.313	5.700	0.2330	...	4.417	...

v = vapor l = liquid s = solid All gas volumes corrected to 60°F and 30" Hg.

Análogamente en masa tenemos:

$$PC_{mg} = 19673 \text{ BTU/lb}$$

Finalmente de la ecuación 6.3 podemos calcular el gasto de gas L.P. requerido:

$$Q_g = \frac{E}{PC_{mg}} \text{ ----- (6.3)}$$

Donde:

$$Q_g = \text{Gasto de gas L.P. en (pies}^3\text{/hr)}$$

$$E = \text{Energía teórica en (BTU/hr)}$$

$$Q_g = \frac{3'942,672.509}{2670.76}$$

$$Q_g = 1476.23 \text{ pies}^3\text{/hr (41.8 m}^3\text{/hr)}$$

Análogamente el gasto de gas L.P. requerido en masa es de:

$$Q_g = 200.4 \text{ lb/hr (90.8 Kg/hr)}$$

Donde el consumo por mes será de:

$$Q_g = 21817.02 \text{ Kg/mes}$$

6.3 SELECCION DE QUEMADORES

De la ecuación 6.1 sabemos que la energía teórica disipada por concepto de quemar diesel en cada horno es de 1'971,336.255 BTU/hr, la cual el 80 por ciento es consumida en la cámara principal y el 20 por ciento restante se consume en la cámara secundaria.

Como en cada horno se requieren 2 quemadores en la cámara principal para la buena incineración de la basura se necesita que cada quemador de gas L.P. deba proporcionar una energía de 788,534.5 -- BTU/hr, así como en la cámara secundaria se requiere de un quemador que proporcione una energía de 394,267.25 BTU/hr.

Por lo tanto la energía requerida en la cámara principal será suministrada por dos quemadores Eclipse modelo 236 JIB - G con una capacidad máxima de 1'000,000 de BTU/hr cada uno y cuyas características principales son las siguientes:

- Encendido eléctrico con piloto de quemado constante
- Monitoreo electrónico de flama
- Un motor para el ventilador con características de 1/6 h.p. 3450 r.p.m., 115 volts, 60 hertz.
- Switch centrifugo para el motor del ventilador que impida el flujo de gas cuando existe alguna falla en la linea.

Las dimensiones del quemador se muestran en la figura 6.1.

En la cámara secundaria la energía requerida será suministrada por un quemador Eclipse modelo 200 JIB C - 2 con una capacidad máxima de 600,000 BTU/hr y sus características principales son:

- Encendido eléctrico con piloto de quemado constante
- Monitoreo de flama termoeléctrico.
- Motor de ventilador con características de 1/25 h.p. 1550 r.p.m., 115 volts, 60 Hertz.

Las dimensiones de este quemador se muestran en la figura 6.2.

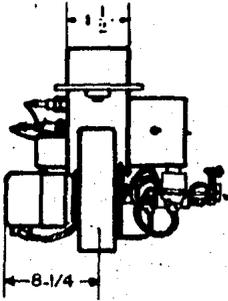


Fig. 6.2 Quemador Eclipse 200 JIB-C-2

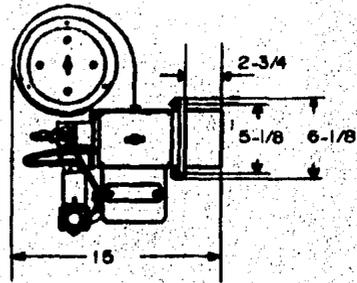
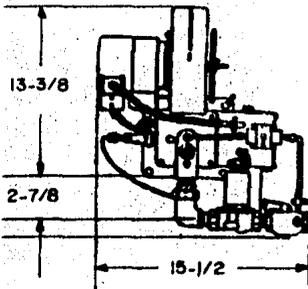
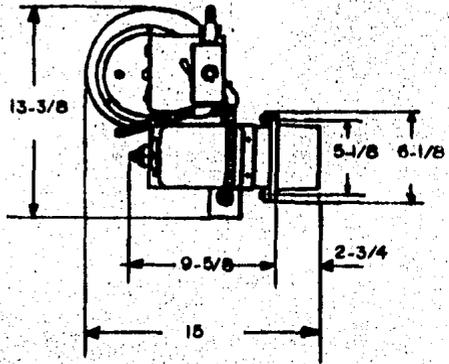
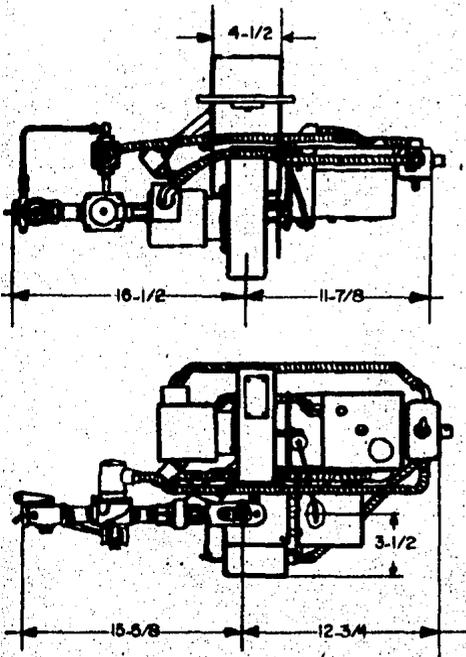


Fig. 6.1 Quemador Eclipse 236 JIB-G



Anotaciones en pulgadas

6.4 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.

De acuerdo al gasto de gas L.P. requerido para alimentar a la -- planta y con datos del fabricante, podemos determinar la capacidad de evaporación del tanque por medio de la expresión 6.4.

$$C.V. = D \times L \times K \times Z \times W \text{ ----- (6.4)}$$

Donde:

- C.V. = Capacidad de vaporización
- D = Diametro del tanque en m.
- L = Longitud del tanque en m.
- K = Factor de llenado (20 porciento = 60)
- Z = Factor de conversión para obtener m^3/hr (0.01756)
- W = Factor de corrección por temperatura (3)

Para un tanque de capacidad de 17850 lt. y de las tablas del fabricante, tenemos que: D = 1.7 m. y L = 9.36 m. por lo tanto de la -- ecuación 6.4 tenemos que:

$$C.V. = 1.7 \times 9.36 \times 60 \times 0.1756 \times 3$$

$$C.V. = 50.29 \text{ m}^3/hr$$

que cubre los requerimientos de gasto de $41.8 \text{ m}^3/hr$ calculados en la sección 6.2

6.5 DISEÑO DE LINEAS CONDUCTORAS DE GAS L.P. EN DOS ETAPAS

Una instalación de aprovechamiento de gas L.P. en fase vapor, en

la cual la presión de suministro a los aparatos de consumo es reducida en dos ocasiones, teniendo una etapa de alta presión regulada y otra de baja, se dice que es una instalación de dos etapas.

Para nuestro caso, por las condiciones de trabajo que tenemos y por las ventajas que presenta una instalación de este tipo, diseñaremos las líneas conductoras de gas L.P. en dos etapas.

6.5.1 Cálculo del diámetro de la tubería en alta presión.

Para la determinación del diámetro de la tubería en alta presión usaremos la siguiente expresión conocida como fórmula de Weymouth:

$$Q = 28 \times d^{2.2667} \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{S_g \times L_m} \times \frac{520}{T} \right]^{\frac{1}{2}} \text{-----(6.5)}$$

Donde:

Q = Flujo en pies³/hr reducido a condiciones standards, - -
60°F y 30" C. Hg ó 14.65 lb/pulg² (1476.23)

P₁ = Presión inicial absoluta en lb/pulg² (32.65)

P₂ = Presión final absoluta en lb/pulg²

d = Diámetro interior de la tubería en pulgadas

S_g = Densidad relativa del gas referida al aire (1.7252)

L_m = Longitud del tramo en millas

T = Temperatura del flujo en grados Rankine (520°R)

De acuerdo con el plano 6.1 en que se muestra el isométrico de la instalación de gas L.P., el tramo A-T que corresponde al tramo más -

largo en alta presión tiene una longitud de 58.88 metros (0.0366 millas) y considerando una caída de presión admisible del dos - por ciento en dicho tramo tenemos que la presión final P_2 es igual a 31.99 lb/pulg^2 , por lo tanto despejando el diámetro de la expresión 6.5 y substituyendo valores tenemos:

$$d^{2.2667} = \frac{Q}{28 \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{S_g \times L_m} \times \frac{520}{T} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$d^{2.2667} = \frac{1476.23}{28 \left[\frac{(32.65)^2 - (31.99)^2}{1,7252 \times 0.0366} \times \frac{520}{520} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$d = 1.3661 \text{ pulgadas (0.1138 \text{ pies })}$$

Por consiguiente de acuerdo al resultado anterior podemos utilizar una tubería comercial de $1\frac{1}{2}$ pulgadas (38.1mm) de diámetro, pero como en este cálculo no se han considerado las caídas de presión por accesorios, este diámetro se considera como una primera - aproximación, donde para determinar dicha caída de presión procederemos a determinar una longitud equivalente de cada accesorio localizado en el tramo A-T de la tubería de alta presión con la siguiente expresión:

$$L = (L/D) \times D \text{ ----- (6.6)}$$

Donde:

L = Longitud en pies

L/D = Longitud equivalente.

D = Diámetro interno de la tubería en pies

De acuerdo al isométrico tenemos 12 codos de 90 grados, 4 tees -- standard y 1 válvula de compuerta, de la tabla 6.3 tenemos que para cada uno de los accesorios antes mencionados les corresponde una -- longitud equivalente de :

Codos	----	L/D = 20 x 12 = 240
de 90 grados		
Tee standard	----	L/D = 20 x 4 = 80
Válvula de compuerta	----	L/D = 13 = 13
		<hr/>
	TOTAL	333

Por lo tanto de la ecuación 6.6. tenemos que:

$$L = 333 \times 0.1138$$

$$L = 37.89 \text{ pies (0.007177 millas)}$$

Que corresponde a la longitud de un trozo de tubería del mismo -- diámetro, la cual produciría la misma caída de presión que los acce-- sorios en cuestión.

Finalmente la longitud total del tramo A-T considerando las cal-- das de presión por accesorios será de:

Tabla 6.3 Longitud equivalente de accesorios.

**Representative Equivalent Length¹ in Pipe Diameters (L/D)
Of Various Valves and Fittings**

Description of Product			Equivalent Length in Pipe Diameters (L/D)
Globe Valves	Stem Perpendicular to Run	With no obstruction in flat, bevel, or plug type seat With wing or pin guided disc	Fully open 340 Fully open 450
	Y-Pattern	(No obstruction in flat, bevel, or plug type seat) - With stem 60 degrees from run of pipe line - With stem 45 degrees from run of pipe line	Fully open 175 Fully open 145
Angle Valves		With no obstruction in flat, bevel, or plug type seat With wing or pin guided disc	Fully open 145 Fully open 200
Gate Valves	Wedge Disc, Double Disc, or Plug Disc		Fully open 13 Three-quarters open 25 One-half open 160 One-quarter open 900
	Pulp Stock		Fully open 17 Three-quarters open 50 One-half open 260 One-quarter open 1300
Conduct Pipe Line Gate, Ball, and Plug Valves			Fully open 5 ⁰⁰
Check Valves	Conventional Swing	0.51... Fully open	135
	Clearway Swing	0.51... Fully open	50
	Globe Lift or Stop; Stem Perpendicular to Run or Y-Pattern	2.01... Fully open	Same as Globe
	Angle Lift or Stop	2.01... Fully open	Same as Angle
In-Line Ball	2.5 vertical and 0.25 horizontal	Fully open	150
Foot Valves with Strainer	With poppet lift-type disc	0.31... Fully open	430
	With leather-hinged disc	0.41... Fully open	75
Butterfly Valves (8-inch and larger)			Fully open 40
Cocks	Straight-Through	Rectangular plug port area equal to 100% of pipe area	Fully open 15
	Three-Way	Rectangular plug port area equal to 80% of pipe area (fully open)	Flow straight through 44 Flow through branch 140
Fittings	90 Degree Standard Elbow		30
	45 Degree Standard Elbow		16
	90 Degree Long Radius Elbow		30
	90 Degree Street Elbow		50
	45 Degree Street Elbow		26
	Square Corner Elbow		57
	Standard Tee	With flow through run With flow through branch	20 60
Class Pattern Return Bend			50
Pipe	90 Degree Pipe Bends		See Page A-27
	Miter Bends		See Page A-27
Sudden Enlargements and Contractions			See Page A-26
Entrance and Exit Losses			See Page A-26

⁰⁰Exact equivalent length is equal to the length between flange faces or welding ends.

¹Minimum calculated pressure drop (psi) across valve to provide sufficient flow to lift disc fully.

²For limitations, see page 2-11. For effect of connections, see page 2-10.

For resistance factor "K", equivalent length in feet of pipe, and equivalent flow coefficient "C", see pages A-31 and A-32.

$$L_t = 0.0366 + 0.007177$$

$$L_t = 0.043777 \text{ millas}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación 6.5 obtenemos el diámetro apropiado de la tubería para nuestro diseño.

$$d^{2.2667} = \frac{1476.23}{28 \left[\frac{(32.65)^2 - (31.99)^2}{1.7252 \times 0.04377} \times \frac{520}{520} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$d = 1.42 \text{ pulgadas}$$

Consecuentemente este nuevo diámetro sigue estando dentro del diámetro comercial seleccionando corroborando nuestro cálculo.

6.5.2 Cálculo del diámetro de la tubería en baja presión

Los dispositivos que frecuentemente se emplean en los quemadores de Propano, Butano o sus mezclas en fase vapor, están diseñados para operar generalmente con presiones de 27.94 cm. de columna de agua (27.94 g/cm²) equivalente a 11 pulgadas de columna de agua para bajas presiones.

Para el diseño de las líneas conductoras de gas combustible, se cuentan con formulas empíricas, cuyos resultados son bastante aceptables, formulas desarrolladas en función de las presiones de trabajo y de las características físicas y químicas de los combustibles.

Las fórmulas desarrolladas, son entre otras, las siguientes: Po le, Cox, Moleswort, Spitzglass y Polyflo, todas estas para cálcu--

los con presiones menores de 35.18 g/cm^2 ($1/2 \text{ lb/pulg}^2$) .

Para nuestro caso utilizaremos la fórmula de Pole :

$$Q = 0.136 E \frac{T_0}{P_0} \left[\frac{h}{G T L} \right]^{3/2} d^{2.5} \text{ ----- (6.7)}$$

Donde:

Q = Gasto de gas en m^3/hr

T_0 = Temperatura base, en K. (543 K)

T = Temperatura del gas (543 K)

P_0 = Presión base en kg/cm^2 (0.796)

h = Abatimiento de presión en cm. de columna de agua
(1.52 máximo)

d = Diámetro de la tubería en cm.

L = Longitud de la tubería en metros

G = Densidad relativa del gas (1.7252)

E = Eficiencia en por ciento igual a 0.9 para diámetros -
menores de 6 pulgadas..

Del plano 6.1 que muestra el isométrico de la instalación de gas L.P. tenemos que el N - O tiene una longitud de 4.18 metros con un gasto de $8 \text{ m}^3/\text{hr}$, y el tramo T - U tiene una longitud de 5.70 me--tros con un gasto de $4 \text{ m}^3/\text{hr}$ de gas, por lo tanto aplicando la fórmula de Pole y considerando una caída de presión de 1.01 cm. de columna de agua tenemos para cada tramo los siguientes cálculos por - separado.

6.5.2.1 Cálculo del diámetro de la tubería para el tramo N-0

Despejando el diámetro de la ecuación 6.7 y sustituyendo los datos correspondientes tenemos:

$$d^{2.5} = \frac{8 \times 0.796}{0.136 \times 0.9 \times 543 \times \left[\frac{1.01}{1.7252 \times 543 \times 4.18} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$d = 2.042 \text{ cm.}$$

Consecuentemente de acuerdo al diámetro obtenido podemos utilizar una tubería con un diámetro comercial de 1 pulgada.

6.5.2.1 Cálculo del diámetro de la tubería para el tramo T-U

Analogamente al inciso anterior tenemos para este tramo:

$$d^{2.5} = \frac{4 \times 0.796}{0.136 \times 0.9 \times 543 \times \left[\frac{1.01}{1.7252 \times 543 \times 5.70} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$d = 1.64 \text{ cm.}$$

Por lo tanto podemos utilizar una tubería con diámetro comercial de 3/4 de pulgada.

6.6 DESCRIPCION DEL SISTEMA

El diseño del sistema de Gas L.P. para la planta Incineradora de basura, utilizandolo como combustible, es relativamente sencillo, - basta tener conocimiento de las propiedades físicas de este, así como de los dispositivos de seguridad que regulan y controlan el flujo por la red de tubería.

El sistema en sí parte del diseño del recipiente estacionario cuya capacidad esta en función del gasto requerido por los quemadores los cuales son seleccionados a su vez por el consumo en cada una de las cámaras de combustión, los reguladores de presión se seleccionan de acuerdo a la presión de trabajo de los quemadores, y finalmente para el diseño del diámetro de la tubería es necesario considerar por normas establecidas, que la máxima caída de presión permisible no debe exceder del 5 por ciento.

El sistema cuenta con un tanque estacionario de una capacidad de 17850 litros y para ser llenado tiene 3 válvulas; una de retención y doble check, así como de las respectivas válvulas para desfogue. A la salida del tanque estacionario se reduce la presión y es necesario contar con un regulador de presión, el cual tiene una capacidad de 1.5 Kg/cm^2 y se conoce como regulador de alta presión.

El Gas L.P. viaja a lo largo de la tubería de alta presión la cual es de acero galvanizado cédula 40 con un diámetro comercial de 38.1mm hasta la entrada de los reguladores de baja presión, los cuales se encargan de reducir, a la presión requerida por los quemadores, estos reguladores se encuentran varios metros antes de los quemadores y cuentan a su vez con una válvula de seguridad para interrumpir el suministro de combustible en caso de algún desperfecto o por simple mantenimiento, estos reguladores trabajan a una presión

de 27.95 gr/cm² y se conocen como reguladores de baja presión, la red de tubería en baja presión es de menor diámetro y de distinto material al de alta presión, el material utilizado es cobre rígido tipo L con un diámetro de 25 y 19mm. Cabe mencionar que el sistema cuenta con una válvula de seguridad la cual interrumpe el flujo de gas antes de llegar a los quemadores y esto se hizo con la intención de proteger al sistema contra posibles fugas o alteraciones en el suministro de combustible.

La línea de tubería de alta presión alimenta a cada una de las derivaciones que conducen el gas a cada quemador, como se muestra en los planos 6.1, 6.2 y 6.3. Anteponiendo a estos su respectivo regulador de presión, los quemadores utilizados son Eclipse 236 JIB-G y 200 JIB C-2 con una capacidad máxima de 1000000 BTU/hr. y 600000 BTU/hr. respectivamente, los cuales suministran el combustible a las distintas cámaras de combustión.

6.7 PRESUPUESTO

Se hace necesario tener una idea global del costo que representaría hacer un cambio tan radical como se pretende hacer en la planta incineradora, puesto que estas modificaciones implican gastos que determinan la factibilidad de este, así como el tiempo en el cual sería recuperable la inversión, a manera muy superficial y como parte complementaria de este trabajo, se muestra a continuación el costo aproximado que representa llevar a cabo dicho proyecto.

El equipo necesario para la instalación de gas L.P., la cantidad y precio se presentan en la tabla 6.5, estas cantidades nos determinan que el costo total del sistema es de \$4'648,378.43 aproximadamente, es importante tomar en consideración que la mano de obra no está contemplada dentro de este análisis, por lo que el costo se va

Tabla 6.5

Descripción	Diámetro comercial	Longitud en mts.	Cantidad	Precio unitario	Total
Tubería de fierro galv. ced. 40	1½"	60	9 tubos (6.40m)	\$4,711.00	\$42,399.00
Tubería CR-L	1"	18	3 tubos (6.10m)	\$4,494.60	\$13,483.80
Tubería CR-L	¾"	10	2 tubos (6.10m)	\$3,254.15	\$6,508.30
Codos de fierro galv. ced. 40 90°	1½"	-	12	\$ 427.30	\$5,127.60
Tes de fierro galv. ced. 40	1½"	-	5	\$4,803.50	\$4,017.50
Codos CR-L 90°	1"	-	10	\$ 144.00	\$1,440.00
Codos CR-L 90°	¾"	-	4	\$ 86.30	\$ 345.20
LLave de peso	1"	-	4	\$3,143.70	\$12,574.80

Continuación de la Tabla 6.5

Descripción	Diámetro comercial	Longitud en mats.	Cantidad	Precio unitario	Total
Válvula Check	1½"	-	1	\$3,751.00	\$3,751.00
Quemador Eclipse 236 JIB-G			4	\$340,390.00	\$1,361,560.00
Quemador Eclipse 200 JIB C-2			2	\$127,285.00	\$254,570.00
Recipiente estacionario 17850 lts.			1	\$2,284,800.00	\$2,284,800.00
Regulador alta presión CMS R4757			1	\$12,799.00	\$12,799.00
Regulador Baja presión 2403			6	\$5,704.00 (incluye IVA)	\$32,224.00 \$4,648,378.43

incrementado. Al mismo tiempo se observa que el tiempo en el cual -
sería recuperable el gasto hecho en la instalación de gas L.P. es -
aproximadamente de 1 año.

6.8 APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA DISIPADA DURANTE EL PROCESO DE INCINERACION

Considerando que dentro de cada horno los desechos sólidos se --
queman durante 15 horas por día aproximadamente y que se quema una
cantidad de 18 ton/día en promedio durante seis días a la semana, -
podemos hacer una estimación de la energía disponible en cada horno
por concepto de incinerar los desechos sólidos.

Tomando en promedio un poder calorífico de la basura de 7000 - -
BTU/lb, y considerando el 30 por ciento de humedad que contienen los
desechos sólidos utilizaremos un poder calorífico de 5000 BTU/lb pa
ra nuestros cálculos.

De acuerdo a la ecuación 6.1 y considerando que en cada horno se
queman 19845 lb/día tendremos en cada horno una energía teórica dis
ponible de :

$$E = 19845 \times 5000$$

$$E = 99'225,000 \text{ BTU/día}$$

y por los dos hornos tendremos una energía de:

$$E = 4,762'800,000.00 \text{ BTU/mes}$$

Adicionalmente el valor de la energía disipada por la combustión --
del combustible en los dos hornos tendremos una energía teórica dis
ponible en la planta de:

$$E_t = 5,709'041,402.00 \text{ BTU/mes}$$

De acuerdo a la tabla 6.4 en la que se muestra el gasto de combustible diesel en distintos centros de importación en la U.N.A.M. se observa que el gasto total de combustible es de 87,549 litros -- por mes, lo que representa un costo actual de \$2'731,528.8/mes y -- consumo de energía teórica de 2,777'768,120.0 BTU/mes.

Comparando la energía disponible en los hornos de incineración -- con la requerida en los distintos centros de la U.N.A.M., tenemos que en la planta incineradora de basura se tiene un 51.34 por ciento más de la energía requerida.

Por otro lado, tenemos que si utilizáramos como combustible el gas L.P. sustituyendo al diesel que es el que actualmente se consume y considerando que se aprovechará la energía generada en la planta para abastecer esta energía en los distintos centros de consumo de la U.N.A.M., tendríamos un ahorro del 90 por ciento en el costo mensual de toda la Universidad.

Tabla 6.4 Gasto de combustible diesel en distintos centro de importación en la U.N.A.M.

C E N T R O	CONSUMO Lt/mes
Alberca	62,583
Estadio	7,783
Fronton Cerrado	6,833
Baños de foot ball Americano	6,083
Talleres de Conservación	3,167
Campos de Calentamiento	<u>1,000</u>
T O T A L	<u>87,549</u>

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al trabajo realizado y al estudio comparativo entre diversas alternativas para mejorar la eficiencia en la planta incineradora, se ha llegado a la conclusión de que es necesario hacer varias modificaciones y cambios radicales en el diseño original, tomando en cuenta la actual disposición de equipo y el flujo de operación, así como el costo que repercutiría al hacer este tipo de cambios, observando si es o no factible, tratándolo de justificar de alguna forma, es por esto que se pueden establecer las siguientes observaciones.

- Es recomendable contar con equipo de separación de subproductos, ya que este además de separar el material recuperable permite que la combustión sea completa; logrando a la vez que el material que presenta problemas dentro de la cámara sea eliminado antes de pro

cederse a la carga.

- Como se mencionó el proceso de incineración es costoso sin embargo es el sistema de procesamiento de residuos mas adecuado a utilizarse en la Ciudad de México. La falta de disponibilidad de terreno así como el costo de transportación, hicieron necesario optar por esta alternativa en Ciudad Universitaria.
- El problema contaminación ambiental es un factor decisivo en esta época, y es importante considerarlo como un problema operativo, por lo cual se hace necesario contar con equipo que permita controlar la emisión de gases que son descargados a la atmósfera.
- El aspecto económico es un factor decisivo en el sistema de incineración, y el consumo de combustible es un factor determinante, por lo cual es necesario tomar en consideración el estudio técnico-económico hecho en este trabajo para la determinación de un combustible que aminore este problema.
- La falta de exceso de aire en la cámara de combustión es un problema grave, pues el adecuado suministro de este permite que el consumo de combustible se reduzca, influyendo determinadamente en el aspecto económico.
- El problema del agua que se encarga del atrape de ceniza, es importante puesto que esta alcanza temperaturas muy altas y es recomendable utilizarla para cualquier fin, pues altas temperaturas han sido las causantes de corrosión en la tubería.
- El sistema intermitente que es el utilizado en la planta incineradora, presenta varios problemas, entre los que destaca la carga del material al ser incinerado y descarga de cenizas, estos problemas pueden disminuirse con diversos mecanismos que permitan que el proceso no se altere en cuanto a su operación.

B I B L I O G R A F I A

- American public works association "Refuse Recycling and Recovery" Public Administration 1970.
- Tchobanoglous, G. "Solid Wastes" - Engineering - principles and management - Issues. Mc. Graw Hill.
- Pavoni, J.L; Heer J.E. Joseph H.D. "Handbookk of solid wastw disposal" Van Nostrand Reinhold 1975
- Gordon Wilson, D. "Handbook of solid waste management" edit by Massachusetts - Institute of Technology 1977.
- A. Conway, D. Ross "Handbook of Industrial easte disponsal" Van Nostrand Reinhold 1980.
- F. Lund Herbert Manual para el control de la contaminación; Intituto de - estudios de administración local (Madrid España) 1974.
- Chilton Company Handbook Butane - Propane -- gases fourth edition 1962.
- Committee of the pacific coast gas asociation Gas Engineers Handbook Mc. Graw Hill 1934.
- Crane Flow of fluids trough valves, - fittings and pipe; by the - Engineering Division 1976.

- **Comprese Gas Association** **Handbook of compressed gases 1974.**

- **Maxwell** **Databook on hidrocarbons.**

- **Evans** **Equipement design hadbook for refineries and chemical plants.**

- **Starling Kennety** **Fluid thermodynamics properties by light petroleum systems.**

- **Krutssch Messina** **Handbook pump by Karassik**

- **Dirección general de gas** **Bases generales del diseño de instalación de gas; secretaria de comercio y fomento Industrial, México 1974.**

- **Perry y Chilton** **Manual del Ingeniero Químico quinta edición, segunda en español, Mg. Graw Hill 1973.**

- **Marks** **Manual del Ingeniero Mecánico, octava edición, segunda en español, Mg. Graw Hill 1978.**

- **Hutte** **Manual del Ingeniero Químico.**

- **Centro de educación continua de la facultad de Ingeniería** **Instalaciones de gas l.p. y natural para usos industriales, comerciales y domésticos, Editado por la Facultad de Ing. U.N.A.M. 1974.**

- Blumenkron F. Fernando Manual de instalaciones para gas l.p. y natural.
- Johnson and Auth Fuel and combustion Handbook 1969.
- M. en C Zepeda Porras Francisco Seminario sobre administración recolección de residuos sólidos municipales (E.I.S.A.- IPN) Méx. 1983.
- Instalaciones de plantas de almacenamiento de gas l.p.
- Evaluación de proyectos de ingeniería ambiental.
- Análisis y diseño de tuberías para plantas industriales.

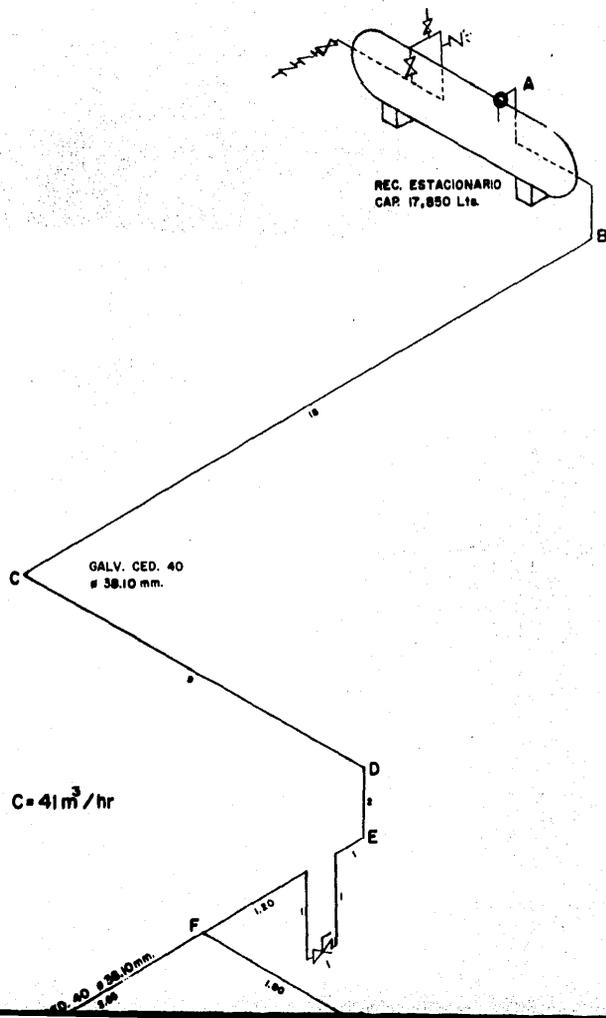
MÁXIMA CAIDA DE PRESION EN LA INSTALACION DE GAS	
TRAMO	PORCENTAJE DE CAIDA DE PRESION
A-T	2
T-U	1
TOTAL	3

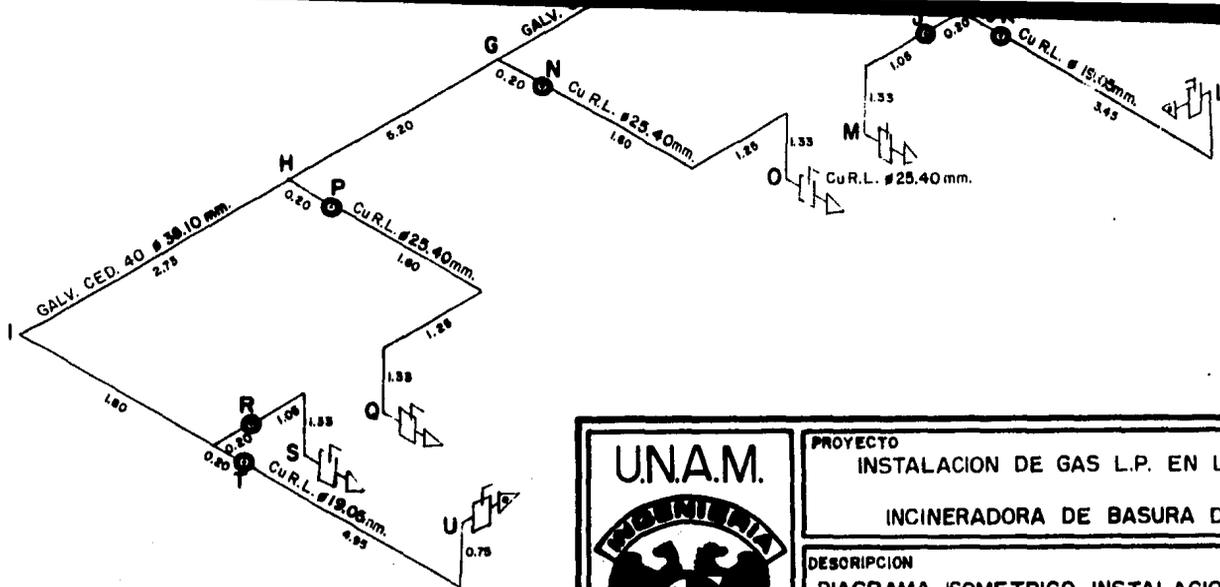
● Regulador de alta presión
 ● Presión de salida 15 Kg./cm.²
 Capacidad 104 m³/hr.

● Regulador de baja presión
 ● Presión de salida 2.7.95 gr/cm.²
 Capacidad 21.95 m³/hr.

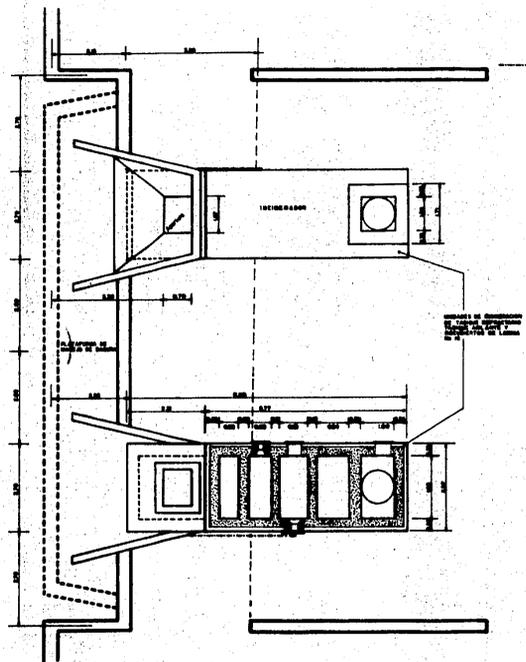
➤ Quemador Eclipse 236 JIB-G
 Presión de salida 17.7 gr/cm.²
 Capacidad 500,000-1,000,000 BTU/hr.

➤ Quemador Eclipse 200 JIB C-2
 Presión de salida 17.7 gr/cm.²
 Capacidad 100,000-600,000 BTU/hr.

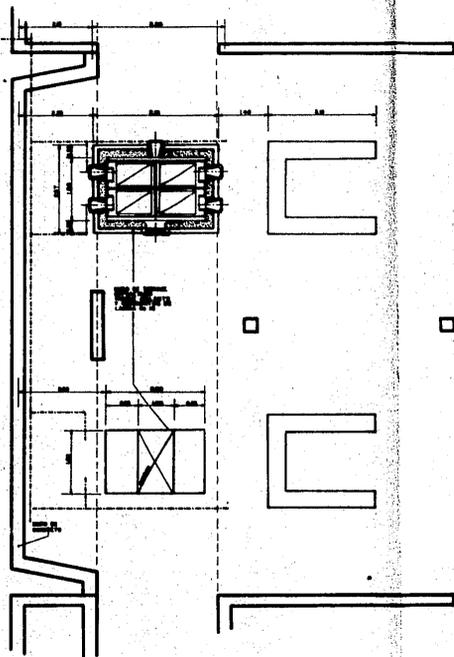




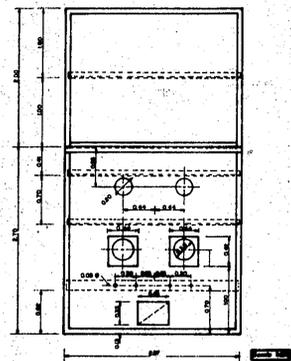
 UN.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA	PROYECTO INSTALACION DE GAS L.P. EN LA PLANTA INCINERADORA DE BASURA DE C.U.	Acatosiones mts. Fecha Plano 6-1
	DESCRIPCION DIAGRAMA ISOMETRICO INSTALACION CLASE F	
	Proyectores y dibujeros SERGIO ORTEGA PESQUINA RAMON JIMENEZ PENA	TESIS PROFESIONAL



CORTE VISTA DE PLANTA

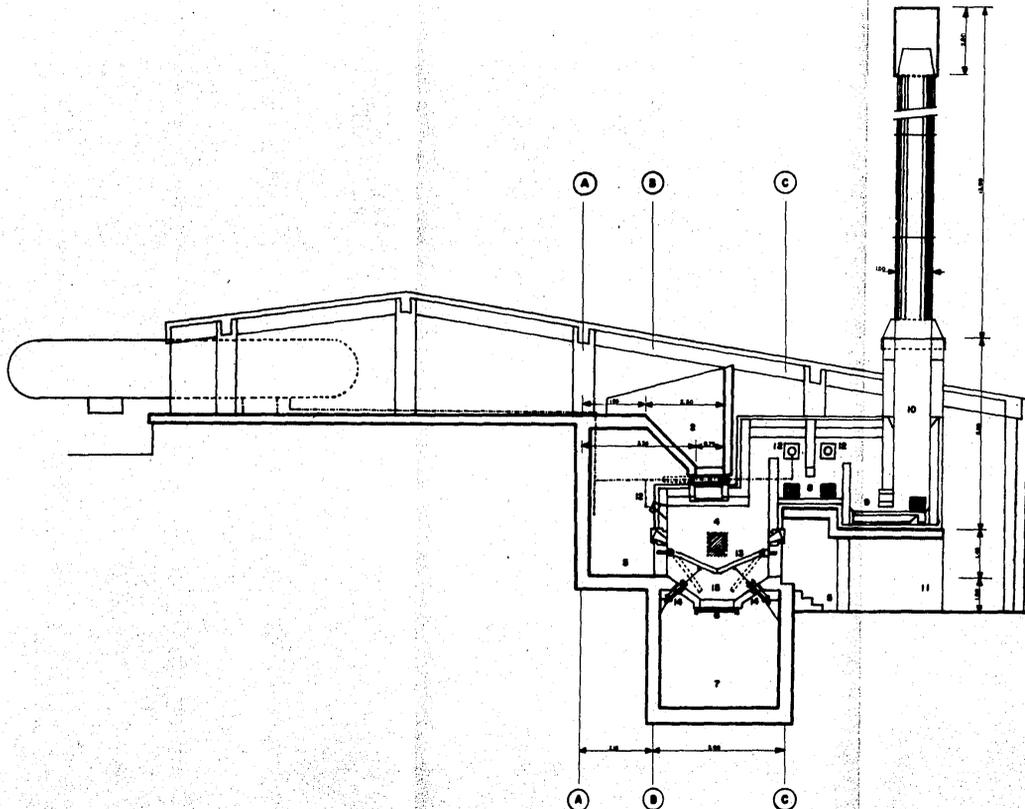


CORTE VISTA DE PLANTA



FRENTE

 <p>UNAM FACULTAD DE INGENIERÍA</p>	<p>PROYECTO: INSTALACION DE GAS L.P. EN LA PLANTA INCINERADORA DE BASURA DE C.U.</p>	<p>PLANO 6-2</p>
	<p>DESCRIPCION: VISTA DE PLANTA Y FRENTE TUBERIA DE GAS</p>	<p>ELABORADO: _____ FECHA: _____ AÑO: _____</p>
<p>INGENIERO: OSCAR ORTEGA PERONA DISEÑO: JUANES PERA</p>		<p>TIPO PROFESIONAL</p>



ELEMENTOS PRINCIPALES DEL INCINERADOR

- 1 Zona de selección (reciclado)
- 2 Tapa de alimentación
- 3 Comparte de quemar
- 4 Cámara de combustión (primaria)
- 5 Cirocción
- 6 Comparte de quemar
- 7 Túnel de extracción de cenizas
- 8 Cámara de post-combustión (edema secundaria)
- 9 Cámara heladora
- 10 Chimenea
- 11 Tanque de sedimentación
- 12 Quemador
- 13 Parrilla móvil
- 14 Bases hidráulicas
- 15 Tapa de control

■ Registro de mantenimiento

--- Línea de gas L.P.

 FACULTAD DE INGENIERIA	PROYECTO: INSTALACION DE GAS L.P. EN LA PLANTA INCINERADORA DE BAHUA DE C.U.	PLANO 6-3
	DESCRIPCION: CORTE TRANSVERSAL DE LA PLANTA INCINERADORA	ESCALA: FECHA: PUNTO:
	Presentado por: SERGIO ORTEGA PERCINA RAMON JUAREZ PERA	TESIS PROFESIONAL