

01177



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería

*Análisis técnico para la localización de  
incineradores en estaciones de  
transferencia de la Ciudad de México*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRO EN  
INGENIERÍA (AMBIENTAL)  
P R E S E N T A  
Ing. Ricardo Saldívar Ríos

Directora: Dra. María Teresa Orta Ledesma

Cd. Universitaria, 2004



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

### VOTOS APROBATORIOS

**DR. WILFRIDO RIVERA GÓMEZ FRANCO**

Coordinador del Programa de Posgrado  
en Ingeniería, U N A M  
P r e s e n t e

Por este medio comunico a usted que he leído la tesis titulada: **"ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA LOCALIZACIÓN DE INCINERADORES EN ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO"** para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA en el campo del conocimiento **INGENIERÍA AMBIENTAL**, que presenta el alumno **RICARDO SALDIVAR RIOS**.

Al mismo tiempo me permito informarle mi decisión de otorgar o no el voto aprobatorio.

JURADO		VOTO APROBATORIO	FIRMA	FECHA
PRESIDENTE	DRA. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ	( <input checked="" type="checkbox"/> ) (NO)		20/09/04
VOCAL	DRA. MARIA TERESA ORTA LEDESMA	( <input checked="" type="checkbox"/> ) (NO)		29/09/04
SECRETARIO	M. EN C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS	( <input checked="" type="checkbox"/> ) (NO)		20/09/04
SUPLENTE	DR. RODOLFO SOSA ECHEVERRIA	( <input checked="" type="checkbox"/> ) (NO)		29/Sept/04
SUPLENTE	DR. VICTOR MANUEL LUNA PABELLO	( <input checked="" type="checkbox"/> ) (NO)		06/09/04

## Agradecimientos

---

---

*A la Universidad Nacional  
Autónoma de México y al  
Instituto de Ingeniería por todas  
sus enseñanzas y apoyo.*

*A la Dra. María Teresa Orta  
Ledesma, por ser la base para la  
realización de esta tesis.*

*A mi familia que como siempre,  
estuvieron para ayudarme y  
apoyarme en momentos difíciles;  
¡mejor familia no me pudo tocar!  
Belem, Héctor, Diana, Oswaldo,  
Karina, Paola, Ángel, Alma,  
Marlen, Iván, Daniel, Mónica,  
Andrea y Edgar.*

*A Lucía por ser una parte  
importante en mi vida; gracias por  
tu apoyo, cariño y comprensión.*

*Deseo agradecer el apoyo  
material brindado por el Consejo  
Nacional de Ciencia y Tecnología  
(CONACYT).*

*A mi comité tutorial por sus  
valiosas aportaciones y  
comentarios  
M. en I. Constantino Gutiérrez P.  
Dr. Víctor M. Luna Pabello.*

*Al jurado por haber colaborado  
de manera importante en la  
realización de este trabajo  
Dra. Georgina Fernández  
Villagómez  
Dr. Rodolfo Sosa Echeverría.*

*Gracias por la amistad que de  
manera incondicional me  
brindaron mis compañeros y  
profesores de la maestría,  
¡Gracias!  
Alejandra, Juan Pablo, Wilson,  
Gilberto, Susana, Fernanda, Paula,  
Lilia, Jessica, Toño, Luis, Liliana,  
Carlos, Lupita, Maricruz,  
Angélica, Emma, Mario y Emilio.  
Dra. Rina.*

408 1000

...  
...  
... Ricardo Saltiel ...  
... RIES ...  
... 13 ottobre 2004 ...  
...



---

---

# Contenido

<b>SIGLAS Y ABREVIATURAS</b> .....	i
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
OBJETIVO PRINCIPAL.....	2
OBJETIVOS PARTICULARES.....	2
METODOLOGÍA.....	3
<b>2. MARCO REGULATORIO NACIONAL E INTERNACIONAL APLICABLE A LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS</b> .....	4
2.1 MARCO NACIONAL.....	4
2.1.1 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.....	5
2.1.2 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.....	7
2.1.3 Ley Ambiental del Distrito Federal y sus Disposiciones Complementarias.....	8
2.1.4 Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal.....	8
2.1.5 Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal.....	9
2.1.6 Normas Oficiales Mexicanas.....	10
2.1.7 Normas Mexicanas.....	11
2.2 MARCO INTERNACIONAL.....	13
2.2.1 Alemania y Comunidad Económica Europea.....	13
2.2.2 Estados Unidos.....	14
<b>3. MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO</b> .....	16
3.1 ASPECTOS GENERALES.....	16
3.2 CÁLCULO DE LA POBLACIÓN PARA EL AÑO 2020.....	16
3.3 MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.....	23
3.3.1 Generación de residuos.....	23
3.3.2 Composición de los residuos.....	24
3.4 ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	25
3.4.1 Transporte.....	28
3.4.2 Cobertura.....	29
<b>4. LOS RESIDUOS SÓLIDOS COMO COMBUSTIBLE</b> .....	32
4.1 INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	32
4.1.1 Etapas para la incineración.....	35

4.1.2 Emisiones a la atmósfera .....	38
4.1.3 Incineradores .....	40
4.1.4 Hornos .....	46
4.1.5 Tipos de Parrillas .....	47
4.2 PODER CALORÍFICO .....	48
4.3 CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO PARA LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA .....	50
<b>5 SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA .....</b>	<b>54</b>
5.1.MÉTODO DE ANÁLISIS .....	54
5.2.ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	54
5.3.ANÁLISIS JERÁRQUICO MULTICRITERIO (AHP).....	58
5.4.CASO DE APLICACIÓN: SELECCIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA .....	60
<b>PROPUESTA TÉCNICA .....</b>	<b>69</b>
6.1ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.....	69
6.2DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA.....	70
6.3PROPUESTA.....	74
6.3.1 Aspectos técnicos.....	74
6.3.2 Diagrama de flujo de proceso.....	78
6.3.3 Arreglo de las instalaciones.....	79
6.3.4 Impacto ambiental .....	79
6.3.5 Aspectos económicos.....	81
<b>RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN .....</b>	<b>82</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO 1. MATRIZ DE IMPACTO CRUZADO.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO 2. ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA IZTAPALAPA.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 3. PROGRAMA EXPERT CHOICE@.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 4. MEMORIA FOTOGRÁFICA .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 5.CATÁLOGOS DE FABRICANTES.....</b>	<b>110</b>

---

## Siglas y Abreviaturas

<b>AHP</b>	Analytic Hierarchy Process
<b>COA</b>	Cédula de Operación Anual
<b>DDF</b>	Departamento del Distrito Federal
<b>DGSU</b>	Dirección General de Servicios Urbanos
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación
<b>DGF</b>	Gobierno del Distrito Federal
<b>dscm</b>	dry standard cubil meter (metro cúbico estándar seco)
<b>msnm</b>	metros sobre el nivel del mar
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
<b>JICA</b>	Agencia para la Cooperación Internacional Japonesa
<b>LGEEPA</b>	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
<b>mg</b>	miligramos
<b>MIC</b>	Matriz de Impacto Cruzado
<b>ng</b>	nanogramos
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la Salud
<b>PAOT</b>	Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal
<b>PCI</b>	Poder Calorífico Inferior
<b>PCS</b>	Poder Calorífico Superior
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>RSM</b>	Residuos Sólidos Municipales
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SGO</b>	Secretaría General de Obras
<b>SOS</b>	Secretaría de Obras y Servicios
<b>ZMVM</b>	Zona Metropolitana del Valle de México



---

## Glosario de términos

**ACEPTACIÓN SOCIAL.** Es la acción de favorecer o inclinarse a unas personas u objetos más que a otras por algún motivo o afecto particular. Se refiere a la aprobación que la sociedad y los vecinos tengan de la estación de transferencia y de las acciones que son inherentes a la operación de la misma.

**ADMINISTRACIÓN.** Es personal del gobierno que se encarga de la administración de las estaciones.

**ÁREA DE COBERTURA.** Es la superficie a la cual la estación de transferencia brinda el servicio de transferencia.

**AREA DE LAS INSTALACIONES.** Es la superficie que ocupan las instalaciones de la estación, incluyen áreas de acceso, rampas, área de las tolvas, de equipamiento, áreas verdes.

**CALIDAD DEL AIRE.** La calidad es la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo y que permiten juzgar su valor. En el caso de la calidad del aire se refiere a las características que tiene y que lo hacen satisfactorio para la salud del personal.

**CALIDAD DEL SUELO.** Dado que la calidad es el conjunto de propiedades que permiten juzgar su valor; para el caso de las instalaciones, son las características que hacen que el suelo conserve las propiedades que tenía.

**CANTIDAD DE AGUA DE LAVADO.** Es el agua necesaria para llevar a cabo las tareas de limpieza de las unidades de transferencia y en la estación.

**CANTIDAD DE RESIDUOS TRANSFERIDOS.** Es la cantidad de residuos transferidos en el día por una estación de transferencia (ton/día).

**CAPACIDAD DE LOS CAMIONES.** Es la propiedad de una cosa de contener otras dentro de ciertos límites. Es el volumen de residuos que los camiones recolectores pueden contener. Por ejemplo, la mayoría de los recolectores carga trasera tienen la capacidad de 7 m<sup>3</sup>.

---

**CAPACIDAD DE LOS CAMIONES DE TRANSFERENCIA.** Es el volumen de residuos que los camiones de transferencia pueden contener. Los camiones de transferencia tienen la capacidad de 17 m<sup>3</sup>.

**CAPACITACIÓN DEL PERSONAL.** Son las acciones tendientes a mejorar el desempeño del personal que labora en la estación, estas acciones pueden consistir en cursos, pláticas, visitas, etc.

**COMBUSTIBLES PARA TRANSPORTE.** Es el material que se emplea para producir energía y el cual se utiliza para mover a los vehículos recolectores y a los camiones de transferencia. La cantidad de combustible que se utiliza para esta acción está relacionada con la cantidad de residuos transferidos y la distancia que son transportados. También influye el funcionamiento de las unidades.

**COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS.** La composición de los residuos depende esencialmente de los siguientes factores:

- ◆ El nivel de vida de la población.
- ◆ La estación del año.
- ◆ El día de la semana.
- ◆ Las costumbres de los habitantes.
- ◆ La zona donde se habita.

**CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD.** El desempeño que tiene la estación de transferencia está sujeto a la normatividad y la cual está regida por reglamentos y leyes. El ámbito que pueden abarcar estas leyes y reglamentos pueden ser laborales, de salud, operativos, de tránsito, de limpia y hacendarios.

**EMISIONES DE PST.** Es la emisión de partículas sólidas que se generan en la operación de transferencia de residuos sólidos del camión recolector al vehículo de transferencia.

**EFICIENCIA DEL PROCESO.** Es la manera en que se lleva a cabo la transferencia de residuos, medida en torno al tiempo que se lleva a cabo la transferencia y a la limpieza con que se realice. Incluye el tiempo de vaciado de los camiones recolectores a los camiones de transferencia y el tiempo que estos últimos tardan en salir de las instalaciones

---

**ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA.** Es el consumo de energía eléctrica de la estación debida principalmente al funcionamiento de los ventiladores extractores de polvos y servicios auxiliares.

**ESTÉTICA.** Armonía y apariencia agradable a la vista, que tiene alguien o algo desde el punto de vista de la belleza. Perteneciente o relativo a la percepción o apreciación de la belleza.

**GASTOS DE OPERACIÓN.** Son los costos inherentes a la operación de la estación. Impuestos, sueldos, gastos de operación, agua.

**HUMEDAD DE LOS RESIDUOS.** Es la cantidad de agua que está impregnada en los residuos sólidos y que vaporizada se mezcla con el aire.

**IMPUESTOS.** Tributo que se exige en función de la capacidad económica de los obligados a su pago.

**MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.** Es la manera en que se manejan los residuos peligrosos que se encuentran mezclados con los residuos sólidos municipales o que son producto de las labores de mantenimiento de los vehículos recolectores y camiones de transferencia.

**NUMERO DE CAMIONES QUE INGRESAN.** Es la cantidad de camiones que ingresan a la estación en un día. En una estación de transferencia el flujo de camiones varía a lo largo de la jornada, por lo que hay horas en las que casi no entran camiones y por el contrario, hay horas en las que la entrada de camiones supera al número de tolvas disponibles; en esta situación se genera el problema de “encolamientos”.

**NUMERO DE PERSONAL QUE LABORA.** Es la cantidad de personas que laboran en la estación, sólo incluye a la gente que se encuentra laborando de base. No incluye a los choferes ni personal de los camiones recolectores y camiones de transferencia.

**NUMERO DE TRANSFERENCIA.** Es la cantidad de camiones de transferencia que da servicio a una estación de transferencia en el día. A lo largo de la jornada un camión de transferencia hace al menos dos viajes al relleno sanitario.

---

**OLORES.** Es la impresión que los efluvios producen en el olfato o aquello que es capaz de producir esa impresión. La emanación de los olores se debe controlar para evitar quejas de los vecinos.

**PRODUCCIÓN DE FAUNA NOCIVA.** Dentro de las instalaciones se pueden generar moscas, cucarachas y roedores. En otras ocasiones los mismos residuos en los camiones recolectores ya traen insectos y roedores. Idealmente, la estación se debe fumigar periódicamente para evitar el crecimiento de vectores.

**RESIDUOS POR MANTENIMIENTO.** Son los residuos generados por llevar a cabo labores de mantenimiento en las unidades de transferencia, recolectores y en general, en toda la estación.

**RUIDO.** Es el sonido que es desarticulado y que resulta molesto a la percepción humana.

**SALUD DEL PERSONAL.** Es el nivel de bienestar que tiene el personal que labora en la estación. Dependiendo de la salud que tenga el personal dependerá la manera en que se desempeña en sus actividades dentro de la estación de transferencia.

**SALUD DE LOS VECINOS.** Condiciones físicas en que se encuentra un organismo en un momento determinado. Para el caso de las estaciones, los vecinos no deben enfermarse debido a la operación normal de ésta.

**SERVICIOS PÚBLICOS.** Infraestructura que el estado construye para satisfacer el conjunto de necesidades sociales y cuyas funciones pueden ser exclusivas de él o pueden ser concesionadas a particulares. Parte de los servicios públicos son el alumbrado de calles y jardines, servicio de limpia, drenaje, agua potable, servicios educativos, etc.

**SINDICATO.** Es la organización obrera que protege los derechos de los trabajadores que laboran en las estaciones. Los sindicatos operan sólo en algunas estaciones que se encuentran operadas por ellos.

**TIEMPOS DE ESPERA.** Es el tiempo que debe esperar un camión recolector para llevar a cabo el vaciado de los residuos en las tolvas. Cuando existen demasiados camiones los tiempos de espera se incrementan.

---

**TRÁNSITO.** Actividad de personas y vehículos que pasan por una calle o una carretera. El tránsito alrededor de una estación de transferencia puede afectarse debido al incremento en el flujo de camiones y vehículos recolectores.

**UBICACIÓN.** Lugar en el que se encuentran las instalaciones de la estación. Uno de los puntos más importantes en el diseño de una estación, es la ubicación. Se debe buscar el equilibrio entre las distancias de recorrido de las distintas rutas de recolección, se debe buscar el punto central del área de recolección.

**VALOR DE LOS RESIDUOS RECUPERABLES.** Se refiere al grado de utilidad o aptitud de las cosas, para satisfacer las necesidades o proporcionar bienestar o deleite. Grado de utilidad o estimación que tienen para el hombre aquellos bienes de todo tipo, que satisfacen sus necesidades materiales o culturales.

**VIDA ÚTIL DE LA ESTACIÓN.** Es el tiempo para el cual fue diseñada la estación de transferencia. Este tipo de instalaciones son diseñadas para más de 20 años de vida con un mínimo de mantenimiento. Si se requiere, se pueden hacer acondicionamientos para mejorar el funcionamiento de la estación.

**VOLUMEN DE RESIDUOS.** Magnitud física que expresa la extensión de los residuos en tres dimensiones: largo, ancho y alto. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro cúbico ( $m^3$ ). Se refiere al volumen de los residuos transferidos en un día por la estación.

---

---

## Índice de tablas

1. MARCO LEGAL APLICABLE AL MANEJO DE RESIDUOS EN LA REPÚBLICA MEXICANA .....	5
2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES PARA INSTALACIONES DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS .....	12
3. LÍMITES DE EMISIÓN EN ALEMANIA Y LA COMUNIDAD EUROPEA .....	13
4. LÍMITES DE EMISIONES EN ESTADOS UNIDOS .....	14
5. POBLACIÓN POR DELEGACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL .....	18
6. TASAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL PARA EL DISTRITO FEDERAL.....	20
7. POBLACIÓN ESTIMADA POR DELEGACION .....	21
8. POBLACIÓN Y RESIDUOS GENERADOS POR DELEGACIÓN HASTA EL AÑO 2020.....	24
9. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO .....	26
10. SUPERFICIE DE LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.....	27
11. CANTIDADES TRANSFERIDAS.....	28
12. DISTANCIA DESDE EL PUNTO DE ORIGEN AL DESTINO FINAL .....	29
13. COBERTURA DE LAS ESTACIONES DE TRASNFERENCIA .....	30
14. FACTORES DE EMISIÓN PARA INCINERADORES .....	39
15. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS EN BORDO PONIENTE.....	50
16. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS .....	50
17. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN LA ZONA.....	52
18. CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO SEGÚN LA ZONA.....	53
19. LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	60
20. AGRUPACIÓN DE VARIABLES .....	62
21. VALORES DE LOS CRITERIOS A EVALUAR EN LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.....	67
22. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR UNA PLANTA INCINERADORA DE RSM .....	81
23. COMPARACIÓN ENTRE LOS LÍMITES DE EMISIÓN.....	83

---

---

## Índice de figuras

1. DISTRITO FEDERAL Y ÁREA CONURBADA.....	17
2. POBLACIÓN POR DELEGACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL .....	19
3. TASAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL, NACIONAL Y PARA EL DISTRITO FEDERAL.....	20
4. ESTIMACIONES POBLACIONALES POR DELEGACIÓN (COMPARACIÓN).....	22
5. CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS POR DELEGACIÓN .....	25
6. PURIFICACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN .....	36
7. ESQUEMA DEL CONTROL DE EMISIONES .....	37
8. TAMAÑO DE PARTÍCULA EN LOS GASES DE SALIDA DE UN INCINERADOR DE RSM.....	37
9. INCINERADOR DE INYECCIÓN LÍQUIDA .....	41
10. INCINERADOR DE HORNO MÚLTIPLE .....	43
11. INCINERADOR DE LECHO FLUIDIZADO .....	44
12. INCINERADOR ROTATORIO .....	45
13. PARRILLAS ALTERNATIVAS PARA LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS .....	48
14. GRÁFICA INFLUENCIA-DEPENDENCIA .....	57
15. RESULTADO GRÁFICO DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	63
16. RESULTADOS DEL PROGRAMA EXPERT CHOICE®.....	68
17. UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA EN IZTAPALAPA.....	71
18. INSTALACIONES DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA IZTAPALAPA.....	73
19. DIAGRAMA DE PROCESO DEL SISTEMA DE INCINERACIÓN PROPUESTO.....	78
20. PROPUESTA PARA EL ARREGLO DE LAS INSTALACIONES.....	80
2-1 VIALIDADES Y LOCALIZACIÓN DE SEMÁFOROS EN LOS ALREDEDORES DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA EN IZTAPALAPA .....	99
2-2. DISPOSICIÓN DE LAS INSTALACIONES DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA EN IZTAPALAPA..	100
2-3. RECORRIDOS DE LOS CAMIONES RECOLECTORES Y DE LOS CAMIONES DE TRANSFERENCIA DENTRO DE LAS INSTALACIONES.....	101
3-1. OBJETIVO GENERAL Y LOS CUATRO CRITERIOS DE SELECCIÓN .....	102
3-2. COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES CON RESPECTO AL ÁREA DE COBERTURA.....	102
3-3. COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES CON RESPECTO A LA COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS .	103

---

3-4. COMPARACIÓN DE LAS ESTACIONES CON RESPECTO A LA DISTANCIA AL RELLENO SANITARIO	103
3-5. COMPARACIÓN DE LOS CUATRO CRITERIOS DE SELECCIÓN .....	104
3-6. PESOS RELATIVOS CALCULADOS PARA CADA CRITERIO .....	104
3-7. EVALUACIONES FINALES PARA LAS ESTACIONES DE TRANSFERENCIA .....	105
4-1. CAMELLÓN FRENTE A LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA.....	106
4-2. VISTA EXTERIOR DE LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA.....	106
4-3. VIALIDADES EXTERNAS.....	106
4-4. ACCESO A LA ESTACIÓN .....	106
4-5. ESTACIONAMIENTO PARA LAS UNIDADES DE TRANSFERENCIA .....	106
4-6. ESTACIONAMIENTO Y TALLER PARA LAS UNIDADES DE TRANSFERENCIA.....	106
4-7. TOLVA PARA LA TRANSFERENCIA DE RESIDUOS .....	107
4-8. TOLVA Y SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVOS.....	107
4-9. PATIO DE MANIOBRAS .....	107
4-10. MANIOBRAS PARA LA TRANSFERENCIA.....	107
4-11. TRANSFERENCIA DE RESIDUOS .....	107
4-12. LLENADO DE LOS CAMIONES DE TRANSFERENCIA .....	107
4-13. RAMPA DE SALIDA DE LOS CAMIONES RECOLECTORES (A).....	108
4-14. RAMPA DE SALIDA DE LOS CAMIONES RECOLECTORES (B).....	108
4-15. LAVADO Y CUBIERTA DE LOS CAMIONES DE TRANSFERENCIA .....	108
4-16. SALIDA DE LOS CAMIONES DE TRANSFERENCIA .....	108
5-1. HAMBURGO, ALEMANIA.....	109
5-2. SUIZA, 1994.....	109
5-3. SAITAMA TOBU, JAPÓN .....	109
5-4. ROUEN, FRANCIA.....	109
5-5. VISTA INTERIOR DE UN POZO .....	110
5-6. SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA .....	110
5-7. SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA .....	110
5-8. PATIO DE MANIOBRAS PARA DESCARGA DE RESIDUOS .....	111
5-9. PLANTA DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS.....	111



---

## Resumen

En la ciudad de México, diariamente se generan alrededor de 12,000 toneladas de RSM y es posible que para el año 2025 se generen alrededor de 16,000 toneladas. Los cálculos realizados para estimar el poder calorífico de los residuos en la ciudad arrojaron un promedio de 2,185 kcal/kg (9.1 MJ/kg) lo cual es suficiente para mantener la autocombustión (JICA, 1999), pero varía según la zona y la época del año. Para seleccionar una estación de transferencia en la que sea posible colocar un incinerador de residuos sólidos se establecieron criterios de evaluación. Se encontró que la composición de los residuos, el área de cobertura de la estación, la distancia al relleno sanitario y el área de las instalaciones eran los criterios de selección; con ellos se estableció que la estación Iztapalalpa es la más factible para construir una planta incineradora. En la legislación nacional existe el proyecto de norma Proy-NOM-098-ECOL-2000 la cual especifica los límites de emisión de contaminantes; se encontró que están acordes con la normatividad internacional.

---

## Capítulo 1

# Introducción

El manejo actual de los residuos sólidos tiene su antecedente en 1941 cuando se promulgó el primer Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal; así se trabajó hasta el 27 de julio de 1989 cuando se emitió el Reglamento para el Servicio de Limpia en el Distrito Federal (DOF, 1989).

Desde los cuarenta la administración y manejo de los residuos sólidos sufrió importantes modificaciones tales como la creación de la Oficina de Limpia y Barrido de Calles; la descentralización de los servicios de limpia y recolección; la responsabilidad de las delegaciones políticas en el manejo de sus residuos; la construcción de estaciones de transferencia y la reorganización de la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU). Una de las acciones más importantes realizadas por la DGSU fue el impulso y fortalecimiento del sistema de transferencia y la implementación de programas diferenciados en unidades médicas y clínicas, así como la recolección nocturna.

Fue en la década de los ochenta cuando se realizaron acciones importantes en torno a la disposición final de los residuos sólidos. Se clausuraron los tiraderos existentes y en Bordo Poniente se introdujo la operación de un relleno sanitario el cual trabaja actualmente bajo el mismo esquema (SOS, 2001).

Sin embargo este relleno está llegando al término de su vida útil y será necesario buscar otros lugares en donde se pueda construir un nuevo sitio de disposición; los posibles lugares serían Pachuca, Morelos o el Estado de México. Si las estaciones de transferencia siguen funcionando como hasta ahora, el costo y el tiempo de recorrido de los camiones de transferencia también aumentarán. Actualmente las trece estaciones de transferencia cumplen una función primordial dentro del esquema de la Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal para el manejo de los RSM (GDF, 2004). Sirven como paso

---

intermedio para transportar casi la totalidad de los residuos sólidos hacia el sitio de disposición final o a las plantas de selección existentes.

La incineración de residuos es una técnica de tratamiento que se utiliza con éxito en muchos países y es posible utilizarla para tratar los residuos de la Ciudad de México. En este trabajo se propone colocar incineradores de RSM en las estaciones de transferencia. La propuesta podría ayudar a resolver parcialmente la problemática que se tiene en el manejo de los residuos sólidos y debe contemplarse sólo como una parte del sistema integral de manejo de residuos.

### **Objetivo Principal.**

Llevar a cabo un análisis técnico para la localización de incineradores en estaciones de transferencia de la Ciudad de México utilizando métodos prospectivos y multicriterio.

### **Objetivos Particulares.**

- Elaborar un diagnóstico sobre el manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de México y sus características de acuerdo a las estaciones de transferencia.
- Investigar sobre el poder calorífico de los residuos sólidos que ingresan a las estaciones de transferencia de la Ciudad de México considerando los datos presentados en la bibliografía.
- Seleccionar una estación de transferencia viable para la incineración de RSM tomando en cuenta los criterios proporcionados por el método prospectivo y el análisis jerárquico multicriterio.
- Establecer las condiciones de operación de la unidad incineradora basándose en el poder calorífico inferior, la humedad y el flujo de residuos.
- Proponer un equipo incinerador capaz de transformar los RSM de la estación seleccionada considerando los datos técnicos de los fabricantes de estas unidades.

---

## Metodología

- Recopilar información bibliográfica sobre el manejo de los residuos sólidos y el sistema de transferencia en la Ciudad de México en la Dirección General de Servicios Urbanos y otras fuentes.
- Investigar sobre las condiciones de operación en las estaciones de transferencia de residuos sólidos en la Ciudad de México por medio de información bibliográfica y visitas a las estaciones.
- Revisar el marco regulatorio nacional e internacional aplicables a la incineración de residuos para realizar una comparación en cuanto a los límites de emisión.
- Establecer criterios particulares para seleccionar una estación de transferencia por medio de técnicas de decisión (método prospectivo).
- Realizar una ponderación por medio de técnicas de evaluación para descartar las estaciones que no sean viables para colocar un incinerador.
- Recopilar información técnico-económica de fabricantes de incineradores de residuos sólidos.
- Elegir un posible equipo para una planta incineradora apoyándose en las características particulares del lugar seleccionado, el tipo y la cantidad de residuos a incinerar.

---

## Capítulo 2

# ***Marco Regulatorio Nacional e Internacional aplicable a la incineración de residuos***

### **2.1 Marco nacional**

Con la finalidad de prevenir y regular los efectos ambientales que ocasionaban la generación, almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los residuos a finales de la década de los ochenta se expidieron una serie de leyes y reglamentos (INE, 1999). Con la expedición de las leyes ambientales de los estados y de la LGEEPA se buscó establecer la responsabilidad del Gobierno Federal de expedir normas técnicas para el manejo de los residuos sólidos y la responsabilidad de los estados y municipios de manejar sus propios residuos.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en el artículo 115 la responsabilidad de los municipios en el manejo de los residuos sólidos. Al respecto existen Normas Oficiales Mexicanas que:

- ◆ Establecen las características técnicas con las que debe cumplir la construcción y operación de un relleno sanitario.
- ◆ Clasifican y determinan a los residuos peligrosos y la manera en que éstos deben manejarse.

En el caso de la Ley General de Salud se identifican las disposiciones relacionadas con el servicio público de limpia, en el cual se orienta a promover y apoyar el saneamiento básico, tendientes a la protección de la salud humana, con el fin de aumentar o mantener su calidad de vida.

En el Artículo 118, Fracción V, se le atribuyen a la Secretaría de Salud el asesoramiento en criterios de ingeniería sanitaria de obras públicas y privadas para cualquier uso. Si bien la

Secretaría de Salud no se involucra directamente con los proyectos, esta puede fincar los lineamientos a seguir en este tipo de actividades así como las especificaciones normativas para su diseño y que tienen que ver con seguridad e higiene en el trabajo, ruido y emisiones a la atmósfera. En la tabla 1 se explica de manera general el marco legal aplicable en la República Mexicana en cuanto al manejo de residuos sólidos (INE, 1999a).

**Tabla 1.** Marco legal aplicable al manejo de residuos en la República Mexicana

<b>Ordenamiento</b>	<b>Descripción</b>
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Indica que los servicios públicos municipales deben ser prestados por los ayuntamientos (Art. 115).
Ley General de Salud	Establece las disposiciones relacionadas al servicio de limpia en donde se promueve y apoya el saneamiento básico, se establecen normas y medidas tendientes a la protección a la salud humana para aumentar su calidad de vida.
Ley general de equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Establece que la generación y manejo de residuos sólidos no peligrosos quedan sujetos a autorización y legislación estatal o en su caso municipal; disposición final de residuos sólidos no peligrosos mediante rellenos sanitarios.
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos	Se refiere a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos en el territorio nacional.
Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas	Establecen la forma y procedimientos aplicables al manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos.
Constitución Política Estatal	Dentro de los artículos referentes a los municipios se hace referencia a las facultades que tiene los ayuntamientos para prestar el servicio de limpia pública.
Ley Estatal de Protección al Ambiente	Establece disposiciones obligatorias para cada estado, así como los fundamentos para el manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos.
Ley orgánica del Municipio Libre	Establecen las atribuciones de los ayuntamientos para nombrar las comisiones que atienden los servicios públicos.
Bando de Policía y buen gobierno	Plantean el conjunto de normas y disposiciones que regulan el funcionamiento de la administración pública municipal.
Reglamento de Limpia	Regula específicamente asuntos administrativos, técnicos, jurídicos y ambientales para la prestación del servicio de limpia.

(INE, 1999a)

### **2.1.1 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente**

No hay artículos exclusivos para la incineración de residuos sólidos, sin embargo, hay algunos que de alguna manera involucran a este proceso:

---

Son facultades de la Federación...la regulación de la contaminación de la atmósfera, proveniente de todo tipo de fuentes emisoras, así como la prevención y control en zonas o en caso de fuentes fijas y móviles de jurisdicción nacional...(art. 5).

En el mencionado artículo se establece la necesidad del fomento de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan la emisión de contaminantes provenientes de cualquier fuente.

Corresponden a los estados..., la prevención y control de la contaminación proveniente de fuentes fijas que no sean de competencia federal..., la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos...(art.7). En el artículo noveno se establecen estas mismas atribuciones para el Distrito Federal.

En cuanto a la necesidad de una evaluación de impacto ambiental la sección cuarta en su artículo 28 fracción IV establece que requerirán previamente la autorización por parte de la Secretaría...,"instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como de residuos radioactivos."

Para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción Federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, se requerirá autorización de la Secretaría. Se considerarán fuentes fijas de jurisdicción Federal..., "generación de energía eléctrica,..., tratamiento de residuos peligrosos" (art. 111. Bis).

De igual manera se establece en el artículo 112 la jurisdicción de los Estados, Municipios y el Distrito Federal sobre la prevención y control de la contaminación en el ámbito local.

Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerará el control de los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación del suelo. Que es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos municipales e industriales (art. 134).

Queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Distrito Federal conforme a sus leyes locales y a las normas oficiales que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales (art. 137).

---

---

En ningún caso podrá autorizarse la importación de residuos para su derrame, depósito, confinamiento, almacenamiento, incineración o cualquier otro tratamiento para su destrucción o disposición final en el territorio nacional (art. 142).

### **2.1.2 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos**

En octubre de 2003 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación esta ley cuyo objeto es garantizar a toda persona el derecho a un medio ambiente adecuado a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, urbanos y especiales.

La ley se compone de varios títulos, en el primero se explica sobre los criterios para el manejo integral de residuos sólidos; su valorización, la reducción en la generación, clasificación e inventario de residuos. En esta ley surge por vez primera el concepto de "responsabilidad compartida" en donde se reconoce que los residuos urbanos y especiales deben ser manejados con responsabilidad compartida en donde se requiere de la participación conjunta y coordinada de los productores, distribuidores, consumidores, usuarios y de los tres ordenes de gobierno. Todos bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental.

De igual manera se establece la existencia de residuos especiales cuyo manejo debe ser diferenciado por tratarse de residuos que no se engloban ni en los municipales ni en los peligrosos.

El título segundo aborda las atribuciones de la Federación, las entidades federativas (estados) y de los municipios. En este sentido la Federación y los estados deben emitir la normatividad correspondiente así como los instrumentos legales para su aplicación. De los municipios; tienen a su cargo las funciones del manejo de los residuos. Para el caso del Distrito Federal, se le confieren las mismas responsabilidades que a los estados y municipios.



---

En el título tercero se especifica que corresponde a la Secretaría (SEMARNAT) la clasificación de los residuos y dar a conocer esta información a los generadores para anticipar el comportamiento de los residuos en el ambiente.

En cuanto a los planes de manejo se promoverá la minimización de la generación y la valorización de los residuos. Los planes atenderán el principio de responsabilidad compartida de los generadores de productos de consumo que al desecharse se conviertan en residuos peligrosos.

Sobre la prevención y manejo integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial se establece la competencia de los estados y municipios para el manejo de los residuos, es decir, la recolección, acopio, almacenamiento, reciclaje, tratamiento y transporte de residuos.

### **2.1.3 Ley Ambiental del Distrito Federal y sus Disposiciones Complementarias**

Para el caso del Distrito Federal existe reglamentación bien establecida en cuanto a la prevención y control de la contaminación. En el artículo 2 sección I se dice que la aplicación de la Ley se hará en el caso de la contaminación ambiental para fuentes fijas que se encuentren bajo la jurisdicción local, de igual manera compete a las autoridades locales la regulación, prevención y control de la contaminación de agua y suelo que no competen a la Federación.

Corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal la emisión de normas ambientales (art. 36). En cuanto al manejo de residuos sólidos se establece que corresponde a la Secretaría otorgar permisos para las instalaciones de tratamiento, recuperación, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos no peligrosos (art. 171).

### **2.1.4 Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal**

En el artículo 53 se establece la prohibición de quemar, depositar o descargar al aire libre materiales o residuos. Por quema se entiende si ésta se realiza fuera de las instalaciones que para tal efecto fueron diseñadas.

---

La recolección y transporte de residuos así como la construcción, equipamiento y operación de las estaciones de transferencia, plantas de tratamiento se llevarán a cabo basándose en las normas y demás disposiciones jurídicas existentes (art. 66). Las actividades de manejo de residuos se llevarán a cabo por la Dirección General de Servicios Urbanos, las Delegaciones o por particulares concesionados.

### **2.1.5 Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal.**

Fue publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003 y tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos así como la prestación del servicio de limpia. En materia de tratamiento de residuos se establece que:

Corresponde a la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal emitir opiniones sobre el diseño, construcción, operación y cierre de estaciones de transferencia y tratamiento (art. 6, sección IV). Emitir normas ambientales en la materia (sección VIII).

Debe planear, organizar, controlar y vigilar la prestación del servicio de limpia en todas sus etapas. Debe emitir criterios y normas técnicas, autorizar y registrar establecimientos relacionados con la recolección, manejo y tratamiento de residuos (art. 7).

Es responsabilidad de las personas físicas o morales; separar, reducir y evitar la generación de residuos sólidos (art. 24).

- Todos los generadores deben separar sus residuos en orgánicas e inorgánicas dentro de sus domicilios, establecimientos, empresas y centros educativos (art. 33).
- La Secretaría de Obras y Servicios diseñará el sistema de transferencia, selección y tratamiento de los residuos (art. 43).
- Las instalaciones de tratamiento térmico deberán cumplir con lo establecido por la legislación vigente. Los propietarios deberán realizar reportes mensuales para la autoridad competente. La Secretaría emitirá norma ambiental para el Distrito Federal que establezca los requisitos, condiciones, parámetros y límites permisibles para actividades relacionadas con el tratamiento térmico de los residuos (art. 48).

---

En la legislación nacional quedan establecidas las atribuciones de cada orden de gobierno (Federal, Estatal y Municipal) para el manejo de los residuos sólidos no peligrosos. Para el caso del Distrito Federal se observa que debe llevar a cabo el servicio de limpia fomentando acciones como la minimización, separación, reuso, reciclado y tratamiento de los residuos. No obstante, muchas de las acciones emprendidas hasta el momento tienen que ver con la disposición final.

### **2.1.6 Normas Oficiales Mexicanas**

Las Normas Oficiales Mexicanas que existen en materia de residuos involucran la caracterización de los mismos, tales como la determinación de la generación y la composición de los residuos.

NOM-AA-15-1985. Método de cuarteo

NOM-AA-19-1985. Peso volumétrico in situ

NOM-AA-22-1985. Selección y cuantificación de subproductos.

NOM-AA-52-1985. Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis

NOM-AA-61-1985. Generación per cápita de residuos sólidos municipales.

Además existe el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-098-ECOL-2000 para la incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisiones de contaminantes. En ella se establece la terminología a utilizarse, especificaciones generales sobre la recepción de residuos, la operación de las instalaciones, medición en chimenea y límites de emisiones a la atmósfera.

Especificaciones generales. Se establece la obligación de presentar un protocolo de pruebas a la autoridad competente. Se debe contar con un operador calificado, bitácoras aplicables a la recepción, almacenamiento y del proceso de incineración (sistemas de control de emisiones, monitoreo de contaminantes y disposición de residuos sólidos).

---

Recepción de los residuos. Se debe presentar manifiesto de entrega-transporte-recepción de residuos peligrosos. Se debe verificar al ingreso la composición física y química.

Operación de una instalación de incineración. La instalación debe contar con área de almacenamiento con una capacidad mínima de por lo menos dos veces la capacidad diaria. Debe contar con planta generadora de energía eléctrica, sistema de pesaje y un laboratorio. La temperatura mínima dentro del horno debe ser de 850°C con un tiempo de residencia de al menos dos segundos. La alimentación de los residuos no será manual. Se debe contar con un programa para Atención de Contingencias y que los residuos producto de la incineración deben ser caracterizados previos a su disposición.

Medición en chimenea. Se debe contar al menos con un equipo de monitoreo continuo para la temperatura del horno y de las emisiones de CO y CO<sub>2</sub>.

Emisiones a la atmósfera. Los límites máximos permisibles se muestran la tabla 2 y se aplicarán en toda la operación de la planta. La temperatura máxima de los gases en la chimenea deberá ser menor a 250°C.

### **2.1.7 Normas Mexicanas**

Las Normas Mexicanas en materia de residuos sólidos que existen hasta el momento abarcan determinaciones en laboratorio.

NMX-AA-16-1984. Determinación de la humedad.

NMX-AA-18-1984. Determinación de cenizas.

NMX-AA-24-1984. Determinación de nitrógeno total.

NMX-AA-25-1984. Determinación de pH, método potenciométrico.

NMX-AA-92-1984. Determinación de azufre.

NMX-AA-21-1985. Determinación de materia orgánica.

NMX-AA-33-1985. Determinación del poder calorífico.

NMX-AA-67-1985. Determinación de la relación carbono/nitrógeno.

NMX-AA-68-1986. Determinación de hidrógeno.

NMX-AA-90-1986. Determinación de oxígeno.

**Tabla 2.** Límites máximos permisibles de emisiones para instalaciones de incineración de residuos.

Contaminante	Límite de emisión	Frecuencia de medición	Norma que aplica o método
CO (mg/m <sup>3</sup> )	63	CONTINUO	INFRARROJO NO DISPERSIVO
HCl (mg/m <sup>3</sup> )	15	SEMESTRAL	NMX-AA-070-1980
NOx (mg/m <sup>3</sup> )	300	SEMESTRAL	QUIMILUMINISCENCIA
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	80	SEMESTRAL	NMX-AA-55-1979
PARTICULAS (mg/m <sup>3</sup> )	50	SEMESTRAL	NMX-AA-10-1974
ARSENICO SELENIO COBALTO NIQUEL MANGANESO ESTAÑO (mg/m <sup>3</sup> )	0.7*	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
CADMIO (mg/m <sup>3</sup> )	0.07	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
PLOMO CROMO total COBRE ZINC (mg/m <sup>3</sup> )	0.7*	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
MERCURIO (mg/m <sup>3</sup> )	0.07	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
DIOXINAS Y FURANOS EQT (ng/m <sup>3</sup> )	0.5	ANUAL	METODO CENICA-DYF-05

(PROY-NOM-098-ECOL-2000), Adaptación.

## 2.2 Marco Internacional

### 2.2.1 Alemania y Comunidad Económica Europea

Un país líder en la incineración de residuos es Alemania, la legislación básica se compone de la Ley Federal de Protección al Ambiente, en ella se describen las medidas básicas para la protección del medio ambiente provocados por contaminantes atmosféricos, ruidos y otros proceso similares. También existen la Guía Técnica de Desechos y la Guía Técnica de Aire. Para la Comunidad Europea existe la Directiva 2000/76/CE (DO, 2000) relativa a la incineración de residuos sólidos, en donde se establecen los límites de emisión a la atmósfera y en las aguas de tratamiento provenientes de la depuración de gases. A continuación se reproducen los valores de las normas de emisión a la atmósfera para incineradores en Alemania y Europa (tabla 3).

Se puede observar que en Alemania de 1990 a 1996 se redujeron los límites para partículas,

Tabla 3. Límites de emisión en Alemania y la Comunidad Europea.

Sustancias Contaminantes	Alemania 1990 <sup>a</sup>	Alemania 1996 <sup>a</sup>	CE 1994 <sup>a</sup>	CE 2000 <sup>b</sup>
	(st 11% O <sub>2</sub> )	(st 11% O <sub>2</sub> )	(st 11% O <sub>2</sub> )	(st 11% O <sub>2</sub> )
HF (mg/m <sup>3</sup> )	2	1	1	1
HCl (mg/m <sup>3</sup> )	10	10	10	10
Cl <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	-	5	-	-
SO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	50	50	50	50
CO (mg/m <sup>3</sup> )	50	50	50	50
Hidrocarburos (mg/m <sup>3</sup> )	10	10	10	10
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	200	200	200	200
Partículas (mg/m <sup>3</sup> )	20	10	10	10
Cd + Ti (mg/m <sup>3</sup> )	0,1	0,05	0,05	0,05
Hg (mg/m <sup>3</sup> )	0,1	0,05	0,05	0,05
Metales* (mg/m <sup>3</sup> )	1	0,5	0,5	0,05
Dioxinas (ng/m <sup>3</sup> )	1	0,1	0,1	0,1

\* Sb+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+Sn+V

a. (Petunchi, 1999). Adaptación.

b. (DO, 2000)

mercurio, metales y dioxinas a la mitad. Para la Comunidad Europea de 1994 a 2000 se mantienen igual en todos los rubros a excepción de los metales en donde el límite se redujo a 0.05 (mg/m<sup>3</sup>); no obstante estos límites serán revisados en el 2008 dependiendo de la evolución tecnológica y la experiencia en la operación de estas instalaciones.

## 2.2.2 Estados Unidos

La incineración de los residuos en Estados Unidos es variable, va desde solventes y lodos hasta los productos químicos orgánicos. La Agencia para la Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) regula el control de incineradores, calderas y hornos en la Unión Americana. Dentro de los parámetros de control se tiene la eficiencia de remoción y destrucción de los constituyentes orgánicos de hasta el 99.99%; para las dioxinas y furanos del orden del 99.9999% (INE, 1995). A continuación se resumen los valores de emisión para los Estados Unidos (tabla 4).

**Tabla 4.** Límites de emisión en Estados Unidos (7% oxígeno, 1 atm. y 25°C)

Sustancias Contaminantes	Límites	
CO	➤ De 50 a 150 ppm (promedio de 4 hr) dependiendo del tipo de unidad para nuevas instalaciones y de 50 a 250 ppm para instalaciones en operación.	
NO <sub>x</sub>	➤ Nuevas instalaciones	180 ppm
	➤ Instalaciones en operación > 250 ton/día	180 ppm
SO <sub>x</sub>	➤ Nuevas instalaciones	Máx. 80% de reducción o 30 ppm
	➤ Instalaciones en operación > 250 ton/día	Máx. 75% de reducción o 35 ppm
	➤ Instalaciones en operación < 250 ton/día	Máx. 50% de reducción o 80 ppm
Partículas	➤ Nuevas instalaciones	15 mg/dscm
	➤ Instalaciones en operación > 250 ton/día	27 mg/dscm
	➤ Instalaciones en operación < 250 ton/día	69 mg/dscm

**Tabla 4.** Límites de emisión en Estados Unidos (7% oxígeno, 1 atm y 25°C). (Continuación)

<b>Sustancias Contaminantes</b>	<b>Límites</b>	
HCl	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nuevas instalaciones</li> <li>➤ Instalaciones en operación &gt; 250 ton/día</li> <li>➤ Instalaciones en operación &lt; 250 ton/día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>95% de reducción ó 25 ppm</li> <li>95% de reducción ó 35 ppm</li> <li>50% de reducción ó 250 ppm</li> </ul>
Metales pesados	Englobados con las partículas	
Dioxinas y Furanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nuevas instalaciones</li> <li>➤ Instalaciones en operación &gt; 250 ton/día</li> <li>➤ Instalaciones en operación &lt; 250 ton/día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.6 ng/dscm</li> <li>30 ng/dscm</li> <li>60 ng/dscm</li> </ul>

(INE, 1995)

Comparando las tablas 3 y 4 se puede observar que en los Estados Unidos los límites son superiores (a excepción de los  $\text{No}_x$ ); la diferencia sustancial se ve en el caso de las dioxinas y furanos ya que en Europa son de  $0.1 \text{ ng/m}^3$  y en los Estados Unidos son de  $30 \text{ ng/m}^3$  para instalaciones que ya están en operación y que tratan más de 250 toneladas al día.



---

## Capítulo 3

# ***Manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de México***

### **3.1 Aspectos Generales**

En la figura uno se observa que el Distrito Federal forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). En total tiene una superficie que equivale al 0.1% del territorio nacional (aproximadamente 1,489 km<sup>2</sup>) y se encuentra a una altitud de 2240 msnm. Limita al norte, este y oeste con el Estado de México y al sur con el Estado de Morelos (INEGI, 2002). El Gobierno está a cargo de los Poderes Federales y del Legislativo, del Ejecutivo y Judicial local:

- La Asamblea Legislativa del Distrito Federal
- El jefe de Gobierno del Distrito Federal
- El Tribunal Superior de Justicia

### **3.2 Cálculo de la población para el año 2020**

Debido a la dinámica poblacional que ha tenido la ciudad en los últimos años es muy difícil establecer si la tasa de crecimiento seguirá siendo la misma para cada delegación; en este estudio se utilizará la tasa de crecimiento promedio que se estima tendrá la ciudad del 2001 al 2010 la cual es 0.057% (INEGI y SIC, 2000). La población por delegación se presenta en la tabla 5 (INEGI, varios años), la tasa de crecimiento para cada delegación se encuentra en la tabla 6.



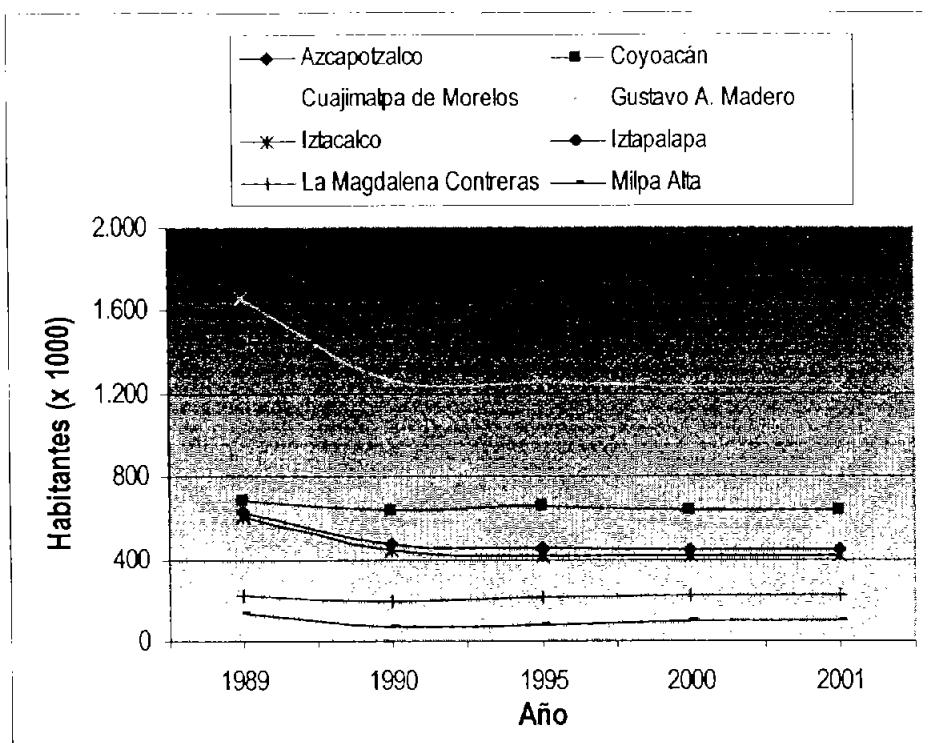
Figura 1. Distrito Federal y Área conurbada (INEGI, 2002).

**Tendencia Poblacional.** En el censo de población y vivienda del año 2000 la población en la Ciudad de México ascendió a 8,591,309 distribuida en las 16 delegaciones (tabla 5); se observa que para el año 2001 el total de la población en el Distrito Federal era de 8,605,239 habitantes. La delegación Iztapalapa sigue siendo la más poblada, seguida por la delegación Gustavo A. Madero. En la figura 2 (a y b) se puede observar que el crecimiento poblacional por delegación se ha mantenido constante a excepción de Iztapalapa en donde se tuvo un incremento importante de 1989 al 2000.

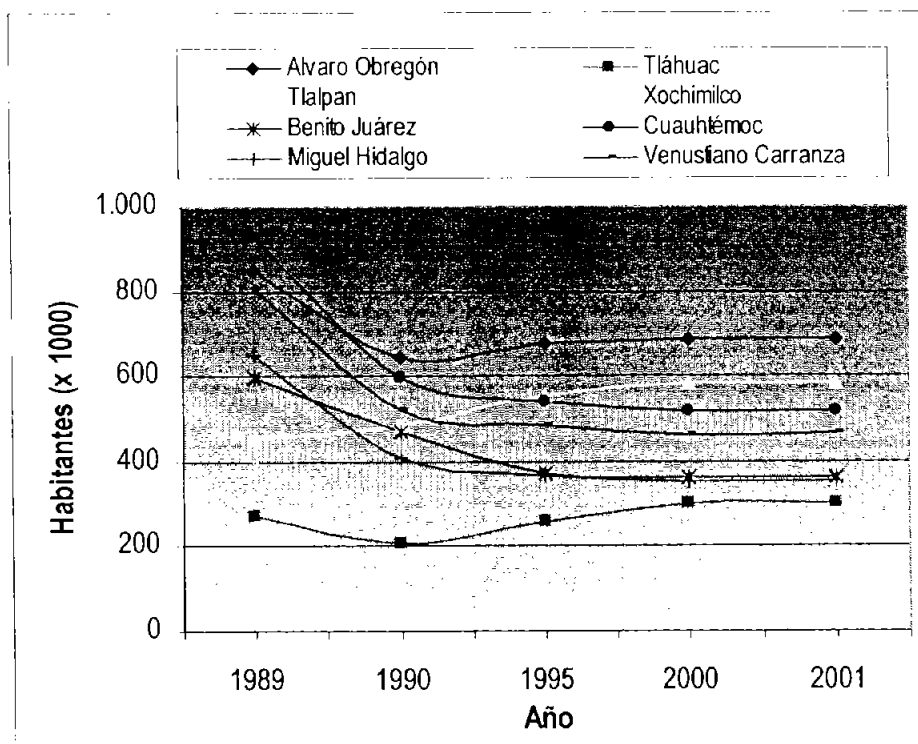
**Tabla 5.** Población por Delegación en el Distrito Federal

Delegación	Años				
	1989 <sup>a</sup>	1990 <sup>b</sup>	1995 <sup>c</sup>	2000 <sup>d</sup>	2001 <sup>e</sup>
Azcapotzalco	624,600	476,688	455,131	440,558	441,008
Coyoacán	683,400	640,066	653,489	639,021	640,423
Cuajimalpa de Morelos	164,800	119,669	136,873	151,127	151,222
Gustavo A. Madero	1,662,700	1,268,068	1,256,913	1,233,922	1,235,542
Iztacalco	607,800	448,322	418,982	410,717	411,321
Iztapalapa	1,442,200	1,490,499	1,696,609	1,771,673	1,773,343
La Magdalena Contreras	225,700	195,041	211,898	221,762	222,050
Milpa Alta	136,500	63,654	81,102	96,744	96,773
Alvaro Obregón	850,300	642,753	676,930	685,327	687,020
Tláhuac	274,000	206,700	255,891	302,483	302,790
Tlalpan	453,500	484,866	552,516	580,776	581,781
Xochimilco	393,700	271,151	332,314	368,798	369,787
Benito Juárez	594,200	467,811	369,956	359,334	360,478
Cuauhtémoc	929,000	595,960	540,382	515,132	516,255
Miguel Hidalgo	649,800	406,868	364,398	351,846	352,640
Venustiano Carranza	805,200	519,628	485,623	462,089	462,806
<b>Distrito Federal</b>	<b>10,497,400</b>	<b>8,297,744</b>	<b>8,489,007</b>	<b>8,591,309</b>	<b>8,605,239</b>

a. INEGI, 1989; b. INEGI, 1993; c. INEGI, 1997; d. INEGI, 2000; e. INEGI, 2001



(a)



(b)

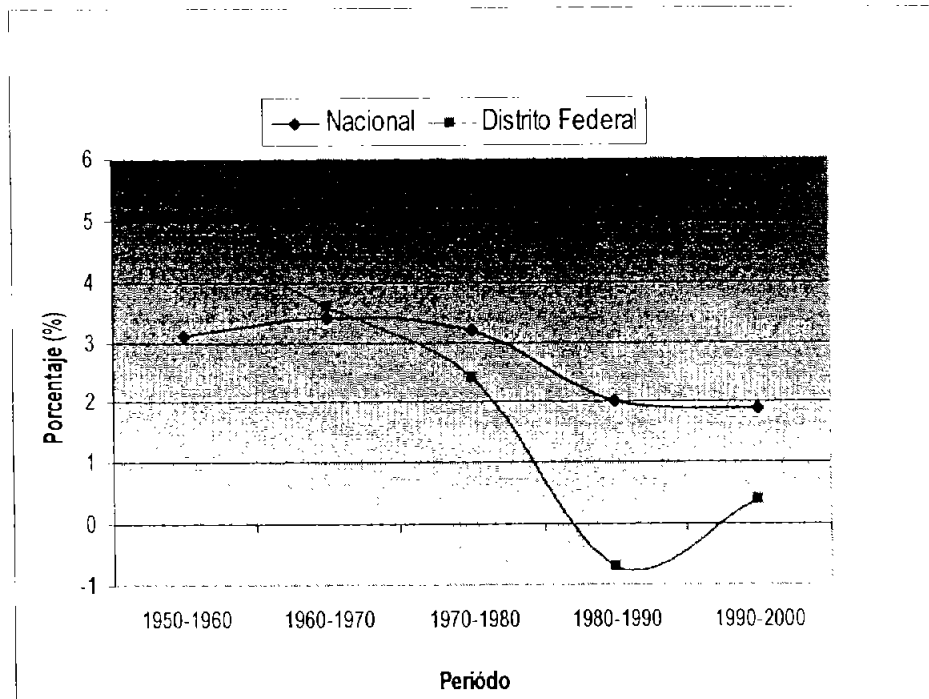
Figura 2. Población por delegación en el Distrito Federal (INEGI, varios años).

La tendencia de crecimiento es importante para estimar la cantidad de residuos que la población generará. Desde los años cincuenta la tasa promedio de crecimiento ha disminuido debido principalmente a las campañas de planificación familiar que el gobierno ha ido impulsado desde hace tiempo. En los ochenta se tuvo una tasa negativa (tabla 6), la cual se debió principalmente a los sismos que se presentaron en 1985 (SSN, 2004).

**Tabla 6.** Tasas de crecimiento poblacional para el Distrito Federal.

Periodo	Nacional	Distrito Federal
1950-1960	3.1	4.8
1960-1970	3.4	3.6
1970-1980	3.2	2.4
1980-1990	2.0	-0.7
1990-2000	1.9	0.4

(INEGI y SIC, 2000)



**Figura 3.** Tasas de crecimiento poblacional Nacional y para el Distrito Federal (INEGI y SIC, 2000)

Se observa que debido a diversos factores el ritmo de crecimiento nacional ha disminuido hasta llegar a 1.9% en el año 2000. En el caso de la Ciudad de México después del decremento en los ochenta, en la década de los noventa el crecimiento poblacional vuelve a tomar una tendencia positiva hasta llegar a 0.4% en el año 2000.

Para propósitos de este estudio se llevará a cabo la estimación de la población en la Ciudad de México para el año 2020; para ello se utilizarán los conteos de población de los años 1990, 1995 y 2000 realizados por el INEGI y que fueron presentados anteriormente.

Existen diversos métodos para realizar estimaciones poblacionales: el logarítmico; el lineal; el geométrico; tasa decreciente y el exponencial. Al realizar las estimaciones y compararlas con las publicadas por INEGI y JICA (tabla 7) se encontró que el método que mejor se ajusta es el exponencial el cual generó valores mas aproximados que los otros métodos propuestos.

**Tabla 7.** Población estimada por Delegación.

<b>Delegación</b>	<b>2010<sup>a</sup></b>	<b>2010<sup>b</sup></b>	<b>2010<sup>c</sup></b>	<b>2020<sup>c</sup></b>
Azcapotzalco	457,333	455,100	453,531	466,409
Coyoacán	690,427	755,100	678,666	719,192
Cuajimalpa de Morelos	189,479	184,500	180,143	214,594
Gustavo A. Madero	1,256,586	1,234,300	1,251,709	1,268,087
Iztacalco	433,791	431,800	428,536	446,471
Iztapalapa	1,936,664	1,867,100	1,898,125	2,031,687
La Magdalena Contreras	240,317	244,600	236,017	250,862
Milpa Alta	116,390	91,200	111,650	128,814
Alvaro Obregón	730,201	731,600	720,081	754,733
Tláhuac	377,458	326,600	359,258	426,256
Tlalpan	662,973	684,00	643,611	712,012
Xochimilco	420,310	375,900	408,269	450,756
Benito Juárez	373,822	390,200	370,714	381,241
Cuauhtémoc	538,846	561,400	533,576	551,477
Miguel Hidalgo	368,071	383,300	364,471	376,699
Venustiano Carranza	480,560	488,900	476,424	490,442
Total en el DF	9,273,236	9,205,600	9,114,778	9,669,733

(a. INEGI, 2002; b. JICA, 1999; c. Calculada)

La fórmula del método exponencial relaciona datos de la población actual con la tasa de crecimiento para los años que se van a estimar.

$$N_{x+k} = N_x e^{rt}$$

Donde:

$N_{x+k}$  es la población en el año  $x+k$

$N_x$  es la población en el año cero

$r$  es la tasa de crecimiento

$k$  es el número de años después del año  $x$

En la figura siguiente se observa que las poblaciones reportadas por JICA e INEGI para el año 2010 son muy parecidos a las calculadas en este trabajo; en este sentido se puede decir que el método de proyección seleccionado es el adecuado para los propósitos de este estudio.

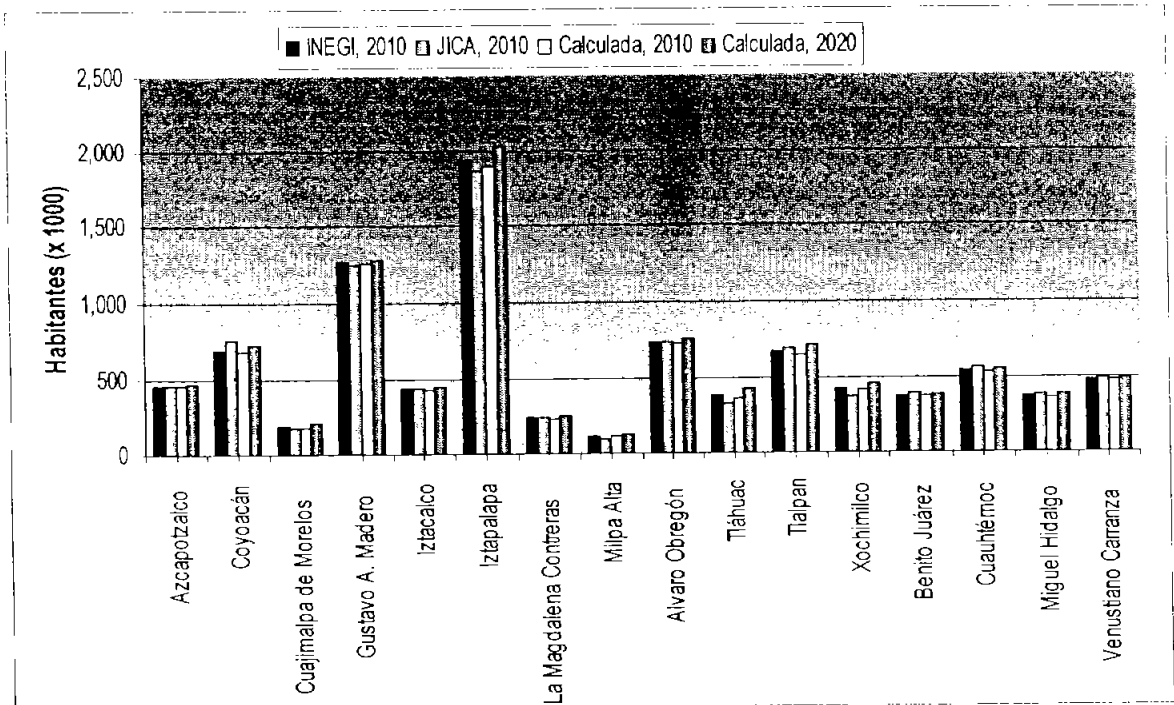


Figura 4. Estimaciones poblacionales por delegación. (Comparación)

---

### **3.3 Manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de México**

#### **3.3.1 Generación de residuos**

La composición de los residuos es muy variada, la Norma Oficial Mexicana que regula el método para determinar la composición es la NOM-AA-15-1985.

Según la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (2002) residuo es cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

La generación es la cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en una unidad de tiempo (NOM-AA-91-1985). En la Ciudad de México la Dirección General de Servicios Urbanos ha realizado numerosos estudios para determinar la tasa de generación en cada fuente (JICA, 1999).

Los estudios para la Ciudad de México publicados por la Agencia para la Cooperación Internacional Japonesa en 1999 indican que la tasa de generación se mantiene prácticamente constante desde 1997 y se espera que continúe igual hasta el año 2010. Para el caso de la generación de residuos sólidos, en el año 1997 se tuvo una generación por habitante de 1.333Kg/día (JICA, 1999). En este estudio se considerará que la relación calculada de la generación de residuos se conservará para todos las delegaciones. Ahora bien, para estimar la generación per cápita para el año 2020 y para tener un escenario mas real se aplicará una tasa de generación del 1% anual (OPS, 1998). Con esta referencia se calculan las tasas de generación por habitante para los años 2010 y 2020. En la tabla 8 se puede observar que de seguir las tendencias actuales la mayor generación se daría en las delegaciones Iztapalapa y Gustavo A. Madero.



**Tabla 8.** Población y residuos generados por delegación hasta el año 2020.

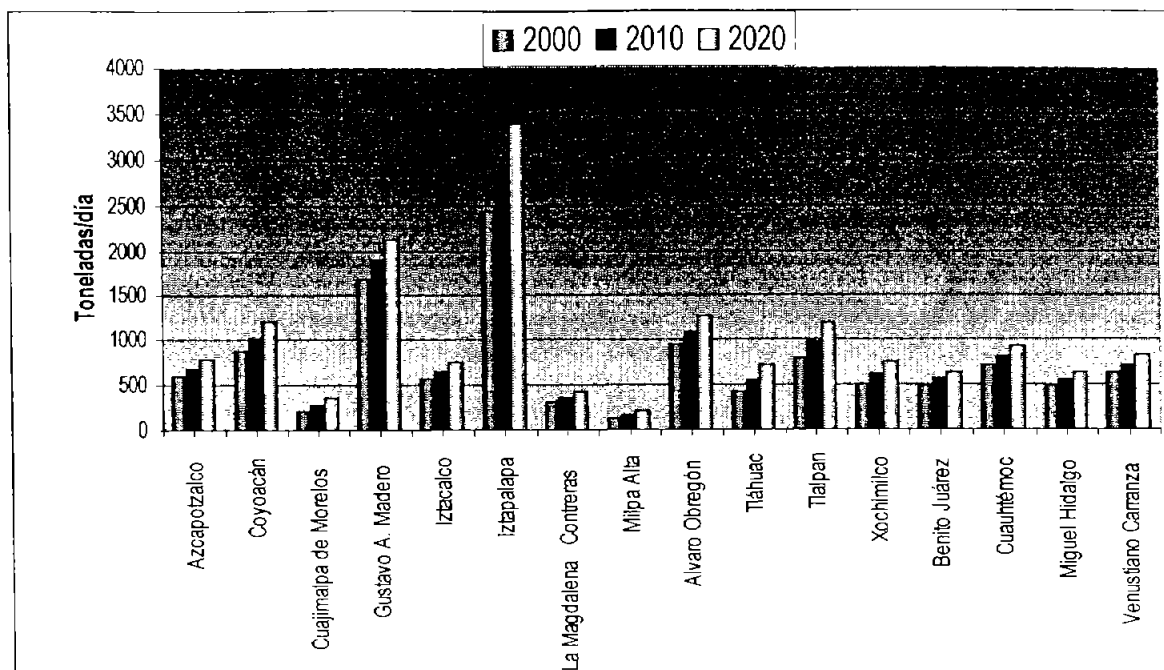
Delegación	2000		2010		2020	
	Población (hab.)	Residuos (ton./día)	Población (hab.)	Residuos (ton./día)	Población (hab.)	Residuos (ton./día)
Azcapotzalco	441,008	603.10	453,531	685.12	466,409	778.28
Coyoacán	640,423	875.81	678,666	1,025.21	719,192	1,200.10
Cuajimalpa de Morelos	151,222	206.80	180,143	272.13	214,594	358.09
Gustavo A. Madero	1,235,542	1,689.67	1,251,709	1,890.86	1,268,087	2,116.02
Iztacalco	411,321	562.50	428,536	647.36	446,471	745.01
Iztapalapa	1,773,343	2,425.14	1,898,125	2,867.36	2,031,687	3,390.22
La Magdalena Contreras	222,050	303.66	236,017	356.53	250,862	418.61
Milpa Alta	96,773	132.34	111,650	168.66	128,814	214.95
Alvaro Obregón	687,020	939.53	720,081	1,087.77	754,733	1,259.40
Tláhuac	302,790	414.08	359,258	542.70	426,256	711.28
Tlalpan	581,781	795.61	643,611	972.26	712,012	1,188.11
Xochimilco	369,787	505.70	408,269	616.74	450,756	752.16
Benito Juárez	360,478	492.97	370,714	560.01	381,241	636.17
Cuauhtémoc	516,255	706.00	533,576	806.03	551,477	920.23
Miguel Hidalgo	352,640	482.25	364,471	550.58	376,699	628.59
Venustiano Carranza	462,806	632.91	476,424	719.70	490,442	818.39
<b>Total</b>	<b>8,605,239</b>	<b>11,768.10</b>	<b>9,114,778</b>	<b>13,769.03</b>	<b>9,669,733</b>	<b>16,135.60</b>

(INEGI, 2000. Elaboración propia)

La cantidad de residuos estimada para cada delegación se muestra en la figura 5, se puede observar que Milpa Alta es la delegación con la menor generación en todo el Distrito Federal.

### 3.3.2 Composición de los residuos

Las distintas fuentes generadoras tienen distintas composiciones y al mezclarse se tiene una composición distinta en todas las etapas del sistema de manejo de residuos de la ciudad.



**Figura 5.** Cantidad de residuos generados por delegación.

De estudios realizados por la DGSU (DGSU, 1992) sobre la composición de los residuos que llegan al relleno sanitario de Bordo Poniente se desprende que los RSM peligrosos son las pilas eléctricas, pintura vinílica, filtros de aire y balatas (contienen asbesto). En su conjunto representan 0.036% de la composición de los residuos, lo que significa que en el año 2000 se estaban generando 423.6 toneladas diarias en la Ciudad de México. Se debe establecer un programa de control de estos residuos para tratar de disminuir su volumen a disponer o tratar.

### 3.4 Estaciones de transferencia de la Ciudad de México

Una estación de transferencia de RSM, se define como el conjunto de equipos e instalaciones donde se lleva a cabo el transbordo de dichos residuos, de los vehículos recolectores a vehículos de carga de gran tonelaje para transportarlos hasta los sitios de destino final, plantas de selección o plantas de tratamiento. Sin duda alguna, el objetivo fundamental de una estación de transferencia es incrementar la eficiencia global de los servicios de manejo de los RSM a través de la economía que se logra con la disminución del

costo general de manejo, así como por la reducción en los tiempos de transporte y la utilización intensiva de los equipos y el recurso humano (Sánchez y Estrada, 1999).

Una estación de transferencia representa un papel importante en el sistema de manejo de los residuos sólidos, el tamaño puede ser muy variado, pero en esencia tienen el mismo principio de operación. El propósito de una estación es el reducir costos por transporte hacia los sitios de disposición; con esto se logra que los camiones sufran menor desgaste y que el tiempo sin actividad de las cuadrillas y vehículos disminuya.

En el Distrito Federal las estaciones de transferencia se han construido en lugares estratégicos para recibir y transportar los residuos; actualmente se cuenta con 13 estaciones de transferencia (SOS, 2001); el resumen de localización se observa en la tabla 9.

**Tabla 9.** Ubicación de las Estaciones de transferencia de la Ciudad de México.

<b>Estación</b>	<b>Ubicación</b>
Alvaro Obregón	Avenida Diagonal de San Antonio No. 424, Col. Carola
Azcapotzalco	Calle 4 s/n y prolongación Naranjo, Col. Ampliación del gas
Benito Juárez	Callejón Santísima y prolongación Yacatas s/n, Col. Emperadores
Coyoacán	Calzada de Tlalpan No. 3330 esq. Viaducto Tlalpan, Col. santa Ursula Coapa
Cuauhtémoc	Eje 3 sur esquina Eje 1 Oriente s/n, Col. Ampliación Asturias
Gustavo A. Madero	Avenida 608 y Avenida 412 s/n, Col. San Juan de Aragón
Iztapalapa	Prolongación Eje 6 Sur No. 7 a un costado de la zona de Chinampería "Santa Rosa", Central de Abasto
Central de Abasto	Prolongación Eje 6 Sur No. 7 a un costado de la zona de Chinampería "Santa Rosa", Central de Abasto
Miguel Hidalgo	Calle 11, entre Avenida Tecamachalco y Sierra Santa Rosa s/n, Col. Reforma Social
Milpa Alta	Guanajuato Oriente casi esquina con Quintana Roo s/n, Col. Barrio de la Concepción
Tlalpan	Carretera Picacho-Ajusco km 5.5, Col. Belvedere
Venustiano Carranza	Calle Agustín Lara esquina Joaquín Pardavé, Col. Magdalena Mixihuca
Xochimilco	Francisco I. Madero No. 9977 Carretera Xochimilco-Tulyehualco, Pueblo San Luis Tlaxialtemalco

(SOS, 2001)

Las trece estaciones de transferencia son manejadas por la DGSU o por una delegación, o por ambas. La operación práctica de las estaciones se otorga por medio de contratos al sector privado (JICA, 1999).

La delegación Iztapalapa cuenta con dos estaciones de transferencia; una de ellas (Iztapalapa II) maneja los residuos de la Central de Abastos exclusivamente. La superficie de las instalaciones y de piso se observa en la tabla siguiente:

**Tabla 10.** Superficie de las Estaciones de Transferencia

Nombre	Superficie (m <sup>2</sup> )		
	Instalaciones	Piso	Áreas verdes
Álvaro Obregón	8,000	7,900	3,284
Azcapotzalco	8,900	6,607	355
Benito Juárez	8,804	7,380	1,877
Coyoacán	12,187	6,798	2,067
Cuauhtémoc	6,974	4,420	485
Gustavo A. Madero	3,000	2,800	5,717
Iztapalapa	9,949	6,746	1,638
Central de Abasto	8,871	4,563	467
Miguel Hidalgo	6,426	4,400	570
Milpa Alta	24,335	5,020	11,395
Tlalpan	6,516	6,208	332
Venustiano Carranza	8,867	7,507	1,106
Xochimilco	1,500	1,100	500

(SOS, 2001)

La tabla 11 muestra la cantidad transferida en cada delegación. Sin embargo, al momento de la determinación no se contaba con báscula, por lo que las cantidades que entran y salen se calcularon a partir del número de vehículos registrados y de su capacidad nominal (o a partir de sondeos empíricos).

**Tabla 11. Cantidades Transferidas**

<b>Estación de transferencia</b>	<b>Registro de Transferencia (ton/día)</b>
Alvaro Obregón	830
Azcapotzalco	728
Benito Juárez	no registrado
Coyoacán	1083
Cuauhtémoc	809
Gustavo A. Madero	416
Central de Abasto	1000
Iztapalapa	980
Miguel Hidalgo	584
Milpa Alta	49
Tlalpan	322
Venustiano Carranza	672
Xochimilco	408
Total	7,881

(DGSU, 1998)

### 3.4.1 Transporte

Los residuos recolectados por las delegaciones se concentran principalmente en las trece estaciones de transferencia y son transportados por camiones de gran tamaño (70m<sup>3</sup>) a sus respectivos destinos (sitios de disposición final o plantas de selección). Como excepción se puede mencionar el transporte directo a las plantas de selección o disposición por parte de los vehículos recolectores debido a la cercanía. Los residuos no aprovechables de las tres plantas de selección se vuelven a cargar a los camiones que los llevan al relleno sanitario de bordo poniente. El Distrito Federal tiene tres plantas de selección de residuos:

- Bordo Poniente
- San Juan de Aragón
- Santa Catarina

La DGSU concesiona las tareas de transporte a la iniciativa privada. Los trabajos estipulados en el contrato se pagan con una tasa unitaria combinada (peso/km/ton) con base en la distancia que se recorre y el peso que se carga. Además de los camiones de 70m<sup>3</sup>, existen otras flotillas de transporte con capacidad de 17 m<sup>3</sup>, que se utilizan exclusivamente para el transporte de escombros (JICA, 1999). Las estaciones se encuentran distribuidas en toda la ciudad, la distancia estimada se muestra en la tabla 12, las más alejadas al sitio de disposición son Tlalpan, Milpa Alta y Xochimilco. Con respecto a las plantas de selección (de los datos que se tienen) las estaciones más alejadas son Tlalpan y Xochimilco.

**Tabla 12.** Distancia desde el punto de origen al destino final.

Estación de transferencia	Distancia (km)				
	Sitio del relleno		Plantas de selección		
	Bordo Poniente	Santa Catarina	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina
Alvaro Obregón	29.4	30.3	27.5	-	29.6
Azcapotzalco	22.8	-	21.1	14.1	30.3
Coyoacán	31.9	28.7		-	27.7
Cuauhtémoc	19.5	23.4	17.8	-	22.5
Gustavo A. Madero	13	-	-	-	-
Iztapalapa	16.3	17.8	14.7	-	16.7
Central de Abasto	16.1	17.6	14.5	-	16.5
Miguel Hidalgo	32.5	-	-	23.6	-
Milpa Alta	42.4	-	-	-	-
Tlalpan	43.3	40.0	41.6	-	40
Venustiano Carranza	16.6	0.0	14.9	-	0.0
Xochimilco	35.6	17.3	34.0	-	16.6

(SGO, 1996)

### 3.4.2 Cobertura

Las estaciones de transferencia no se encuentran en todas las delegaciones, por esta razón, algunas de las instalaciones proporcionan el servicio a más de una delegación (tabla 13). Por ejemplo, la estación Azcapotzalco proporciona el servicio a las delegaciones Azcapotzalco y

ejemplo, la estación Azcapotzalco proporciona el servicio a las delegaciones Azcapotzalco y a Gustavo A. Madero.

**Tabla 13.** Cobertura de las estaciones de transferencia

<b>Estación de transferencia</b>	<b>Delegaciones atendidas</b>	<b>Sitio de disposición</b>	<b>Año de inicio de operaciones</b>	<b>Año de rehabilitación</b>
Álvaro Obregón	Álvaro Obregón Magdalena Contreras Benito Juárez Cuajimalpa Miguel Hidalgo	Bordo Poniente Planta de Bordo Poniente Planta de San Juan de Aragón	1992	-
Azcapotzalco	Azcapotzalco Gustavo A. Madero	Bordo Poniente	1973	1995
Benito Juárez	Benito Juárez	Bordo Poniente Planta de Bordo Poniente	1983	1993
Coyoacán	Coyoacán Nocturno	Bordo Poniente Santa Catarina	1985	1993
Cuauhtémoc	Cuauhtémoc Nocturno	Bordo Poniente Santa Catarina	1979	1993
Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero Azcapotzalco Nocturno	Bordo Poniente Planta de Bordo Poniente	1974	1993
Iztapalapa	Iztapalapa Iztacalco Nocturno	Bordo Poniente Planta de Bordo Poniente	1984	1992
Central de Abasto	Central de Abastos Nocturno	Bordo Poniente Planta de B. P	1992	-
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo Nocturno	Bordo Poniente Planta de San Juan de Aragón	1972	1993
Milpa Alta	Milpa Alta	Bordo Poniente Santa Catarina	1986	-
Tlalpan	Tlalpan Magdalena Contreras	Bordo Poniente Santa Catarina	1991	-

---

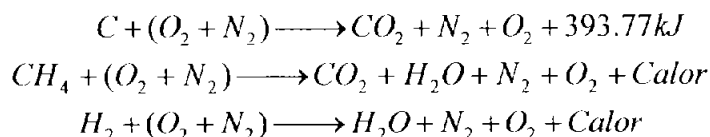
## Capítulo 4

# Los residuos sólidos como combustible

### 4.1. Incineración de residuos sólidos

La incineración de residuos es la combustión controlada en una cámara cerrada para convertir los desechos combustibles en productos gaseosos y en residuos que contengan materiales no combustibles (Dirección General de Residuos, Materiales y Riesgos, 1995). Muchos son los beneficios de este proceso, entre ellos se encuentran la eliminación de sustancias tóxicas y compuestos orgánicos presentes en algunos residuos peligrosos, además se destruyen compuestos olorosos y el agua contenida se convierte en vapor. El proceso de oxidación libera gran cantidad de energía, sin embargo, algunos compuestos orgánicos son muy difíciles de oxidar y deben ser sometidos a temperaturas muy altas para asegurar que todos sean descompuestos.

Para que la combustión sea completa y se evite la generación de productos indeseables tales como humos, partículas y olores; es necesario que todos los componentes se encuentren bien mezclados y en las proporciones adecuadas. La oxidación es completa cuando se tiene una combinación adecuada del aire con el carbono e hidrógeno del residuo. Las reacciones químicas presentes en un proceso de combustión son (Dirección General de Residuos, Materiales y Riesgos, 1995):



El aire se encuentra compuesto de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno (volumen) y las reacciones que se llevan a cabo con el carbono, hidrógeno y metano son de oxidación; el nitrógeno es un gas inerte por lo que permanece constante durante todo el proceso de



---

combustión (ver ecuaciones) y en el cual se libera calor. Ya que el nitrógeno se encuentra presente en el aire en un porcentaje importante este puede afectar la operación de un incinerador, las consecuencias que tiene el nitrógeno en el proceso de incineración son:

**Sobre la temperatura.** Debido a su capacidad calorífica, el nitrógeno consume calor durante la combustión por lo que durante el proceso de combustión la temperatura es menor cuando se utiliza aire que cuando se utiliza oxígeno puro.

**Sobre el diseño del incinerador.** Utilizando aire la carga de nitrógeno inerte incrementa el flujo volumétrico a la salida, por eso los equipos de purificación deben manejar cargas más grandes de gas, lo que se traduce en más filtros de mangas, áreas transversales más grandes y costos de operación más altos.

**Sobre la composición de los gases de salida.** Los gases a la salida se componen de un 70% de nitrógeno en volumen; este elemento reduce la calidad de los productos de salida.

**Consecuencia.** Para elevadas temperaturas de incineración el uso de oxígeno puro es recomendable. El alto precio del oxígeno se compensa con menores costos de inversión y con menores costos de operación del sistema de limpieza de gases.

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son producto del proceso de combustión ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) de ellos el que se forma en mayores cantidades es el  $\text{NO}$ . La formación de los  $\text{NO}_x$  se da a través de la oxidación del nitrógeno en el residuo y mediante la fijación del nitrógeno atmosférico. En el primero ocurre a relativamente bajas temperaturas ( $1,090^\circ\text{C}$ ) mientras que el atmosférico ocurre a elevadas temperaturas. Debido a las temperaturas de operación de los incineradores entre el 70 y 80 % de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno en el residuo (U.S. EPA, 2004).

Algunas formas de control de los  $\text{NO}_x$  incluyen el ingreso de bajas cantidades de exceso de aire, la recirculación de los gases de salida y la quema con gas natural.

Los factores más importantes que influyen en un sistema de incineración son la temperatura de operación de la combustión, el tiempo de residencia de los residuos dentro de la cámara de combustión y la turbulencia o grado de mezclado de los residuos.

La temperatura de combustión a la que opera un incinerador de residuos oscila entre los  $900$  y  $1400^\circ\text{C}$  y puede variar según la composición de los residuos, para destruir compuestos

---

orgánicos difíciles de quemar se necesitan temperaturas mayores (Busch, 2002).

El tiempo de residencia de los residuos dentro del incinerador es un factor importante para garantizar la destrucción de todos los compuestos presentes, el tiempo debe ser mayor a una hora (Busch, 2002).

El tiempo de residencia de los gases dentro de la cámara de combustión debe ser mayor a dos segundos. Para que exista una buena combustión el contenido mínimo de oxígeno a la salida en los gases debe ser al menos del 11% (Busch, 2002).

El grado de mezclado de los residuos está relacionado con el tipo de parrilla y la eficiencia para lograr que los residuos sean homogéneos al momento de la incineración. Dentro de un incinerador se deben evitar las zonas muertas, poco tiempo de residencia, materia orgánica sin quemar y la formación de CO (generan problemas de corrosión).

Debido a lo heterogéneo de los RSM se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos para asegurar que el hogar del incinerador tenga una combustión completa:

- a) Poder calorífico inferior. Relaciona la composición de los residuos y la cantidad de energía contenida en ellos. El valor límite mínimo aconsejable para adoptar un sistema de incineración es de 1430kcal/kg ó 6MJ/kg (World Bank, 2000).
- b) Composición química de los residuos. Para garantizar la combustión de los RSM se debe conocer la composición del material combustible. Hay elementos en los residuos que permiten calcular las condiciones de combustión (C, H y O<sub>2</sub>) y hay algunos elementos que pueden producir ácidos corrosivos que limitan la durabilidad del equipo (S, Cl y N<sub>2</sub>).
- c) Metales: mercurio, cadmio, plomo y otros, pueden darle una gran toxicidad al residuo o a la corriente gaseosa y líquida que salen de un incinerador. Precisan ser identificados para definir el proceso de remoción de la corriente gaseosa o líquida. Son factores primordiales en la clasificación de las cenizas de incineración.
- d) Características especiales: Existen propiedades de los residuos que deben ser tomadas en cuenta en el proyecto del incinerador y en los cuidados operacionales, a efectos de garantizar la integridad física de los operadores y del equipo. Son ellas: la toxicidad (PCBs); corrosividad (ácidos); olor (gas sulfhídrico); liberación de humo (ácido clorhídrico) y la reactividad (pentacloruro de fósforo).

- 
- 
- c) Composición física<sup>1</sup>. Se deben conocer los valores físicos tales como el peso volumétrico, la composición y el contenido de cenizas.
- d) Humedad. Si su valor es elevado disminuye el poder calorífico inferior y la inflamabilidad es menor. El valor límite recomendable para adoptar un sistema de incineración es del 35% de humedad (DDF, 1984). Otros autores recomiendan que el valor límite de contenido de humedad sea del 50 % sin requerir combustible adicional (World Bank, 2000; CNPML, 2002).

#### **4.1.1 Etapas para la incineración**

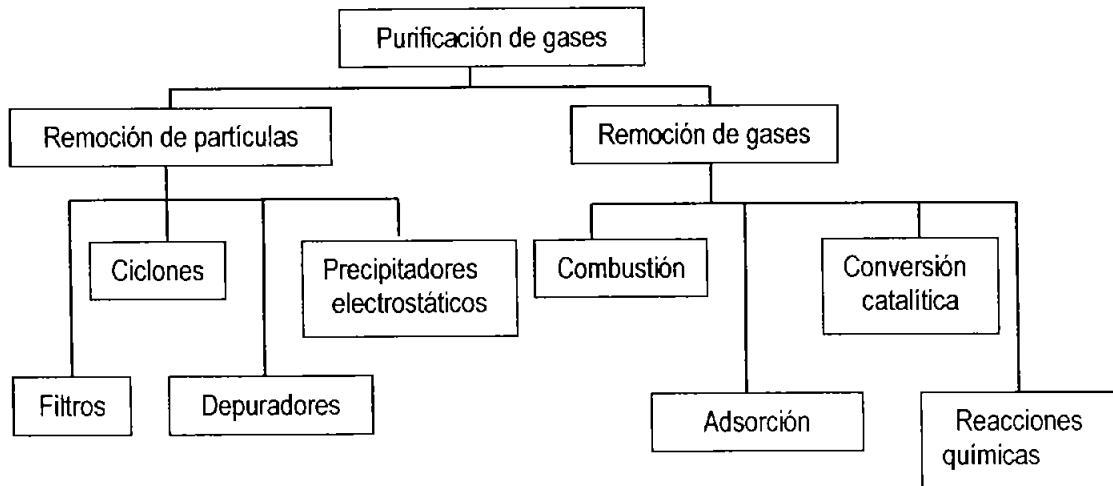
La incineración de residuos implica el cumplimiento de varias etapas; las plantas modernas son un sistema completo en donde muchas de estas etapas son parte del proceso:

- Separación. Se pueden tener mecanismos para extraer los metales, aluminio, bronce y vidrio.
- Preparación. En esta etapa se extraen de la basura los objetos más voluminosos que pudieran atascar la unidad incineradora (muebles, línea blanca). También se pueden utilizar trituradores para reducir el tamaño, el objeto de esta etapa es hacer que los residuos sean más homogéneos.
- Secado. Se calienta el residuo con los gases de salida y el calor de radiación proveniente de la cámara de combustión para reducir la humedad de los residuos.
- Alimentación de los residuos. Durante la incineración los residuos son alimentados de manera continua para evitar entrada de aire y la salida de gases de combustión.
- Incineración primaria. En esta etapa se enciende el material y los compuestos volátiles.
- Incineración secundaria. En esta etapa se utilizan quemadores auxiliares y se inyecta aire en exceso para completar la combustión.
- Tratamiento de escorias y de aguas residuales.
- Tratamiento de los gases. Los gases producto de la combustión pasan por un sistema de

---

<sup>1</sup> La normatividad mexicana maneja una serie de reglas a seguir para conocer la composición física de los residuos. Entre ellas se encuentran las normas NOM-AA-15-1985, NOM-AA-19-1985, NOM-AA-22-1985 y NOM-AA-61-1985.

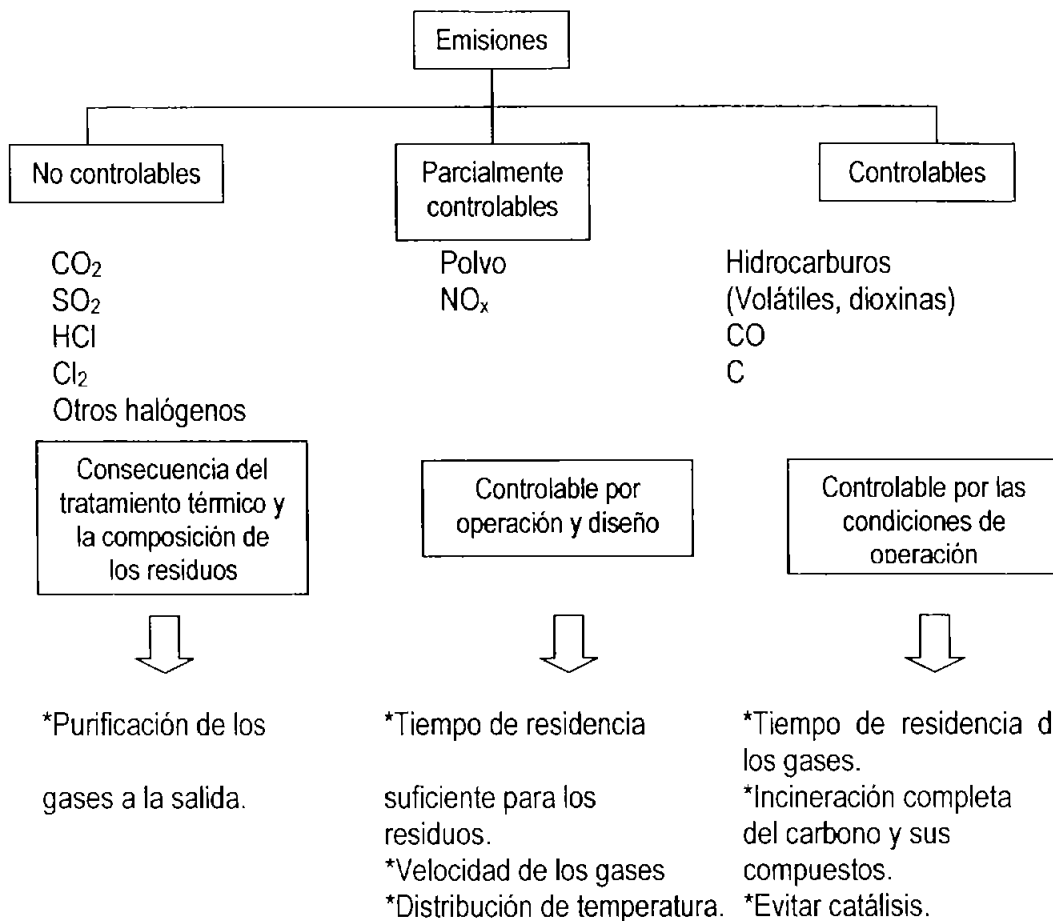
limpieza integrado por una serie de equipos diseñados para limpiarlos de partículas y gases. La figura 6 muestra el tipo equipos y procesos utilizados para la limpieza de gases.



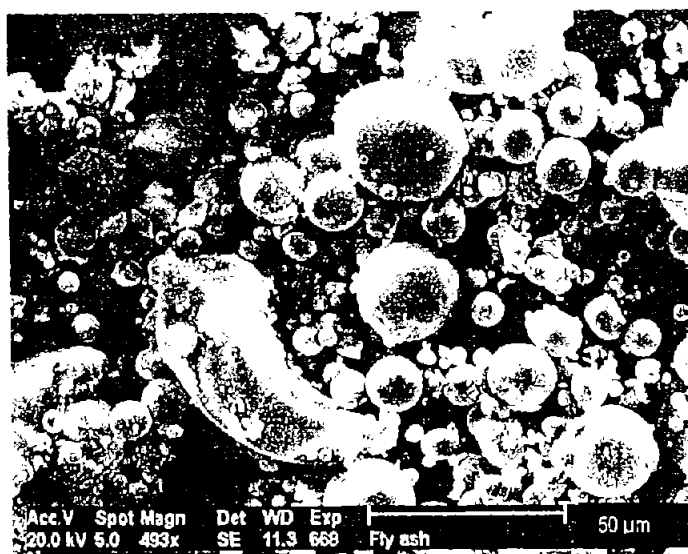
**Figura 6.** Purificación de gases de combustión (Busch, 2002).

Las emisiones de los gases que se tienen a la salida de la chimenea pueden ser controladas, parcialmente controladas o incontrolables (figura 7). Las partículas que principalmente se tienen a la salida de la chimenea son sólidas y gaseosas: Partículas de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, aldehídos, ácidos orgánicos, amoníaco, óxidos de azufre y ácido clorhídrico.

De estos contaminantes, el más visible es el polvo, que por tratarse de un material fino genera problemas de contaminación del aire, por lo que es necesario separar dichas partículas por medio de ciclones, lavadores húmedos, precipitadores electrostáticos ó colectores de bolsa, la figura 8 muestra el tamaño de partícula de los gases a la salida en donde el tamaño puede variar desde  $1\mu\text{m}$  hasta varios cientos de micrómetros (U.S. EPA, 2004). Las partículas finas son menores a  $10\mu\text{m}$  (PM-10) las cuales pueden inhalarse y pasar a la región pulmonar; es importante saberlo porque los ácidos, metales y orgánicos pueden adsorberse en partículas de este tamaño (U.S. EPA, 2004).



**Figura 7.** Esquema del control de emisiones (Busch, 2002)



**Figura 8.** Tamaño de partícula en los gases de salida de un incinerador de RSM (CNPML, 2001).

---

Las dioxinas y furanos constituyen una clase de sustancias organocloradas entre los que hay algunos compuestos extremadamente tóxicos. Pueden estar presentes en el residuo y también formarse en ciertas condiciones durante el enfriamiento de los gases incinerados, en el rango de los 300°C (CEMPRE, 1998). Las dioxinas y furanos también se forman después de la salida de la cámara de combustión; el enfriamiento brusco de los gases de combustión es el método de control que limita esta formación secundaria.

Aunque no existan dioxinas en un residuo, su formación puede ocurrir durante el enfriamiento de los gases a la salida del incinerador. Una solución para evitar la formación de dioxinas que ocurre luego de la incineración, es enfriar bruscamente los gases de salida. Con todo, esta técnica puede ser conflictiva con la estrategia de recuperación de energía. En el caso que este enfriamiento brusco no sea posible, se debe implementar un sistema de tratamiento de gases adecuado para quitar las dioxinas junto con el material particulado para que sean dispuestas en el relleno sanitario (CEMPRE, 1998).

#### **4.1.2 Emisiones a la atmósfera.**

El inventario de emisiones es un conjunto de datos que caracterizan las emisiones al aire desde el punto de vista del tipo de fuente y la cantidad de contaminantes emitidos en una zona. Para llevar a cabo el cálculo de emisiones se pueden utilizar varios métodos entre los que se encuentran (SMA, 2004a):

*Balance de materiales* (incluyendo análisis de combustibles). Se basa en el principio de que el material que entra debe ser igual al que se utiliza en el proceso más el que se emite. El método de balance de materiales es adecuado para estimar emisiones asociadas con la evaporación de solventes y emisiones de compuestos que contienen azufre.

*Muestreos en la fuente.* Son mediciones directas de la concentración de contaminantes en un volumen conocido de gas y de la tasa de flujo del gas en la chimenea. Son utilizadas con mayor frecuencia para fuentes de emisiones por combustión.

*Factores de emisión.* Son relaciones entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y un dato de actividad. Los datos de actividad incluyen: niveles de producción,

consumo de materia prima, consumo de combustibles, etc. Los factores de emisión recomendados en este trabajo son los proporcionados por el AP- 42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors del Air Chief 11.0 (U.S. EPA, 2004). En la tabla siguiente se presentan algunos factores de emisión extraídos del Air Chief para incineradores de RSM.

**Tabla 14.** Factores de emisión para Incineradores (kg/Mg)

Contaminante	Incontrolable	ESP	DSI/ESP	SD/ESP	DSI/FF	SD/FF
PM	1.26 E+01	1.05 E-01	2.95 E-02	3.52 E-02	8.95 E-02	3.11 E-02
As	2.14 E-03	1.09 E-05	ND	6.85 E-06	5.15 E-06	2.12 E-05
Cd	5.45 E-03	3.23 E-04	4.44 E-05	3.76 E-06	1.17 E-05	1.36 E-05
Cr	4.49 E-03	5.65 E-05	1.55 E-05	1.30 E-04	1.00 E-04	1.50 E-05
Hg	2.8 E-03	2.8 E-03	1.98 E-03	1.63 E-03	1.10 E-03	1.10 E-03
Ni	3.93 E-03	5.60 E-05	1.61 E-03	1.35 E-04	7.15 E-05	2.58 E-05
Pb	1.07 E-01	1.50 E-03	1.45 E-03	4.58 E-04	1.49 E-04	1.31 E-04
SO <sub>2</sub>	1.73 E+00	ND	4.76 E-01	3.27 E-01	7.15 E-01	2.77 E-01
HCl	3.20 E+00	ND	1.39 E-01	7.90 E-02	3.19 E-01	1.06 E-01

PM= Material particulado. Incontrolable= Sin sistemas de control. ESP= Con precipitador electrostático. SD/ESP= Secador en aerosol/ Precipitador electrostático. DSI/FF =Ductos con inyección de absorbente/ Con precipitador electrostático. DSI/FF= Ductos con inyección de absorbente/ Filtros de mangas. ND= No existen datos. NA= No es aplicable. (U.S. EPA, 2004a), Adaptación.

*Cálculos de ingeniería.* Son procedimientos matemáticos para el cálculo de emisiones.

*Encuestas.* En México, la Cédula de Operación Anual (COA) es el instrumento de registro de los requerimientos de reporte contemplados en la LGEEPA, los reglamentos y normas que de ella derivan; la COA se presenta en forma anual por establecimiento industrial para actualizar la información sobre su operación y facilitar su seguimiento por parte de la autoridad ambiental.

**Ventajas de la incineración de residuos.** La incineración de residuos representa ciertas ventajas con respecto a otras formas de tratamiento, se puede decir que algunas de ellas son:

- Reducción del volumen original de los residuos sólidos (95-97%).
- Los productos sólidos son estériles y se encuentra libre de material degradable.

- 
- Los gases producto de la combustión pueden ser tratados para recuperar energía.
  - Se reduce la cantidad de residuos que se disponen en un relleno sanitario.
  - La tecnología disponible es de punta.
  - Se utilizan sistemas modulares.
  - Sistemas de control, mantenimiento y reparación bien desarrollados.
  - Alta eficiencia en la destrucción de elementos contaminantes.

**Desventajas de la incineración de residuos.** De igual manera, la incineración de residuos representa ciertas desventajas, algunas de ellas son:

- Se requiere de una gran inversión inicial.
- Los costos de mantenimiento y operación son muy altos.
- Se destruyen productos susceptibles de comercialización.
- Si no se cuenta con un buen control genera problemas de contaminación del aire y agua.
- Con los lavadores de aire se contamina el agua que después es necesario tratar.
- El poder calorífico en los residuos puede variar.
- Los costos de reparación son muy altos.
- Los volúmenes generados de cenizas se deben disponer en un relleno sanitario.
- Los costos del equipo de control son muy altos.
- Existe resistencia social y los terrenos aledaños pueden devaluarse

#### **4.1.3 Incineradores**

Un incinerador es la agrupación de equipos que en su conjunto forman una planta incineradora; incluye instalaciones para el manejo y almacenamiento de los residuos, sistemas de alimentación, hornos, sistemas de limpieza de gases, tratamiento de aguas residuales y servicios auxiliares (Trejo, 1996). En un proceso de incineración los equipos más importantes son el horno y las parrillas, a continuación se describen los tipos de incineradores, hornos y parrillas que se utilizan en la actualidad.

Incinerador por inyección líquida. Este tipo de incinerador consta de un sistema de inyección



líquido para quemar compuestos con valores calóricos altos. Alcanzan temperaturas entre 700 y 1000°C. Muchos de estos materiales crean gases ácidos que tienen que ser removidos por sistemas de depuración (Figura 9).

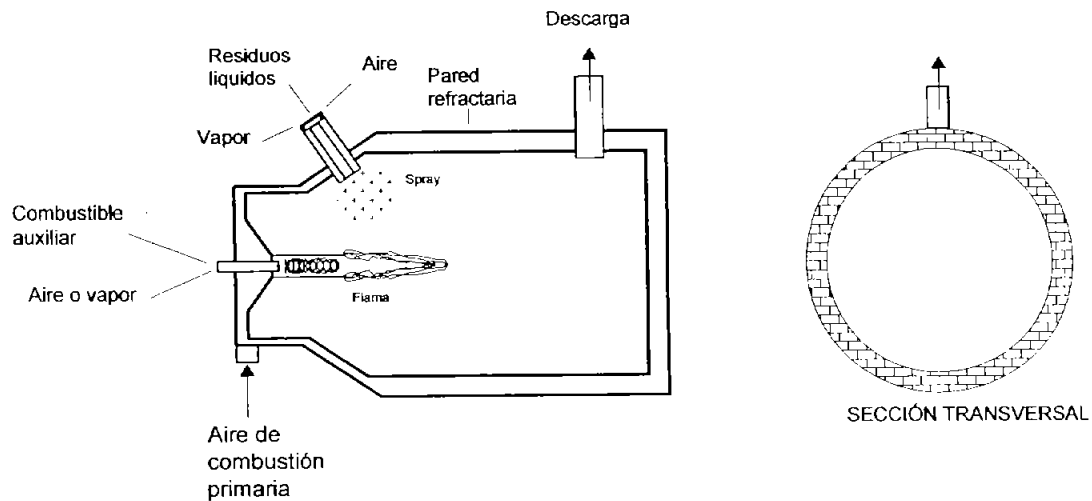


Figura 9. Incinerador de inyección líquida.

Ventajas:

- Bajo costo de operación.

Desventajas:

- Las boquillas tienden a taparse.

Incinerador de dos cámaras con aire controlado. Este tipo de horno cuenta con una cámara primaria y una secundaria. Son hornos que pueden trabajar en lotes o continuamente, realizándose la combustión principalmente en el hogar más que en las parrillas. Este sistema consiste de una cámara primaria en la cual el residuo es alimentado y encendido por medio de un quemador auxiliar con gas o aceite.

En esta cámara, una cantidad controlada de aire se introduce arriba y abajo de la carga, pudiendo ser ligeramente superior o inferior del estequiométricamente necesario, posteriormente los gases de este proceso de oxidación pasan a una segunda cámara donde se recalientan con un quemador y se adiciona aire con la finalidad de que la combustión de los compuestos orgánicos o volátiles sea completa, como se tienen temperaturas altas se eliminan olores y humos.

---

Ventajas:

- Mantiene relativamente bajas las emisiones de CO.
- Simples de operar
- Viables para pequeños generadores
- Eficaz para residuos variados

Desventajas:

- Mano de obra intensa
- No procesa líquidos ni lodos
- No alcanza temperaturas adecuadas para destruir residuos peligrosos
- Alto desgaste refractario
- Por lo regular no incluyen sistemas para la recuperación de energía.

Incinerador de horno múltiple Inicialmente este tipo de hornos fueron utilizados para tostar rocas y minerales de varias minas. Este tipo de incinerador está diseñado especialmente para materiales con bajos valores caloríficos, por lo que no crea altas temperaturas en la zona de combustión. Consta de un brazo mecánico el cual mueve continuamente el material con la finalidad de facilitar su oxidación, necesita una gran cantidad de combustible para mantener la temperatura dentro del sistema (Figura 10).

Ventajas:

- Se pueden tratar materiales con bajos valores caloríficos

Desventajas

- Requiere mucho combustible para mantener la temperatura.

## INCINERADOR DE HOGAR MÚLTIPLE

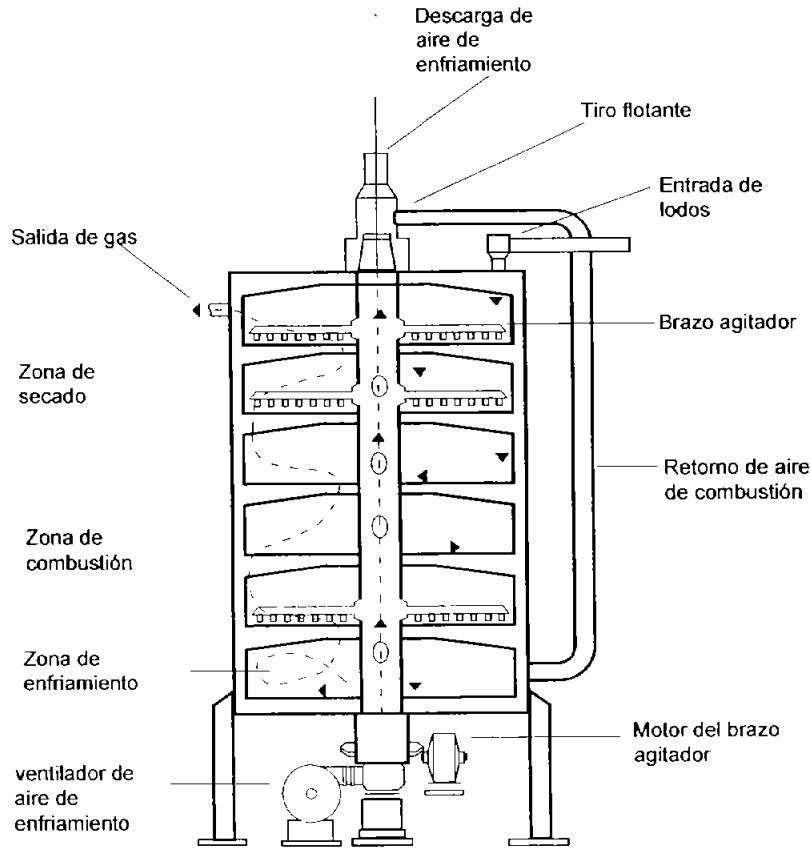


Figura 10. Incinerador de horno múltiple

Incinerador de lecho fluidizado. Este tipo de sistemas se establecieron entre 1960 y 1970, su costo comparado con el horno rotativo es relativamente económico. En este incinerador el aire caliente es bombeado a través del fondo de un horno vertical lo cual hace flotar y calienta una masa de arena u otros materiales, la que atrapa las partículas de residuo sólido para que sean quemadas completamente (Figura 11). El sistema es autosuficiente cuando el calor producido se utiliza para mantener la temperatura del aire, siendo posible generar electricidad si se utiliza el calor generado en exceso. Es necesario que el residuo sólido este triturado y se distribuya uniformemente a lo largo del lecho ya que si no es así el proceso es inestable. También se requiere de grandes cantidades de energía para bombear el aire y triturar los residuos

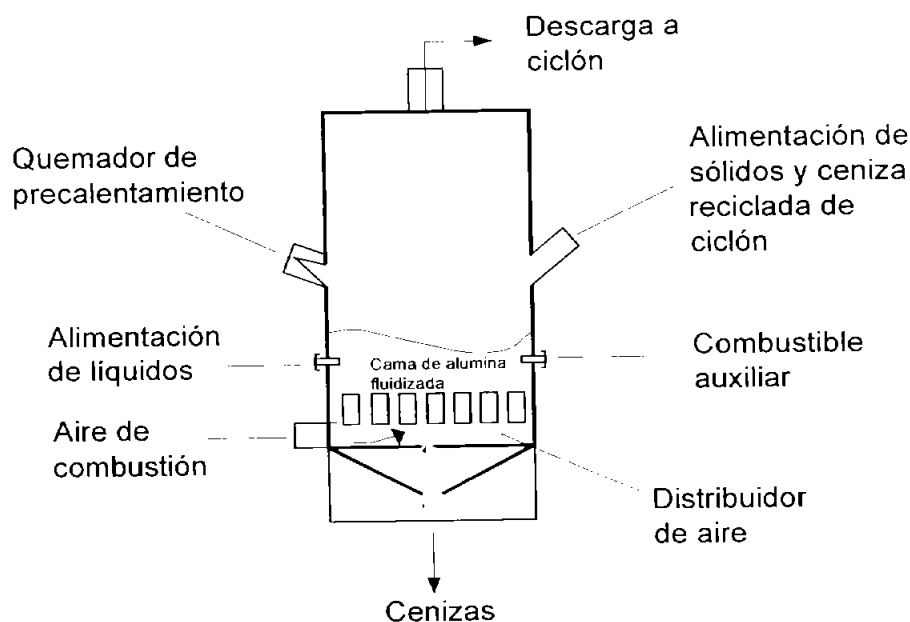
Ventajas:

- Velocidad de combustión rápida y eficaz

- Operación a baja temperatura (descenso de las emisiones de  $\text{NO}_x$ , metales alcalinos y pesados se retienen en las cenizas).
- Permite el procesado de residuos con altas concentraciones de Cl y azufre ya que se puede agregar material absorbente en el lecho (caliza,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ).
- La temperatura es uniforme lo que se traduce en altas eficiencias en la destrucción de compuestos orgánicos.
- Bajo capital de inversión y costos de mantenimiento.
- Tiene eficiencias totales cercanas al 90%
- Maneja un amplio rango de combustibles y puede manejar residuos líquidos o sólidos en combinación o separadamente.

Desventajas:

- Hasta la fecha no se han realizado pruebas suficientes con los RSM.
- La operación exige tamaños y composición de los residuos homogéneos.



**Figura 11.** Incinerador de lecho fluidizado.

Incinerador de horno rotatorio. El horno es un cilindro grande que rota sobre llantas de acero que giran sobre rodillos presentando una ligera pendiente. El material se transporta a través del horno por la rotación del cilindro inclinado lo que permite que el material se mueva a lo largo de él (figura 12). El cilindro debe estar cubierto con material refractario aunque

ocasionalmente se utilizan camisas de agua. El aire para la combustión es introducido por medio de un ventilador de tiro inducido localizado en la parte posterior del cilindro, la velocidad de giro del horno, así como el movimiento de los residuos a través de él dependen de su tamaño. El equipo en este tipo de incineradores es grande por lo cual requiere de un terreno amplio para su instalación.



Tratamiento seguro de residuos peligrosos: alta temperatura (1300 °C) con gran tiempo de residencia.



$$T=19L/(D*S*N)$$

t= tiempo residencia (s) (~20 min)  
 L= longitud cuerpo cilíndrico (m)  
 D= diámetro interior (m)  
 S= pendiente en % (1-5)  
 N= veloc. giro en rpm (0.5-3)

$L/D \sim 5-10$

Figura 12. Incinerador rotatorio (Conesa, 2003).

Los costos iniciales son muy altos y los de operación dependen principalmente de la cantidad de combustible requerido por el quemador y de la energía necesaria para llevar los gases producidos al lavador.

Ventajas:

- Utiliza un hogar móvil el cual es altamente resistente a las altas temperaturas de operación.
- No requiere de almacenamiento o trituración de los residuos.
- Las características mecánicas facilitan su mantenimiento.
- Son capaces de manejar variaciones en la composición de los residuos y el poder calorífico.

Desventajas:

- Es una tecnología poco común para el tratamiento de los residuos.
- Los costos de inversión y mantenimiento son relativamente altos.
- La máxima capacidad de cada horno está limitada a 480 ton/día.

---

#### 4.1.4 Hornos

El horno es la cámara donde se vaporiza, piroliza, gasifica y, aunque parcialmente, se oxida el residuo. El horno debe disponer de un quemador auxiliar para ayudar al residuo a encenderse, una vez que esto sucede el quemador debe apagarse (CNPML, 2001).

El tamaño, volumen y geometría del horno deben ser tales que se minimice el riesgo de depósitos de escoria y cenizas en las paredes, lo cual está relacionado con la velocidad adecuada de los gases dentro del horno, estas velocidades deben ser como mínimo 3.5-4 m/seg. Los tipos más comunes de hornos son:

**HORNO RECTANGULAR.**- Es el tipo más común instalado en los incineradores nuevos, tiene la ventaja de que puede manejar varios sistemas de parrillas las cuales transportan el residuo agitándolo conforme este pasa de un nivel al otro de las parrillas hasta que llega a la cámara de combustión sobre una parrilla horizontal. La combustión secundaria se realiza cerca del puerto de salida.

**EL HORNO DE CAMARAS MÚLTIPLES.**- Consiste en dos o más cámaras colocadas una al lado de otra dentro de las cuales las parrillas rectangulares transportan el residuo sólido. El residuo es introducido en la parte superior de cada recinto que contiene una cámara de combustión secundaria y equipo de disposición de los residuos los cuales son comunes a todo el sistema. Este tipo de hornos pueden ser recubiertos con material refractario o con un sistema de enfriamiento de agua.

**HORNO VERTICAL CIRCULAR.**- En este tipo de horno el residuo es introducido en la parte superior, cayendo dentro de una parrilla central con forma de cono y una parrilla circular alrededor; el aire necesario es forzado a pasar entre las parrillas, como la parrilla central y el brazo giran lentamente sobre la parrilla circular el residuo es agitado y después de la combustión es llevado a los lados de esta parrilla, donde al alcanzar la parte externa se descarga en una parrilla de vertido, realizándose la combustión secundaria en una cámara adyacente.

---

HORNO ROTATORIO.- Consiste de un horno primario y de un horno rotatorio con una ligera inclinación. Por lo general el horno rectangular se utiliza para secar y quemar parcialmente el residuo sólido, el cual se alimenta después del horno rotatorio donde los continuos giros permiten la exposición de cualquier residuo sin quemar. La combustión se completa en la cámara de mezclado final en la cual los gases y materia particulada suspendida son llevados a su combustión final.

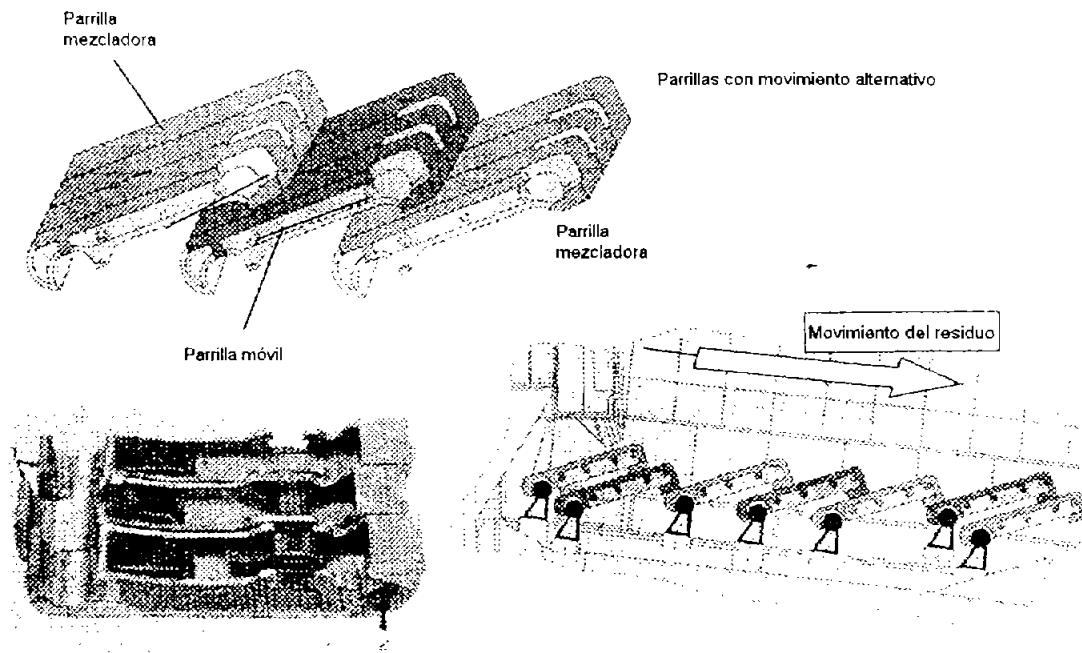
#### **4.1.5 Tipos de Parrillas.**

Las parrillas son la parte más importante de los hornos de alimentación continua ya que permiten voltear y agitar los residuos sólidos contribuyendo a una combustión completa. Las parrillas tienen dos funciones principales; transportar y mezclar los residuos y, proveerlos de aire uniformemente. Hay varios diseños disponibles usualmente caracterizados por la manera en que transportan el residuo.

PARRILLAS SIN FIN.- Son bandas transportadoras metálicas, donde la parte superior se utiliza como parrilla. Un motor eléctrico a baja velocidad hace girar la banda por medio de ruedas dentadas. El rango de velocidad de este tipo de parrillas está entre 12 y 24 m/hr.

PARRILLAS ALTERNATIVAS.- Son un conjunto de barras o placas, las cuales presentan movimientos alternativos en forma de vaivén lo que permite que el residuo se agite y voltee, las barras o placas van unidas por medio de bielas, motores eléctricos o cilindros hidráulicos que son los que imparten el movimiento. La parrilla presenta un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal entre 6 y 20° (Figura 13).

PARRILLAS CILINDRICAS ROTATORIAS.- Consiste en una serie de cilindros rotatorios colocados uno a continuación de otro en forma de parrillas inclinadas. El movimiento de rotación de estos cilindros, transporta los residuos sólidos de uno a otro con una suave agitación, lo que asegura una combustión completa.



**Figura 13.** Parrillas alternativas para la incineración de residuos sólidos (Busch, 2002).

Algunos otros tipos de parrillas utilizadas en otras partes del mundo son (Trejo, 1996):

- Sistema recíprocante Detroit
- Sistema Dusseldorf
- Sistema Heenan-Nicholson
- Sistema de horno continuo L
- Sistema Martin
- Sistema Takuma
- Sistema Volund
- Sistema Von Roll
- Sistema tipo Batch

#### 4.2 Poder Calorífico

Las características del incinerador dependerán del poder calorífico de los residuos, se tratará de que la estación que se seleccione tenga el poder calorífico más favorable para evitar el uso de combustible adicional.

El poder calorífico se define como el total de calor liberado por unidad de peso del material incinerado. Según la norma DIN 51900 el Poder Calorífico Superior se define como la



---

energía contenida y liberada por unidad de peso debido a la completa combustión de un material. La temperatura del combustible antes de la combustión y de los residuos debe de ser 25°C con una presión de 1 atmósfera. La combustión que se tenga debe oxidar completamente el carbón y el azufre (dióxido de carbono y dióxido de azufre) mientras no exista la oxidación del nitrógeno (World Bank, 2000).

El poder calorífico inferior (pci) se define de manera similar, pero ahora considerando que la totalidad del agua producida por la combustión del hidrógeno está como líquida.

Claramente, se pueden distinguir dos situaciones límite. En la primera el agua presente en los productos se encuentra completamente en estado gaseoso, sin haber entregado su calor latente. En la segunda, toda el agua se ha condensado, liberando calor al entorno.

Es importante destacar que en estas definiciones nada se dice del agua en los productos que, por provenir del aire del combustible, no ha sido formada químicamente por la combustión. La diferencia entre ambos poderes caloríficos puede calcularse conociendo el análisis fundamental del combustible. Para ello es necesario determinar la cantidad de agua que se forma como resultado de la combustión del hidrógeno y calcular la energía que el agua libera al condensarse en condiciones de referencia.

El Poder Calorífico es uno de los parámetros más importantes para la incineración de RSM, debido a la heterogeneidad de los mismos el poder calorífico también es muy variable. Sin embargo, los estudios realizados por la Dirección General de Servicios Urbanos en torno a este punto indican que en promedio el poder calorífico de los residuos sólidos de la Ciudad de México es de 2,185 kcal/kg (9.1 MJ/kg) con una humedad promedio de 32.84% (JICA, 1998).

Se pueden tener poderes caloríficos mucho menores a 1,430 kcal/kg (6 MJ/kg), pero la autocombustión es muy difícil y es necesario agregar combustible para que los residuos se mantengan a temperatura de combustión. Por ejemplo, en la tabla 15 se resumen las características físico-químicas de los residuos que ingresan a Bordo Poniente.

**Tabla 15.** Características físico-químicas de los residuos en Bordo Poniente

<b>Característica</b>	<b>Bordo Poniente</b>
Humedad (% peso)	32.84
Cenizas (% peso)	29.22
Materia v. (% peso)	32.15
Carbón Fijo (% peso)	5.60
Azufre (% peso)	0.098
PCS (kcal/kg)	2,400.45
PCI (kcal/kg)	2,185.34

(Estrada, 2003)

Para el caso de las estaciones de transferencia se tienen datos bien establecidos sobre el poder calorífico en algunas estaciones de transferencia (tabla 16). Ya que no se cuenta con datos del poder calorífico en las demás estaciones, es posible estimarlo mediante la composición de los residuos que ingresan a las mismas. Mediante este método se puede obtener un valor aproximado que sirva de referencia para seleccionar una estación factible a establecer un incinerador.

**Tabla 16.** Características físico-químicas de los residuos

<b>Característica</b>	<b>Gustavo Madero</b>	<b>A. Cuauhtémoc</b>	<b>Venustiano Carranza</b>
Humedad (% peso)	32.84	44.83	40.11
Cenizas (% peso)	29.22	9.29	20.42
Materia v. (% peso)	32.15	39.23	34.47
Carbón Fijo (% peso)	5.60	6.64	5.10
Azufre (% peso)	0.098	0.085	0.127
PCS (kcal/kg)	2,400.45	3,852.65	3,395.65
PCI (kcal/kg)	2,185.34	3,637.60	3,180.60

(Estrada, 2003)

#### **4.3 Cálculo del poder calorífico para las estaciones de transferencia**

La Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal (DGSU) ha realizado una serie de estudios para conocer las características de los residuos que se generan en la ciudad (JICA, 1999). Algunos de los estudios incluyen datos sobre la generación,

---

composición, peso volumétrico y las características fisicoquímicas de los residuos. Sin embargo, debido a la complejidad de elaborar estudios en toda la ciudad y en todas las fuentes generadoras la DGSU sólo cuenta con datos en algunos lugares. La composición de los residuos que hasta el momento se tiene se resume en la tabla 17.

Los estudios revelan que el porcentaje de residuos alimenticios oscila desde 26.62% en Miguel Hidalgo hasta 66.03% Cuajimalpa; el promedio para las estaciones de transferencia es de 28.27%. En el caso de los residuos con poco porcentaje de humedad y alto poder calorífico (papel, cartón, plásticos, madera y textiles) la delegación Gustavo A. Madero presenta los porcentajes más altos con 48.56% en contraste con la delegación Cuajimalpa que sólo tiene 12.34% de estos residuos por lo que es la delegación que menos materiales con alto poder calorífico. Para el caso del promedio en las estaciones se tiene un porcentaje del 29.73%.

Para llevar a cabo la estimación del poder calorífico en las delegaciones se utiliza el poder calorífico teórico de los componentes individuales (Tchobanougus, 1994). Por ejemplo, para el caso de los residuos alimenticios el poder calorífico es de 1,111.12 kcal/kg, este valor se multiplica por el porcentaje en peso (de la composición del residuo) dando como resultado 55,644.88 (para el caso de la delegación Azcapotzalco). Después de calcular el poder calorífico para todos los componentes, se suman y el resultado es el poder calorífico total. Al multiplicar este valor por el porcentaje en peso se encuentra el poder calorífico promedio. Se realiza este procedimiento para calcular el poder calorífico en cada delegación (tabla 18).

En la tabla se observa que la delegación con el poder calorífico más alto es Gustavo A. Madero (3,175.85 kcal/kg), y la delegación con el poder calorífico más bajo es la de Cuajimalpa con 1,760.91kcal/kg. Para el caso de las estaciones de transferencia el promedio es de 2,566.72 kcal/kg. Este resultado es importante porque es el que se utilizará para las estaciones en las cuales no se tengan datos o estos sean insuficientes.

En el capítulo siguiente se llevará a cabo la comparación de las estaciones de transferencia con respecto a distintos criterios de selección y con ello establecer si es factible la implementación de una planta incineradora en sus instalaciones.

Tabla 17. Composición de los residuos sólidos según la zona, % en peso. (DDF, 1998)

COMPONENTE	Azcapotzalco	Gustavo A. Madero	Venustiano Carranza	Central de Ahasto	Alvaro Obregón	Cuajimalpa	Miguel Hidalgo	Bordo Poniente	Estaciones de transferencia
<b>ORGÁNICOS</b>									
Residuos alimenticios	50.08	34.56	50.33	51.53	38.02	66.03	26.62	47.92	58.27
Papel	14.43	13.21	10.82	7.87	13.38	3.97	8.45	12.68	13.13
Cartón	0.55	4.32	3.09	2.25	2.89	0.56	4.79	2.96	3.27
Plásticos	8.86	13.17	11.29	6.21	6.13	6.19	4.37	9.19	7.76
Textiles	4.82	17.18	2.27	3.92	1.18	0.79	1.13	5.87	3.4
Hule	0	0.23	0.28	0	0	0.24	0	0.09	0.57
Cuero	1.39	0	0	0	2.56	0.11	0.99	0	0.83
Residuos jardinería	1.2	0	0.28	0	16.37	2.22	39.44	0.92	0.97
Madera	0.14	0.45	1.11	0.32	0.33	0.48	0.56	0.59	0.77
<b>INORGÁNICOS</b>									
Vidrio	9.03	5.31	3.54	7.68	4.34	4.76	5.21	5.58	3.5
Latas	1.34	2.92	3.83	3.37	3.12	1.11	0.56	2.47	1.43
Suciedad, cenizas	0.4	0.42	1.4	1.1	5.91	0	0	0.78	23.57
<b>Total</b>	<b>92.24</b>	<b>91.77</b>	<b>88.24</b>	<b>84.25</b>	<b>94.23</b>	<b>86.46</b>	<b>92.12</b>	<b>89.05</b>	<b>87.47</b>

Tabla 18. Cálculo del poder calorífico según la zona

COMPONENTE	PODER CALORÍFICO (kcal/kg) (1)	Azacapotzalco	Gustavo A. Madero	Venustlano Carranza	Central de Abasto	Alvaro Obregón	Cuajimalpa	Miguel Hidalgo	Bordo Poniente	Estaciones de transferencia
<b>ORGÁNICOS</b>										
Residuos alimenticios	1111.12	55644.89	38400.30	55922.66	57256.01	42244.78	73367.25	29578.01	53244.87	31411.36
Papel	4000.03	57720.43	52840.4	43280.32	31480.23	53520.4	15880.11	33800.2	50720.38	52520.39
Cartón	3888.92	2138.9	16800.13	12016.76	8750.07	11238.97	2177.79	18627.9	11511.2	12716.76
Plásticos	7777.84	68911.66	102434.1	87811.81	48300.38	47678.15	48144.82	33989.1	71478.34	60356.03
Textiles	4166.7	20083.5	71583.9	9458.409	16333.46	4916.7	3291.7	4708.37	24458.52	14166.78
Hule	5555.6	0	1277.78	1555.568	0	0	1333.34	0	500.004	3166.692
Cuero	4166.7	5791.71	0	0	0	10666.75	458.33	4125.03	0	3458.36
Residuos jardinería	1555.57	1866.64	0	435.55	0	25464.68	3453.36	61351.6	1431.12	1508.91
Madera	4444.48	622.22	2000.01	4933.37	1422.23	1466.67	2133.35	2488.91	2622.24	3422.24
<b>INORGÁNICOS</b>										
Vidrio	33.33	300.9	176.98	117.98	255.97	144.65	158.65	173.64	185.98	116.65
Latas	1666.67	2233.33	4866.67	6383.34	5616.67	5200.01	1850	933.33	4116.67	2383.33
Suciedad, cenizas	1666.68	666.67	700	2333.35	1833.34	9850.07	0	0	0	39283.64
Poder calorífico promedio (kcal/kg)		2341.51	3171.84	2541.35	2032.62	2253.97	1760.91	2060.09	2473.54	2566.72

(1). Poder calorífico teórico (Tochobanosolous, 1994)

---

## Capítulo 5

# ***Selección de la estación de transferencia***

### **5.1. Método de análisis**

Para llevar a cabo la evaluación de las estaciones de transferencia es necesario el uso de herramientas de toma de decisiones. Las técnicas existentes son cualitativas y cuantitativas; entre las cualitativas se encuentran los modelos de regresión; series de tiempo; simulaciones y modelos econométricos. Entre los métodos cuantitativos se encuentran: la lluvia de ideas; el análisis DOFA; la técnica DELPHI; ábaco de Regnier; construcción de escenarios; análisis estructural y MICMAC & MACTOR. La aplicación de uno u otro método depende de la existencia de datos presentes y pasados (Medina, 2003). En este trabajo se utilizará el análisis estructural por ser uno de los que tienen más aplicación mundialmente.

El análisis estructural se lleva a cabo mediante la aplicación de una matriz de impacto cruzado que involucra todas las variables representativas del sistema. Permite conocerlo detenidamente y es posible encontrar las causas de un problema para con ello concentrar esfuerzos en resolverlo.

### **5.2. Análisis estructural**

En los últimos 30 años el uso de matrices ha sido uno de los métodos más utilizados en el campo de la prospectiva a nivel mundial, las ventajas de estos métodos son:

- Se relacionan todos los elementos constitutivos del sistema. Los límites son los relativos al carácter subjetivo de la lista de variables elaboradas durante la primera fase, tanto como las relaciones entre variables. Esta subjetividad viene del hecho de que un análisis estructural no es la realidad, pero es un medio para verla.

- 
- Se estima que quien lo aplica eleva en un 80% su conocimiento del sistema. El interés primero del análisis estructural es estimular la reflexión y aumentar el conocimiento sobre el comportamiento de un sistema.
  - Arroja como resultado variables representativas del sistema al cual deben dirigirse las estrategias. Un listado inicial puede llegar a tener hasta 70-80 variables; el método permite clasificar y reflexionar sobre las variables triviales, importantes y las vitales.
  - Permite analizar el futuro del sistema y extraer de él todas las posibilidades de que es portador. Ya que se han establecido las variables más importantes de un sistema se pueden plantear estrategias para modificarlo.

Las etapas que se deben seguir para aplicar este método son principalmente cuatro (ANEIAP, 2001) las cuales se describen a continuación:

Etapa 1. Se reúne un grupo de personas que posean cualidades y puntos de vista diferentes, de tal manera que el problema se analice desde diferentes perspectivas.

Etapa 2. Se lleva a cabo un listado de las variables representativas del sistema. Principalmente consiste en la identificación y reagrupación de un número bastante elevado de variables (entre 30 y 100) que caractericen al sistema completamente. Después de la primera clasificación de las variables en categorías se debe tener una distinción entre las variables externas e internas.

Etapa 3. Se debe realizar una descripción de todas las variables. Después se hace un estudio de la relación que existe entre todas las variables. Para llevar a cabo esta evaluación se debe llenar de manera cualitativa una matriz de  $n \times n$  casillas, la matriz es conocida como Matriz de Impacto Cruzado (MIC) y para llenarla se hace la comparación entre parejas de variables (influencia) de un elemento  $i$  sobre el elemento  $j$ . El estudio arroja como resultado el grado de influencia que existe entre todas las variables y si éstas son directas o indirectas.

**Matriz de impacto cruzado (MIC).** El método consiste en vincular las distintas variables en una matriz especialmente preparada para el caso de análisis. Las líneas y las columnas de la matriz corresponden a las variables que se identificaron en los primeros pasos del método.

La diferencia entre subgrupos es importante, en ella se pueden identificar también las diferencias entre bloques lo cual permite entender y llenar la matriz fácilmente. Los bloques

---

---

de la diagonal incluyen las relaciones entre cada subgrupo y los que se encuentran fuera de la diagonal corresponden a las relaciones entre los diferentes subsistemas (subgrupos).

El trabajo consiste en tomar en cuenta solo las influencias directas entre las variables tomando éstas por pares en donde se debe contestar a la pregunta ¿Qué relación existe entre la variable  $i$  y la variable  $j$ ?. La calificación que se tiene como respuesta a esta pregunta se determina de la siguiente manera (Godet, 2000):

- 0, si no existe relación directa de causa-efecto entre las variables.
- 1, si existe relación directa débil entre las variables
- 2, existe relación directa que es moderada entre las variables.
- 3, existe una relación directa que es fuerte entre las variables.

El valor se coloca en la casilla localizada en la intersección de la línea  $i$  y la columna  $j$ . La matriz se llena línea por línea hasta quedar completada. La diagonal queda en blanco.

Etapa 4. Se realiza la identificación de las variables estratégicas. Los resultados de la matriz se representan de manera gráfica. Estas matrices gráficas se encuentran divididas en cuatro cuadrantes que definen el estado de las variables dentro del sistema.

Dado que se tiene un par de valores para la cada variable, estos se pueden representar en un plano influencia-dependencia. Para el caso de las filas el total se denomina **Suma activa** (SA) y para el caso de las columnas **Suma pasiva** (SP).

Seguidamente se procede a identificar las causas claves mediante la construcción del plano cartesiano, que consiste en un eje de coordenadas (motricidad-dependencia), para ello se realizan los siguientes pasos:

- ◆ Se asocia un par ordenado  $(X_n, Y_n)$  a cada una de las causas, colocando la suma activa correspondiente en el lugar de las  $X_n$  y la suma pasiva en lugar de  $Y_n$ . De este modo el par ordenado de las  $C_n$  tiene asociado el par ordenado  $(SA_n, SP_n)$ .
- ◆ Se construye un plano cartesiano colocando en el eje de las abscisas (X) los valores correspondientes de las sumas activas y en el eje de las ordenadas (Y) los valores



---

correspondientes a las sumas pasivas, las escalas de cada uno de los ejes quedan definidas por los valores que se hayan obtenido en las respectivas sumatorias.

- ◆ Se ubican las causas en el plano como punto de coordenadas ( $SA_n$ ,  $SP_n$ )
- ◆ Se calcula el promedio de la actividad del sistema problema dividiendo el número de las causas entre la suma total de la matriz gama.

Se divide el plano en cuatro cuadrantes, trazando líneas rectas a la altura del promedio de actividad en cada uno de los ejes y se ubican las causas de acuerdo a sus grados de influencia. De esta forma se obtiene el gráfico con cuatro cuadrantes que determinan las causas altamente motrices y dependientes sobre las cuales se centra al análisis (Figura 14).

La ubicación de las variables en los cuadrantes queda definida de la siguiente manera:

**Alta influencia-Alta dependencia.** Ubicado en la parte superior derecha, se ubican las causas que ofrecen soluciones temporales y paliativas para atender el problema.

**Baja influencia-Alta dependencia.** Ubicado en la parte superior izquierda, incluye aquellas causas que ofrecen solución inmediata netamente coyuntural.

**Baja influencia-Baja dependencia.** Ubicado en la parte inferior izquierda, contiene las causas que no ofrecen soluciones reales al problema.

**Alta influencia-Baja dependencia.** Ubicado en la parte inferior derecha, punto central de la acción, contiene las causas claves a atacar.

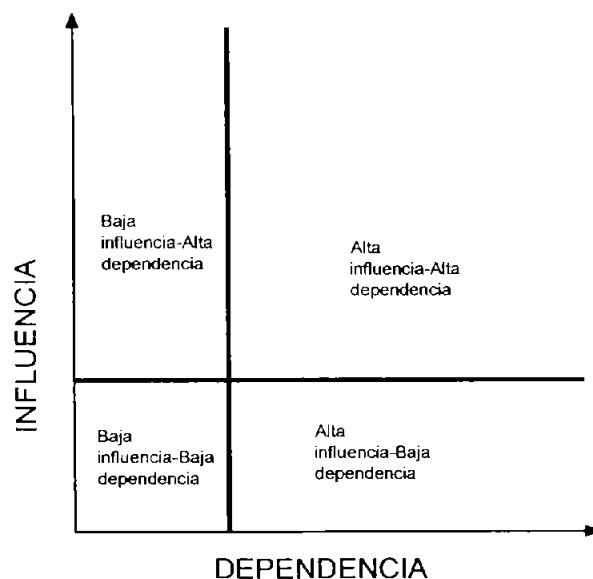


Figura 14. Gráfica influencia-dependencia

---

El resultado de este método es la identificación de las variables más importantes del sistema y el grado de influencia que existe entre ellas. El método debe ser aplicado con el asesoramiento de las personas que conocen el sistema, para que al momento de asignar "calificaciones" en la matriz estas sean lo más adecuadas y el resultado del método sea confiable.

### **5.3. Análisis Jerárquico Multicriterio (AHP)**

Dentro del análisis para la toma de decisiones entre distintos proyectos se encuentran varios métodos: Teoría de utilidad (MATS, SMART, ARIADNE); concordia-discordia (ELECTRE, PROMETEO) y el análisis jerárquico multicriterio (Saaty, 1986). Los métodos tienen cierto grado de desarrollo; en este trabajo se utilizará el análisis jerárquico multicriterio por ser el método más utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (Goicoechea, 2003).

El método consiste en hacer la comparación entre dos o más alternativas para seleccionar la que ofrezca mejores posibilidades con respecto a las otras evaluándolas con una serie de criterios. Fue desarrollado por T. L Saaty (Goicoechea, 2003); se basa en el concepto de comparar las preferencias de un analista por medio de matrices y autovalores (eigenvalores) para llegar a escoger una o varias alternativas en un problema de decisión. Los objetivos de este método son:

- ◆ Seleccionar el plan que consigue el objetivo deseado.
- ◆ Identificar el plan que tiene la mejor combinación de criterios que en grupo maximizan tal objetivo.

La red multicriterio se concentra en situaciones donde ya existen varias soluciones, planes o diseños (2 ó más) y existe la necesidad de evaluar cada plan y con ello poder recomendar el mejor o los mejores. En general se deben seguir los siguientes pasos para aplicar el método:

- ◆ Formar el grupo evaluador
- ◆ Definir el objetivo
- ◆ Definir alternativas de solución (planes)
- ◆ Definir los criterios

- ◆ Asignar los pesos a los criterios
- ◆ Evaluar cada alternativa con los criterios (comparaciones pareadas)
- ◆ Obtener el eigenvector
- ◆ Seleccionar la mejor alternativa

El uso de este método es necesario debido a que no se pueden comparar todas las alternativas de manera simultánea, sin embargo, si se pueden hacer comparaciones de alternativas por pares. Esta es la esencia del análisis jerárquico multicriterio que realiza la comparación de criterios y alternativas por medio de pares y al final hace una evaluación general de todas las comparaciones “pareadas”.

El análisis jerárquico multicriterio (Saaty, 1986), asume  $n$  criterios  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Cada uno asociado a un peso  $W_1, W_2, \dots, W_n$ . Con estos valores se puede formar la matriz  $C$ :

Criterio	$C_1$	$C_2$	... $C_n$
$C_1$	$W_1/W_1$	$W_1/W_2$	... $W_1/W_n$
$C_2$	$W_2/W_1$	$W_2/W_2$	... $W_2/W_n$
...	...	...	...
$C_n$	$W_n/W_1$	$W_n/W_2$	... $W_n/W_n$

Ahora, si la matriz  $C$  se multiplica por el vector de pesos  $W=(W_1, W_2, \dots, W_n)$  el resultado es  $nW$  y el problema es resolver  $CW=nW$  ó  $(C-n)W=0$ .

La matriz  $C$  tiene implícitas las preferencias del analista; por ejemplo, si se prefiere  $C_1$  más que  $C_2$  y  $C_2$  más que  $C_3$ , entonces  $C_1$  se debe preferir más que  $C_3$ .

El método permite calcular el grado de error debido a la inconsistencia por medio del índice de inconsistencia ( $ii$ ) el cual se calcula de la siguiente manera (Goicoechea, 2003):

$$ii = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

En donde:

$ii$ : índice de inconsistencia.

---

$\lambda_{\text{máx}}$ : máximo eigenvalor de la matriz<sup>2</sup>.  
n: número de criterios a compararse.

Saaty (1980) propuso los valores máximos del índice de inconsistencia para un número n de criterios (tabla 19).

Entonces si el valor del índice de inconsistencia no sobrepasa los límites propuestos para el número de criterios establecidos se puede decir que el grado de consistencia del analista es el adecuado y se puede continuar con el método.

**Tabla 19.** Límites de consistencia

<b>Criterio (n)</b>	<b>Límite</b>
2	0
3	0.06
4	0.09
5	0.11
6	0.12
7	0.13

(Goicoechea, 2003)

Ahora se debe calcular el autovector planteando el sistema de ecuaciones y resolverlas de manera simultánea.

Una vez que se obtenga el vector de pesos  $W=(W_1, W_2, \dots, W_n)$  se pueden comparar los planes y seleccionar la mejor opción.

#### **5.4. Caso de aplicación: Selección de la estación de transferencia**

Los requerimientos de espacio, operabilidad, servicios públicos son parámetros que desde el diseño de una planta incineradora deben tomarse en cuenta para maximizar el uso de recursos económicos, técnicos y humanos. La selección del sitio debe hacerse para que el impacto ambiental, social y económico se optimicen.

Para elegir el mejor lugar en donde se colocaría un incinerador es necesario evaluar las características del entorno social, económico, geográfico y de infraestructura. Hay estudios

---

<sup>2</sup> Autovalor  $\lambda$  y autovector  $w$ ;  $Aw = \lambda w$  siendo  $w \neq 0$  de modo que  $\det(A - \lambda I) = 0$

---

(DDF, 1984) que han propuesto aspectos a tomar en cuenta para la selección de sitios en donde se colocarían plantas incineradoras. Para el caso de una estación de transferencia en donde se pretendería colocar una planta incineradora se deben evaluar criterios que incluyan todas las variables que permitan establecer el funcionamiento de una estación de transferencia y con ello determinar la más factible a establecer una planta incineradora.

### **Matriz de Impacto Cruzado**

En la selección de la estación de transferencia se aplicará el método de análisis estructural (matriz de impacto cruzado) para establecer los criterios más importantes y el grado de correlación que existe entre ellos.

Primero se realizó un listado de variables y definiciones del sistema estación de transferencia. El listado se formó por medio de lluvia de ideas (ver glosario de términos).

Para facilitar el manejo de la información se agruparon las variables en tres grupos principales; un grupo de variables internas, de variables específicas y uno de variables externas (tabla 20).

El grupo de variables internas lo constituyen aquellas que se refieren al funcionamiento de la estación. Se puede decir que este grupo lo constituyen aquellos elementos que hacen que la estación funcione como tal, la cantidad de residuos transferidos, energía eléctrica consumida, área de las instalaciones, etc.

El grupo de variables externas son aquellos elementos exteriores a la estación y que de alguna u otra manera tienen influencia sobre ella; volumen de los residuos transferidos, capacidad de los camiones, número de camiones que ingresan, etc.

El grupo de variables específicas lo constituyen aquellas variables que no pertenecen a ninguno de los grupos anteriores.

**Tabla 20.** Agrupación de variables

<b>Variables internas</b>		<b>Variables específicas</b>		<b>Variables externas</b>	
01	Cantidad de residuos	05	Emisiones de PST	02	Volumen de residuos
07	Número de personal que labora	06	Ruido	03	Número de camiones que ingresan
09	Eficiencia del proceso	08	Salud del personal	04	Capacidad de los camiones
12	Energía eléctrica consumida	10	Producción de fauna nociva	13	Combustible para transporte
17	Sindicato	11	Olores	15	Estética
18	Administración	14	Área de cobertura	16	Tránsito
20	Tiempos de espera	19	Calidad del aire	23	Número de transfers
21	Área de las instalaciones	27	Cumplimiento de la normatividad	24	Capacidad de los transfers
22	Cantidad de agua de lavado	32	Impuestos	25	Valor de los residuos recuperables
28	Gastos de operación	33	Vida útil de la estación	26	Aceptación social
29	Residuos por mantenimiento			31	Salud de los vecinos
30	Manejo de residuos peligrosos			35	Calidad del suelo
34	Capacitación del personal			36	Ubicación
				37	Servicios públicos
				38	Composición
				39	Distancia al relleno
				40	Humedad

Se forma la MIC (ver anexo 1) colocando todas las variables en forma de renglón y en forma de columna. Para llenarla se debe contestar a la pregunta: ¿Cuál es el grado de influencia de la variable i con la variable j. Por ejemplo para el renglón uno la pregunta a contestar es ¿Cuál es el grado de influencia que existe entre la cantidad de residuos transferidos y el número de personal que labora? ; la respuesta es ninguno y el valor que corresponde a la casilla es cero (0). De esta manera se llenan todas las casillas hasta completar la matriz.

La matriz resultante se muestra en el anexo uno; ya establecidos los valores de cada una de las causas de acuerdo a sus grados de influencia, se realizan las sumatorias tanto de las filas como de las columnas.

Con la sumatoria de filas y columnas se obtienen todos los pares ordenados para todas las variables las cuales se grafican (figura 15) para obtener un resultado visual del análisis estructural.

Dividiendo la sumatoria total (matriz gama) entre el número de causas se obtiene que:

$$\frac{\text{Sumatoria total}}{\text{número de causas}} = \frac{690}{40}$$

que da como resultado 17.25. Este valor es el promedio de actividad y es que se utiliza para dividir el plano cartesiano en cuatro sectores.

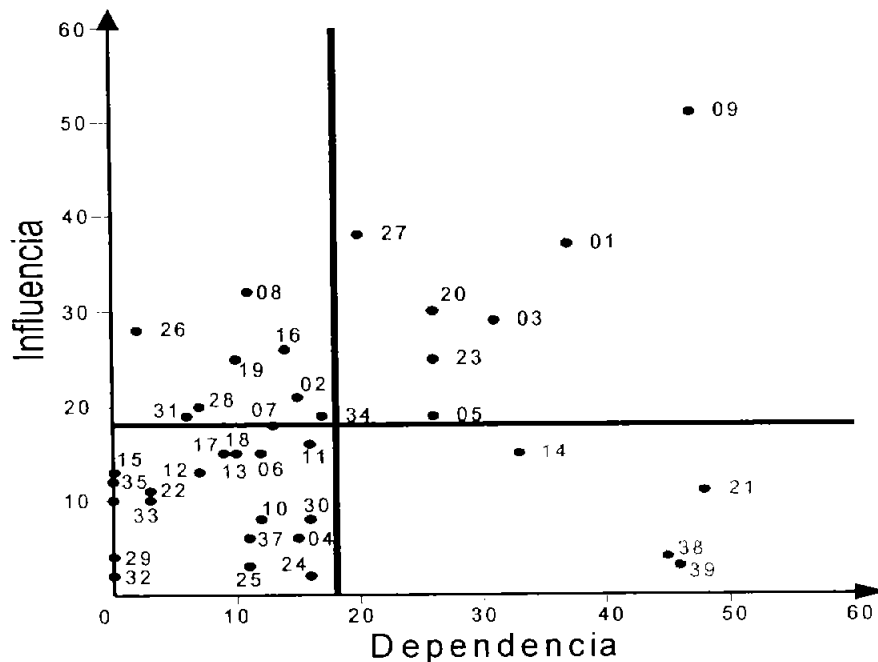


Figura 15. Resultado gráfico del análisis estructural

El resultado del gráfico determina el grado de influencia que existe entre las variables:

#### CUADRANTE 1

01	Cantidad de residuos	<b>Alta influencia-Alta dependencia.</b>
03	Numero de camiones que ingresan	Ubicado en la parte superior derecha, se ubican las causas que ofrecen soluciones temporales y paliativas para atender el problema. Estas variables se refieren a aquellas que al cambiar sus valores influyen en el sistema de manera importante, sin embargo su alta dependencia las hacen variables inestables que dependen en gran medida de otras variables
05	Emisiones de PST	
09	Eficiencia del proceso	
20	Tiempos de espera	
23	Número de transferencia	
27	Cumplimiento de la normatividad	

---

## CUADRANTE 2

02	Volumen de residuos transferidos	<b>Baja influencia-Alta dependencia.</b> Ubicado en la parte superior izquierda, incluye aquellas causas que ofrecen solución inmediata netamente coyuntural. Las variables que pertenecen a este grupo tienen baja influencia en el sistema sus cambios no afectan al sistema, al igual que la anterior son inestables debido a que dependen de otras variables.
08	Salud del personal	
16	Tránsito	
19	Calidad del aire	
26	Aceptación social	
28	Gastos de operación	
31	Salud de los vecinos	
34	Capacitación del personal	

## CUADRANTE 3

04	Capacidad de los camiones	<b>Baja influencia-Baja dependencia.</b> Ubicado en la parte inferior izquierda, contiene las causas que no ofrecen soluciones reales al problema. Son variables que tienen muy poco impacto en el sistema, su característica de baja dependencia indica que no varían de manera importante al cambiar el valor de otras variables.
06	Ruido	
10	Producción de fauna nociva	
11	Olores	
12	Energía eléctrica consumida	
13	Combustibles para transporte	
15	Estética	
17	Sindicato	
18	Administración	
22	Cantidad de agua de lavado	
24	Capacidad de los transfers	
25	Valor de los residuos recuperables	
29	Residuos por mantenimiento	
30	Manejo de residuos peligrosos	
32	Impuestos	
33	Vida útil de la estación	
35	Calidad del suelo	
37	Servicios públicos	
07	Numero de personal que labora	

## CUADRANTE 4

14	Área de cobertura	<b>Alta influencia-Baja dependencia.</b> Ubicado en la parte inferior derecha, punto central de la acción, contiene las causas claves a atacar. Estas variables se refieren a aquellas que al cambiar sus valores influyen en el sistema de manera importante, al tener baja dependencia no varían de manera importante con el cambio de valor de otras variables.
21	Área de las instalaciones	
38	Composición de los residuos	
39	Distancia al relleno	



---

Como resultado del método se tiene que las principales variables dentro del sistema estación de transferencia son:

**Área de cobertura.** Es la superficie a la cual la estación de transferencia brinda el servicio de transferencia.

Esta variable está relacionada con la cantidad de residuos que llegan a la estación. Por ejemplo, si aumenta el área de cobertura los residuos que llegarían a la estación también aumentarían. De igual manera si se reduce el área de cobertura, los residuos que llegan también se reducirían. Debido a esto se puede decir que el área de cobertura es una variable crítica con alta influencia sobre el sistema.

**Área de las instalaciones.** Es la superficie que ocupan las instalaciones de la estación, incluyen áreas de acceso, rampas, área de las tolvas, de equipamiento, áreas verdes.

Es una variable de diseño; desde la concepción de la estación se establecen las áreas con la que contará la estación. Sin embargo es un parámetro importante debido a que cualquier acción que se quiera llevar a cabo, tales como construcción de o ampliación de la nave, dependerá del área disponible en la estación.

**Composición de los residuos.** La composición de los residuos depende esencialmente de los siguientes factores:

- El nivel de vida de la población.
- La estación del año.
- El día de la semana.
- Las costumbres de los habitantes.
- La zona donde se habita.

No se trata de una variable aislada; de la composición dependen la densidad y con ello el volumen de los residuos a transferir. Si la composición de los residuos cambia, también cambia el volumen de los residuos. El volumen no es la única característica que depende de la composición de los residuos, también lo son el poder calorífico, la cantidad de cenizas, la humedad, el pH, el azufre, la materia orgánica y con ello la cantidad de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

---

**Distancia al relleno.** Es la distancia que existe entre la estación de transferencia y el relleno sanitario.

Aunque se trata de un elemento que no puede variar ya que una vez construida la estación la distancia al relleno ya no puede cambiar, sin embargo, si se construye un sitio de disposición o de tratamiento algunas estaciones estarían más cerca que otras.

### **Análisis Jerárquico Multicriterio**

Ya que se establecieron los criterios de selección se puede aplicar el análisis jerárquico multicriterio para comparar las estaciones de transferencia y elegir la más idónea. En la tabla 21 se muestra el resumen de las características de los cuatro criterios de las estaciones de transferencia. En ella se incluyen los poderes caloríficos que fueron calculados para Bordo Poniente y el promedio general de las estaciones.

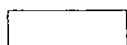
Los valores que aparecen en blanco corresponden a lo calculado con la composición de los residuos, los valores en amarillo son resultado de estudios hechos por la DGSU y los valores en azul corresponden al promedio de todas las estaciones (también calculado con la composición de los residuos) y se utilizan para aquellas estaciones en donde no se cuenta con datos de composición ni de otros estudios previos.

Como ayuda para resolver las matrices se utilizó el programa Expert Choice® con este programa también se calcularon los eigenvectores y con ello se minimizó el cálculo manual y la posibilidad de acarrear errores.

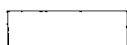
El programa arroja como resultado que la estación más idónea es Iztapalapa (figura 16). El resultado garantiza que la selección es la adecuada ya que el grado de inconsistencia es de 0.02 (2%) que se encuentra muy por debajo del límite sugerido por Saaty (tabla 19). La explicación completa del uso del programa se da en el anexo cinco.

Tabla 21. Valores de los criterios a evaluar en las estaciones de transferencia

Estación de Transferencia	Área de las instalaciones (m <sup>2</sup> )	Composición de los residuos (poder calorífico, kcal/Kg)	Distancia al relleno (km)	Área de cobertura(km <sup>2</sup> )
Álvaro Obregón	8000	2253,97	29,4	58
Azcapotzalco	8900	2341,51	22,8	91
Benito Juárez	8804	2566,72	-	40
Coyoacán	12187	2566,72	31,9	79
Cuahutémoc	6974	3637,6	19,5	18
Gustavo A. Madero	3000	3171,84	13	50
Iztapalapa	9949	2566,72	16,3	112
Central de abasto	8871	2032,62	16,1	
Miguel Hidalgo	6426	2060,09	32,5	54
Milpa Alta	24335	2566,72	42,4	46
Tlalpan	6516	2566,72	43,3	85
Venustiano Carranza	8867	2541,35	16,6	29
Xochimilco	1500	2566,72	35,6	33
Bordo Poniente	-	2473,54	-	-
Estaciones	-	2566,72	-	-



Valores calculados por la DGSU



Valores calculados con la composición de los residuos



Valores promedio en las estaciones de transferencia

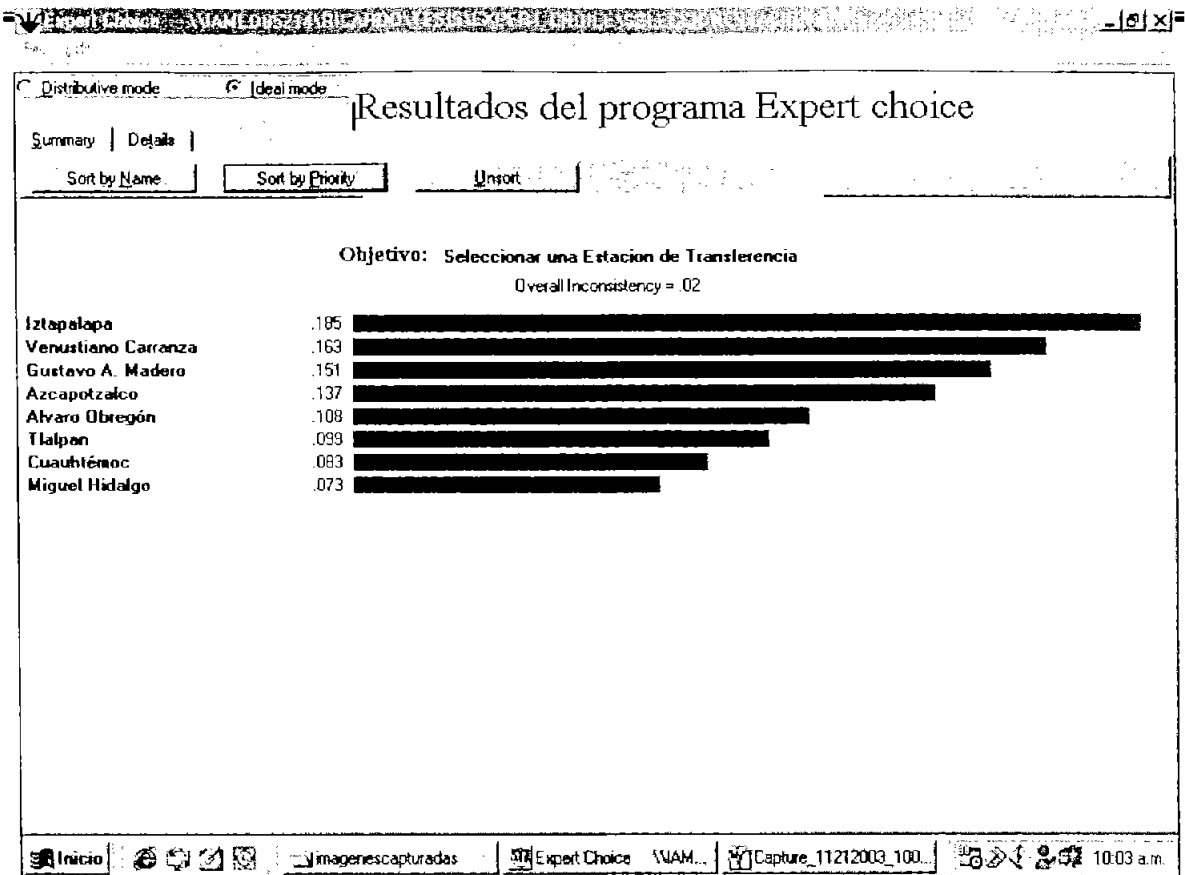


Figura 16. Resultados del programa Expert Choice®

---

## Capítulo 6

### ***Propuesta técnica Estación de transferencia en Iztapalapa***

Como primer paso se explicarán algunos aspectos socioeconómicos imperantes en la delegación Iztapalapa, después se hará una descripción de la estación de transferencia con datos obtenidos durante una serie de visitas que se realizaron a dicha estación. Finalmente se explicará la propuesta para colocar una planta incineradora de RSM la cual daría servicio a la delegación Iztapalapa.

#### **6.1 Aspectos socioeconómicos**

Los censos económicos reflejan la importancia de las manufacturas y del comercio en la delegación. Los establecimientos comerciales representan el 63% del total de empresas que ocupan el 42% de la mano de obra y aportan el 45% del valor agregado en términos reales (GDF, 2004).

En la actividad comercial del Distrito Federal, Iztapalapa realiza el 24% del comercio al mayoreo. Esto seguramente está relacionado con la Central de Abasto y la Nueva Viga.

La dinámica del comercio muestra un comportamiento diferenciado entre comercio al mayoreo y menudeo, pues mientras que el mayoreo se observa una disminución de 2.8% del número de establecimientos al menudeo crecen al 8.1% por arriba de la cifra del Distrito Federal. Esto señala una expansión del número de micro-comercios, que aunque impactan positivamente al empleo, hacen que el valor agregado en términos reales crezca solamente el 2.5%, cuando en el Distrito Federal el crecimiento es de 7.3%.

En Iztapalapa, los establecimientos de la industria manufacturera por subsector de actividad que más destacan son los productos alimenticios, bebidas y tabaco con 1,612 establecimientos, le continúan productos metálicos, maquinaria y equipo (incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión 1,098) y en tercer lugar producción de papel,

---

imprentas y editoriales 385, casi paralelamente con textiles, prendas de vestir e industria del cuero 382 (GDF, 2004).

**La Central de Abasto:** Para facilitar el estudio de la demarcación ha sido clasificada en varias direcciones territoriales (GDF, 2004). La central de abasto se encuentra ubicada en la dirección territorial centro. Considerada como el punto de encuentro entre productores, mayoristas, minoristas y consumidores de todo el país, acuden más de 250 mil personas diariamente para satisfacer los requerimientos de más de 20 millones de habitantes de la Zona Metropolitana. La diversidad de frutas, verduras, flores, hortalizas, abarrotes y carnes frías hacen de la Central de Abasto, que se extiende a 328 hectáreas, el centro de comercialización más importante en el Distrito Federal (GDF, 2004).

**Mercado de pescados y mariscos la Nueva Viga:** Cuenta con 202 bodegas de mayoreo y 165 locales de tianguis. La Nueva Viga comercializa cerca del 60% de producción nacional de pescado con escama y un 60% de moluscos y crustáceos, así como otras especies de procedencia extranjera (GDF, 2004).

**Escuelas:** En la Delegación las escuelas cubren todos los niveles educativos; el 38.6% corresponde al nivel preescolar y el 41% al de primaria. Respecto a los niveles profesional y medio superior se cuenta con 51 escuelas en la demarcación. Destacan la Preparatoria de Ciudad de México, el Colegio de Ciencias y Humanidades-Oriente (UNAM) y el Colegio de Bachilleres planteles seis y siete. A nivel Superior la Universidad Autónoma Metropolitana plantel Iztapalapa y la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM (GDF, 2004).

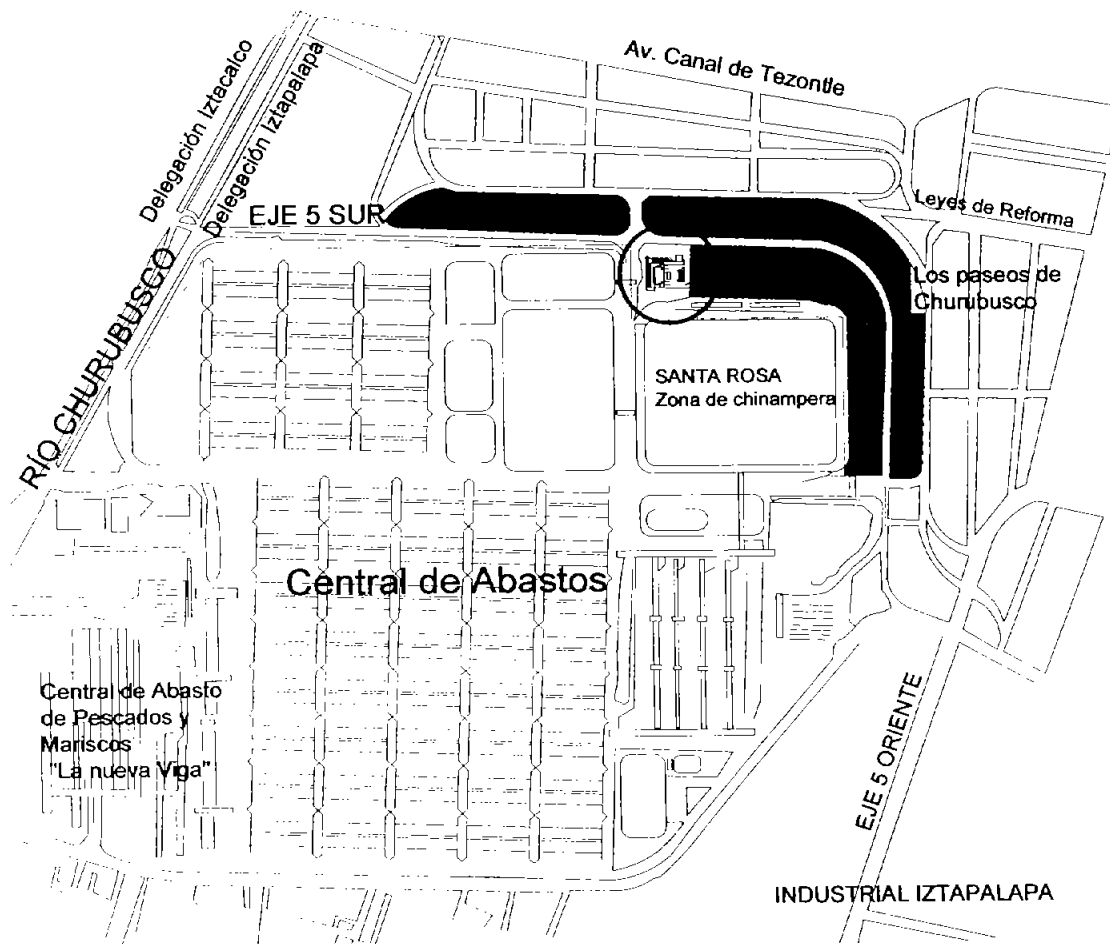
## **6.2 Descripción de la estación de transferencia**

**Localización geográfica.** La estación de transferencia en análisis se encuentra ubicada en la delegación Iztapalapa, en Prolongación Eje 6 sur No. 7 a un costado de la zona de chinampería "Santa Rosa", Central de Abasto, Distrito Federal (Figura 17).

Se encuentra muy cerca de la Central de Abasto y a un costado se ubica la estación de transferencia que transporta los residuos orgánicos de la Central de Abasto es el único caso en la ciudad en donde hay dos estaciones juntas.

ET Central de Abasto. Es una estación de tipo directo, es decir, los camiones recolectores

suben por una rampa al patio de maniobras y vierten los residuos por unas tolvas a camiones de mayor capacidad (transferencias) que se encuentran en la parte inferior.



**Figura 17.** Ubicación de la estación de transferencia en Iztapalapa

Cuenta con tres tolvas cada una con cuatro servidores cada una con lo que se totalizan doce servidores. La disposición de las tolvas es lineal en el patio de maniobras, debido a la falta de espacio sólo tiene una rampa que se utiliza para la entrada y salida de los camiones recolectores.

ET Iztapalapa. Al igual que la estación de la central de abastos tiene el sistema de transferencia de tipo directo. Hay tres tolvas para vaciar los residuos a los camiones de transferencia (Ver anexo 2, figura 2-2). En las tolvas se cuenta con 10 servidores agrupados de la siguiente manera:

- 
- Tolva uno. Tres servidores
  - Tolva dos. Cuatro servidores
  - Tolva tres. Tres servidores.

Se tiene dos rampas para los camiones recolectores, una para la entrada y otra para la salida. El túnel de los camiones de transferencia rodea por la parte inferior al patio de transferencia. Se tiene una zona para los residuos de la construcción.

**Estructura vial externa.** La estructura vial que rodea a la estación es del tipo de avenida principal con arterias ortogonales destinadas al tráfico de larga distancia y de velocidad moderada, con tráficos opuestos separados por una faja central divisoria. Existe una serie de semáforos en la esquina poniente que dan agilidad al tránsito vehicular para el acceso a la Central de Abasto. En estas vialidades circulan los vehículos de recolección y las unidades de transferencia de Iztapalapa y la Central de Abasto. (Ver anexo 2, figura 2-1).

Por lo observado en el lugar no existen restricciones para el tipo de vehículos ni en los horarios para que estos circulen ya que la zona no es habitacional.

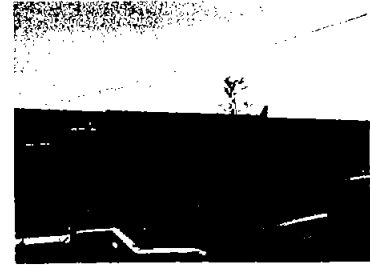
**Estructura vial interna.** La estación cuenta con caminos de acceso para las dos instalaciones, a la derecha de la entrada se encuentra el estacionamiento para 22 camiones de transferencia que sirve a su vez como taller improvisado. Esta parte también funciona como carril de encolamiento. La estación de Iztapalapa cuenta con dos rampas las cuales tienen cuatro metros de ancho y un carril de circulación cuyo ángulo máximo de inclinación es de 8° (figura 18).

**Zona de carga.** La estación cuenta con dos zonas de descarga; una para la transferencia de residuos sólidos y otra para la transferencia de escombros. En el caso de los residuos existe un túnel por donde entran los camiones de transferencia, el ancho es suficiente para que dos camiones puedan maniobrar (aproximadamente 8m). En el caso de la transferencia de escombros se cuenta con una rampa que se encuentra en la parte frontal de la estación. Como parte de las instalaciones se tiene una báscula de 80 toneladas.

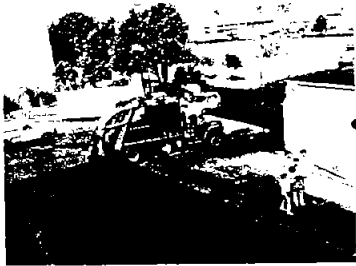




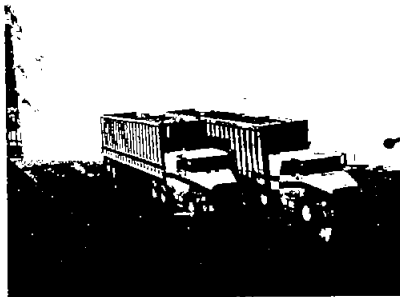
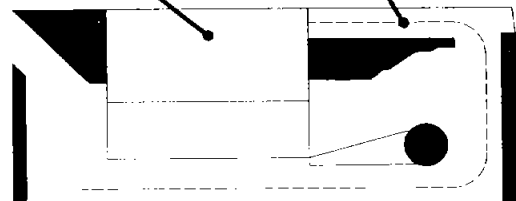
Transferencia Central de Abasto



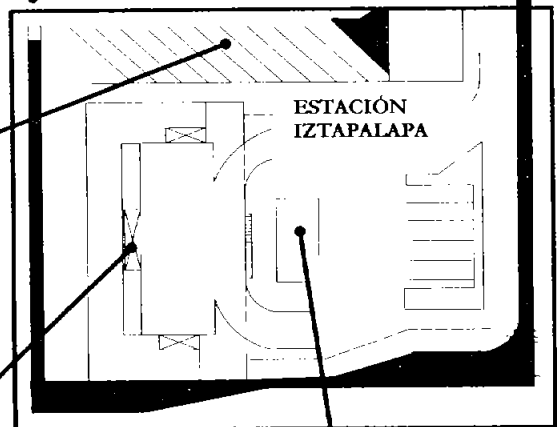
Rampa de acceso Central de Abasto



Entrada a la estación



Estacionamiento de transfers



Transferencia Iztapalapa



Transferencia de escombro

Figura 18. Instalaciones de la Estación de transferencia Iztapalapa

---

**Servicios generales.** Cuenta con área de servicios sanitarios y oficinas ubicados bajo el patio de maniobras de la estación Centra de Abasto.

**Obras complementarias.** Como parte de las obras complementarias se tienen las vialidades internas y una caseta de vigilancia a la entrada.

**Controles ambientales.** Como parte de los controles ambientales las estaciones están techadas, cuentan con sistemas de extracción de polvos y barda perimetral. Periódicamente se realiza fumigación y se lleva a cabo la medición de los niveles de ruido al exterior de las instalaciones.

### **6.3 Propuesta**

En este trabajo se plantea la colocación de una planta incineradora en la estación de transferencia de Iztapalapa; la cual atendería a la normatividad vigente y en cuyo caso se propone:

- Que la estación transferencia deje de funcionar como tal para colocar una planta incineradora de RSM; en este sentido se debe construir un incinerador en lugar de la estación de transferencia tratando de aprovechar en la medida de lo posible las instalaciones e infraestructura ya existentes.
- Que los residuos sólidos que actualmente son transportados por la estación en Iztapalapa, si es factible, sean canalizados a la estación de la Central de Abastos.

#### **6.3.1 Aspectos técnicos**

Hay una serie de aspectos que deben tomarse en cuenta para la colocación de una planta de incineración (World Bank, 2000), (DDF, 1984); para el caso de la estación Iztapalapa se tiene que:

---

## 1. Uso de suelo

Dado que una planta de incineración puede representar molestias para los vecinos, este es un punto que debe ser analizado con detenimiento. La generación de olores, ruido, polvo y de vectores debe minimizarse con medidas de mitigación. El lugar no se encuentra muy cerca de las zonas habitacionales, aunque muy cerca existe una gasolinera. Aunque el lugar se encontrara dentro de las áreas urbanas se puede asegurar que las sustancias emitidas a la atmósfera cumplan con la normatividad por medio de equipos de control.

## 2. Superficie disponible

El área con la que cuenta actualmente la estación es de 6,789 m<sup>2</sup> de los cuales 1,638 corresponden a espacios de áreas verdes y el restante a las instalaciones. Los contactos realizados con fabricantes de incineradores estiman que la superficie del terreno debe ser suficiente para la construcción de todas las áreas de la planta incineradora, las cuales estarán en función de la capacidad que tenga la planta, pero en términos generales se deberá contar con el espacio suficiente para contener:

- ◆ Área de descarga y de pesaje
- ◆ Sistema de alimentación de residuos
- ◆ Foso
- ◆ Carga de los hornos
- ◆ Sistema de extracción de cenizas
  - ◆ Sistema para extracción de escorias
  - ◆ Tratamiento de las cenizas
  - ◆ Manipulación de las cenizas
  - ◆ Almacenamiento de las cenizas
- ◆ Sistema de recuperación de energía
- ◆ Sistema de limpieza de los gases
- ◆ Áreas de servicios generales
- ◆ Áreas verdes

---

Las dimensiones de una planta incineradora dependen de la capacidad del incinerador y varían para cada fabricante, posteriormente se proporcionarán datos de fabricantes de incineradores.

### 3. Densidad de tráfico y vías de acceso para vehículos de transporte pesado

Las direcciones de las vías de circulación ya están bien definidas, todas las líneas de acceso y salida con las que tiene el lugar, en el caso de la estación se estima que en promedio recibe entre 380 y 400 viajes de vehículos recolectores al día. En este sentido se puede decir que el tránsito que se puede provocar en la vía pública no se verá afectado, al contrario, se reducirá el número de viajes de los camiones de transferencia. El enlace con las diferentes redes de acceso para el uso adecuado y eficiente de las instalaciones. Hay que hacer un análisis más profundo sobre el crecimiento de la población a la cual se dará servicio y el posible crecimiento poblacional alrededor de las instalaciones.

### 4. Disponibilidad de servicios públicos

La cercanía con los servicios públicos es otro factor de importancia que debe considerarse en la selección del sitio en donde se colocará el incinerador; electricidad, gas, suministro de agua, drenaje, teléfono, la posibilidad de tratar las aguas de desecho y la cercanía de las instalaciones con puestos de emergencia para el control de incendios y seguridad.

### 5. Dimensiones de las instalaciones

Las dimensiones de la planta incineradora dependen de varios factores, los más importantes son:

- ◆ Capacidad del incinerador (diseño)

En el año 2000 se generaban aproximadamente 2,425.1 ton/día según la tabla 8, para el año 2020 se generarán 3,390.2 ton/día. Ahora bien, según la Ley de Residuos para el Distrito Federal se deberán entregar los residuos totalmente separados por los generadores, entonces el porcentaje incinerable sería del 54.27% (tabla 17) lo que significa que actualmente son 1,316 ton/día y para el año 2020 aproximadamente 1,839.8 ton/día.

---

De los proveedores existentes la compañía Von Roll Environmental Technology Ltd. cuenta con plantas que pueden manejar 32Mg/h (770 ton/día) con una humedad del 40%. El área que ocuparía la planta es de 4,800m<sup>2</sup> (120x40m) dependiendo del tipo de incinerador y del sistema de purificación de gases (Gablinger, 2003). Esto significa que en los 6900m<sup>2</sup> que se tienen actualmente se podría colocar una unidad de 770 ton/día.

La empresa Basic Envirotech Inc. cuenta con unidades de incineración capaces de manejar 193 ton/día, en este caso el área de la planta es de 3,538 m<sup>2</sup> (58x61m) con sistema de recuperación de energía y purificación de gases (Díaz, 2004). El uso o adecuación de las instalaciones de la estación implica un análisis técnico-económico más profundo.

◆ Número de vehiculos que puede recibir la planta en la hora pico

Actualmente se reciben 380-400 viajes diarios de camiones recolectores y se realizan en promedio 130 viajes (al día) de los camiones de transferencia a Bordo Poniente.

- ◆ Sistema de limpieza de los gases
- ◆ Tratamiento de las escorias
- ◆ Tratamiento de las aguas residuales
- ◆ Zona de maniobras y pesaje
- ◆ Zona de servicios y mantenimiento
- ◆ Almacenamiento de los residuos
- ◆ Rampas de acceso y de descarga
- ◆ Áreas verdes

## 6. Área de cobertura

Dado que la estación de transferencia se localizó utilizando criterios de centroides de población, de generación y topográficos, se puede decir que se cumple con el requisito de mantener un equilibrio con las rutas de recolección.

---

Se propone que el flujo de residuos para la incineración sea como se muestra en la figura 19. Primero, los residuos ingresarían al área de pesado y registro; si es necesario llevar a cabo la selección de los objetos más voluminosos, entonces se realiza; después los camiones recolectores pasan al área de maniobras en donde descargan los residuos en el foso de alimentación. Los residuos son mezclados y alimentados al horno por medio de un brazo mecánico; en el horno los residuos son incinerados, los sistemas actuales buscan la recuperación de energía para reducir costos. Los gases son tratados y expulsados a la atmósfera por la chimenea. Las escorias y cenizas resultantes del proceso son enviadas al relleno sanitario para su disposición final.

### **6.3.3 Arreglo de las instalaciones**

En la figura 20 se presenta el arreglo de las instalaciones de la propuesta. En donde se encuentra actualmente el patio de maniobras se implementaría el foso de almacenamiento de los residuos (con ocho servidores); se modificarían las rampas de acceso y salida al patio de maniobras. El área restante de la estación se utilizaría para la instalación de la planta incineradora; tratamiento de gases y aguas residuales así como la transferencia de escorias y cenizas.

### **6.3.4 Impacto ambiental**

Este tipo de instalaciones generan una serie de impactos ambientales los cuales deben analizarse con detenimiento a lo largo de las fases principales de la planta incineradora (construcción, funcionamiento y clausura). Los proyectos actuales de construcción, operación y cierre de plantas incineradoras deben incluir planes de minimización de impactos en el agua, suelo y aire.

La tabla 22 muestra algunos de los impactos producidos a los distintos medios durante el transporte de residuos; su almacenaje; incineración; limpieza de gases y el tratamiento de las aguas residuales de una planta incineradora de RSM.

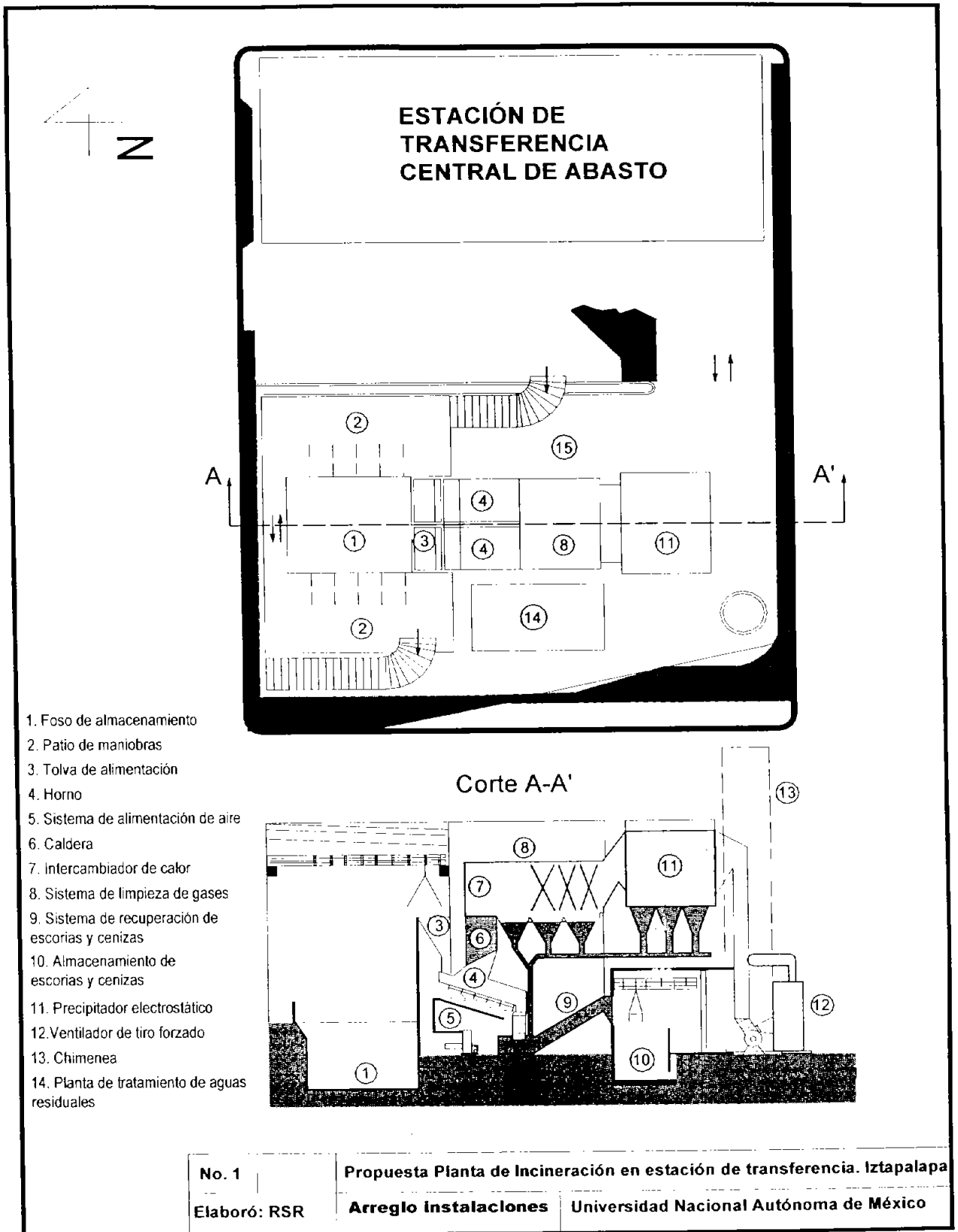


Figura 20. Arreglo de las instalaciones. Propuesta.

**Tabla 22.** Impactos ambientales causados por una planta incineradora de RSM.

		Aire	Agua	Suelo	Flora	Fauna	Paisaje	Salud	Usos	
Fase de construcción		+		++	+	+	++		+	
Presencia de la planta							++			
Fase de explotación	Transporte de residuos	+						+		
	Almacén de residuos	Olores	+					+		
		Fugas	++	+	+				++	++
	Proceso de combustión	Normal	++	+	+	+	+	+	++	++
		Anormal	+++	++	++	+	++	+	+++	++
	Productos depuración	Sólido	+	+	++				+	++
		Líquido		++	++				++	++
Ruidos					+	+	+			
Fase de clausura			+	+			++	+		

**+Bajo ++Medio +++Alto**

(Elías, 2002)

### 6.3.5 Aspectos económicos

La incineración es costosa comparado con otros procesos. La empresa Basic Envirotech Inc. por medio de su representación en México (Wilbur Eagle S.A.) proporcionó los costos de su equipo incinerador modelo 10,000 capaz de manejar 193 ton/día (Díaz, 2004).

Modelo 10,000 BPHP (2 unidades)	16,150 000 US\$
Costo transporte (fabrica-México)	807 500 US\$
Edificio	2,479 000 US\$
Instalación de sistemas	5,383 000 US\$
Comisiones (modelo 10,000)	404 000 US\$
Equipo generador (incluye edificación)	3,650 000 US\$
Transporte (fabrica-México)	182 500 US\$
Instalación de sistemas	292 500 US\$
<b>Costo de capital (equipo)</b>	<b>29,339 500 US\$</b>

Este tipo de unidades requieren de 5,500 000 US\$ anuales por concepto de operación. Entonces se tiene un costo de 79.16 US\$/ton de residuos (2004). La inversión aproximadamente es de 76,000 US\$ por tonelada instalada.



---

## Capítulo 7

### ***Resultados de la evaluación***

En éste trabajo se abordó la incineración de residuos como una forma de coadyuvar a minimizar la carga que actualmente tiene el relleno sanitario de Bordo Poniente, en ese sentido se buscó el uso de una tecnología alternativa para el tratamiento de los residuos sólidos que genera la ciudad.

Al realizar el estudio sobre el crecimiento poblacional se encontró que de continuar las tendencias en la Ciudad de México la población ascenderá a 9,669,773 habitantes para el año 2020.

Se llevó a cabo la estimación de la generación de residuos para todas las delegaciones del Distrito Federal; se estimó que las tasas de generación de residuos para los años 2010 y 2020 serán de 1.511 y 1.669 kg/día respectivamente. Se utilizaron las tasas de generación y de población estimadas para llevar a cabo una proyección sobre la generación de residuos en la ciudad la cual resultó de 16,135.6 ton/día.

Se llevó a cabo la revisión de las normas mexicanas aplicables a los residuos sólidos (en especial el proyecto de Norma NOM-098-ECOL-2000) para realizar una comparación con respecto a normas internacionales. La tabla 23 muestra la comparación de los límites de emisión de los países citados. En ese sentido se encontró que en México los límites son más altos en Europa y Estados Unidos; sin embargo los límites para los Estados Unidos son mas holgados dependiendo si la unidad incineradora es mayor o menor de 25 toneladas de residuos al día.

El proyecto de norma aborda lo referente al análisis de las cenizas que se generan durante los procesos de incineración por los equipos de control de emisiones y por el tratamiento de aguas residuales para determinar su peligrosidad previa disposición. Asimismo habla sobre las descargas de aguas residuales (equipos de control de emisiones, contención de fugas o

**Tabla 23.** Comparación entre los límites de emisión.

Substancia	Límite		
	México	Unión Europea <sup>a</sup>	Estados Unidos <sup>b</sup>
CO (mg/m <sup>3</sup> )	63	50	50-150
HCl (mg/m <sup>3</sup> )	15	10	25
NOx (mg/m <sup>3</sup> )	300	-	180
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	80	50	30
PARTÍCULAS (mg/m <sup>3</sup> )	50	10	15
ARSENICO SELENIO COBALTO NIQUEL MANGANESO ESTAÑO (mg/m <sup>3</sup> )	0.7	-	Englobados con partículas
CADMIO (mg/m <sup>3</sup> )	0.07	0.05	0.04
PLOMO CROMO total COBRE ZINC (mg/m <sup>3</sup> )	0.7	0.05	0.07
MERCURIO (mg/m <sup>3</sup> )	0.07	0.05	0.55
DIOXINAS Y FURANOS EQT (ng/m <sup>3</sup> )	0.5	0.1	0.6

a. Límites al año 2000 (st 11% O<sub>2</sub>).

b. Límites para instalaciones nuevas (st 7% O<sub>2</sub>).

En cuanto al tamaño de partículas especifica los límites de emisión aunque no menciona el tamaño de las mismas, sin embargo remite a la norma NMX-AA-10-1974.

Se estudiaron las estaciones de transferencia de la Ciudad de México. Para establecer los criterios con los que debían ser analizadas se utilizaron dos técnicas para toma de decisión, el análisis estructural y el análisis jerárquico multicriterio. Con la información que se consiguió se relacionaron todos los elementos constitutivos del sistema estación de

---

el análisis estructural y el análisis jerárquico multicriterio. Con la información que se consiguió se relacionaron todos los elementos constitutivos del sistema estación de transferencia, el resultado permitió establecer los criterios de selección los cuales fueron; área de las instalaciones, composición de los residuos, distancia al relleno sanitario y área de cobertura; las cuales resultaron ser las variables más importantes.

Al llevar a cabo el análisis se encontró que las estaciones con mayores posibilidades para establecer plantas incineradoras son las que se encuentran en las delegaciones Iztapalapa, Venustiano Carranza y en Gustavo A. Madero. En este trabajo se estudiaron con más profundidad las características de la estación de transferencia en Iztapalapa.

Al realizar un estudio más detallado de la estación seleccionada se encontró que debido a sus características de ubicación, flujo de residuos, poder calorífico y área disponible es posible instalar una unidad incineradora.

Cabe destacar que con los resultados de la investigación se encontró que el poder calorífico de los residuos es suficiente para mantener la auto-combustión sin agregar combustible extra ya que en promedio se tiene un poder calorífico inferior de 2,185 kcal/kg (9.1 MJ/kg) con una humedad del 32.84% (JICA, 1999).

---

---

## Conclusiones

- Se elaboró un diagnóstico sobre el manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de México y sus características de acuerdo a las estaciones de transferencia y se encontró que las delegaciones con mayor generación de residuos son Iztapalapa y Gustavo A. Madero. En cuanto a la composición el 0.036% corresponde a RSM peligrosos (pilas eléctricas, pintura vinílica, filtros de aire y balatas) y los residuos alimenticios oscilan entre el 26.62% y el 66.03% (DDF, 1998).
- Existen trece estaciones de transferencia en la Ciudad de México y se pudo observar que los residuos de las distintas delegaciones pasan indudablemente por las estaciones de transferencia (salvo contada excepciones) y aunque cerca del 50% van a las plantas de selección, al final, la gran mayoría son transportados al relleno sanitario de Bordo Poniente.
- Se investigó sobre el poder calorífico de los residuos sólidos que ingresan a las estaciones de transferencia de la Ciudad de México y se encontró que en el caso de los residuos con poca humedad y alto poder calorífico la delegación Gustavo A. Madero presenta los porcentajes más altos.
- En la evaluación de las estaciones se encontró que en tres estaciones de transferencia (Gustavo A. Madero, Iztapalapa y Venustiano Carranza) es posible colocar unidades incineradoras. Como ejemplo de aplicación se estudió la estación Iztapalapa por haber conseguido la mejor evaluación de las tres. Y se encontró que es posible colocar una planta incineradora. Para el caso de la estación seleccionada se estimó que la población ascenderá en el 2020 a 2,031,687 habitantes con una generación estimada de 3,390.22 ton/día. Sin embargo, esta cantidad puede bajar si se aplica plenamente la Ley de Residuos para el Distrito Federal.
- Las condiciones óptimas de operación de la unidad incineradora propuesta son:

Poder Calorífico Inferior	2566.7 kcal/kg (10.7 MJ/kg)
Humedad	Entre 40-60%
Flujo de residuos	32 ton/hr

- 
- Se llevó a cabo una investigación sobre las tendencias poblacionales y de generación de residuos en la Ciudad; en ese sentido se puede decir que los cálculos realizados para todas las delegaciones permitieron obtener una visión general de la cantidad de residuos actuales y de la generación que se tendría en el año 2020 y con ello establecer un posible flujo para cada estación.

Es indudable que el manejo de los residuos en la Ciudad de México es sumamente complejo y difícil de estudiar. Las principales razones de haber propuesto la incineración de los residuos son el inminente agotamiento del relleno actual, cuya vida útil muy pronto terminará, en aproximadamente tres años, y la carencia de espacios para la construcción de nuevos espacios para la disposición final.

---

## **RECOMENDACIONES**

En este estudio se realizó una aproximación a futuro sobre el flujo de residuos en la estación, sin embargo, para un proyecto de estas características se debe realizar un análisis más detallado en cuanto a la composición y flujos. Es importante destacar que con la aplicación de la nueva Ley de Residuos para el Distrito Federal las características en la composición y cantidad de residuos seguramente cambiarán.

Queda pendiente para posteriores trabajos un análisis detallado sobre la conveniencia de utilizar las instalaciones existentes o la posibilidad de llevar a cabo una adecuación. Además es necesario estudiar sobre los cambios estructurales que tendría el sistema de transferencia por el cierre temporal de la estación Iztapalapa (considerando el tiempo de construcción de la planta).

En este trabajo se realizó el análisis de la estación de transferencia de Iztapalapa por haber obtenido la mejor evaluación, sin embargo, las estaciones en Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero también resultaron con características idóneas para colocar una planta incineradora. En este sentido, se debe realizar un análisis de las otras dos estaciones para establecer cual de las tres opciones es la mejor.

Ya que los costos de inversión y operación son elevados debe considerarse la posibilidad de recuperar energía para reducir costos. Aquí se recomendó un equipo para la incineración de residuos, pero para el caso de la Ciudad de México, que tiene muy poca experiencia en este tipo de tratamientos podría iniciar con equipos de menor capacidad y con ello ir obteniendo los conocimientos en la operación y mantenimiento de este tipo de unidades.

En cuanto al Proyecto de norma PROY-NOM-098-ECOL-2000 que aún se encuentra en revisión se debe destacar que en su texto no se encontró referencia alguna sobre el análisis de escorias. En cuanto al tratamiento de las aguas residuales se refiere (implícitamente) a los límites para su descarga (una vez tratadas) pero no refiere nada en cuanto al tratamiento de los lodos (con metales pesados).

Es importante decir que aunque los límites de emisión, en general, son más altos que en otros países hay que recordar que los principales fabricantes de incineradores provienen de

---

estos países por lo que es necesario exigir que sus equipos cumplan con los límites que cumplen en sus países de origen.

Finalmente, hay que evaluar todos los aspectos normativos, ambientales, económicos, técnicos y sociales relacionados con la incineración de residuos.

---

## Referencias

**ANEIAP, 2001.** Planeación prospectiva: el análisis estructural y otras herramientas, Asociación Nacional de Estudiantes de Ingenierías Industrial Administrativa y de Producción, Colombia.

Documento electrónico html [En línea].

Disponible en: [http://www.aneiap.org/revista/arting04\\_resumenprospectiva.htm](http://www.aneiap.org/revista/arting04_resumenprospectiva.htm)

**Busch, G., 2002.** Waste incineration technology, Curso sobre incineración de residuos sólidos municipales (3-19 septiembre), UNAM, México.

**CEMPRE, 1998.** Residuos sólidos urbanos - Manual de gestión integral, Compromiso Empresarial para el reciclaje, Uruguay. Documento electrónico en PDF [En línea].

Disponible en: <http://www.cempre.org.uy/pagina/cempre.htm>

**CNPML, 2001.** Tratamiento avanzado de residuos hospitalarios, Seminario organizado por el Centro Nacional de Producción más Limpia, 5 y 6 de julio de 2001; Medellín, Colombia. Documento electrónico en PDF [En línea].

Disponible en: <http://www.cnpml.org/html/memorias.asp>

**CNPML, 2002.** Elementos de Diseño y Operación de Sistemas de Incineración de Residuos, Seminario organizado por el Centro Nacional de Producción más Limpia, 4 y 5 de julio de 2002; Medellín, Colombia. Documento electrónico en PDF [En línea].

Disponible en: <http://www.cnpml.org/html/memorias.asp>

**Conesa J., 2003.** Producción de energía eléctrica en régimen especial, incineración de residuos sólidos, Universidad de Alicante, Departamento de Ingeniería Química, Documento electrónico en PDF [En línea].

Disponible en: <http://iq.ua.es/cogeneracion.pdf>

**Díaz C., 2004.** Wilbur Eagle, S.A. Basic Envirotech, Director General, comunicación personal.

**DDF, 1984.** Análisis del proceso de incineración como un método de tratamiento de los residuos sólidos, Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Desarrollo Urbano y



---

Disponible en: <http://www.iztapalapa.gob.mx/index.html>

**GDF, 2004a.** Información por áreas y catálogo de imágenes del atlas delegacional, Gobierno del Distrito Federal, Delegación Iztapalapa. Dirección General de Administración, Coordinación de Informática. Documento electrónico en PDF [En línea].

Disponible en <http://www.iztapalapa.gob.mx>

**Godet M., 2000.** La caja de herramientas de la prospectiva estratégica, Cuaderno n° 5, Cuarta edición actualizada, Difusión: Librairie des Arts et Métiers, Paris y Prospektiker, España. Documento electrónico PDF [En línea].

Disponible en: <http://www.cnam.fr/lipsor/spa/data/bo-lips-esp.pdf>

**Goicoechea A., 2003.** Marcos analíticos para la toma de decisiones con objetivos múltiples, Curso impartido en la Universidad Nacional Autónoma de México del 29 septiembre al 3 octubre de 2003, México D.F.

**INE, 1995.** Seminario sobre procesos térmicos para el tratamiento de residuos, situación actual de los procesos térmicos para el tratamiento de los residuos sólidos y peligrosos, Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., mayo.

**INE, 1999.** Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F.

**INE, 1999a.** Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Trabajo presentado en II Seminario Internacional sobre residuos sólidos y restauración de suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología-Agencia Internacional para la Cooperación del Japón.

**INE, 2004** Análisis de riesgo, capítulo 7, Instituto Nacional de Ecología, actualizado 23/01/2004, Documento electrónico html [En línea].

Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/400/cap7.html?id\\_pub=400](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/400/cap7.html?id_pub=400)

**INEGI, 1989.** Anuario estadístico del Distrito Federal, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Departamento del Distrito Federal, México.

**INEGI, 1993.** Anuario estadístico del Distrito Federal, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Edición 1993, México

- 
- INEGI, 1997.** Anuario estadístico del Distrito Federal, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Edición 1997, México
- INEGI, 2000.** Anuario estadístico del Distrito Federal, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Edición 2000, México
- INEGI, 2001.** Anuario estadístico del Distrito Federal, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Edición 2001, México
- INEGI, 2002.** Aspectos Geográficos del Distrito Federal, Espaciograma del Distrito Federal, México.
- INEGI y SIC, 2000.** VII al XII Censos de Población y Vivienda, 1950 a 2000. México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, varios años.
- JICA, 1999.** Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos, Agencia para la Cooperación Internacional Japonesa, Kokusai Kogyo Co. LTD, México.
- LGEEPA, 2002.** Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación 28 enero 1988, México, D. F.
- Medina J., 2003.** Introducción a los métodos prospectivos, Jornada en Prospectiva y Vigilancia Tecnológica, Octubre 13 al 15 del 2003, Guayaquil, Ecuador.
- OPS, 1998.** Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, serie Ambiental No 18, colaborados: Guido Acurio, Antonio Rossin, Paulo Fernando Teixeira, Francisco Zepeda, Segunda Edición: Septiembre de 1998.
- PAOT, 1997.** Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Iztapalapa, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. Documento electrónico en html [En línea]. Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/programas/delegacion/iztapal.html>
- Petunchi J., 1999.** Procesos de combustión para la eliminación de residuos peligrosos, Instituto de Investigaciones en Catálisis y petroquímica, Argentina.
- Sánchez J. y Estrada R., 1996.** Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas, Instituto Nacional de Ecología, México D.F.

---

**Saaty T., 1986.** Decision making for leaders, RWS publications, Pittsburgh, P. A.

**SGO, 1996.** Estudio de factibilidad técnico-económica para la implementación de una estación de transferencia en la zona sur-oriente de la Ciudad de México, Secretaría General de Obras, Dirección General de Servicios Urbanos, Dirección Técnica de Desechos Sólidos, Ambriens Consultoría Integral S.A. de C.V., México.

**SMA, 2004.** Inventario de áreas verdes en el Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Documento electrónico en html [En línea].

Disponible en:

<http://www.sma.df.gob.mx/bibliov/modules.php?name=News&file=article&sid=112>

**SMA, 2004a.** Inventario de emisiones: Publicación de inventario de emisiones 2000, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, Centro de Información Ambiental, Documento electrónico en PDF [En línea]. Disponible en:

<http://www.sma.df.gob.mx/bibliov/modules.php?name=News&file=article&sid=204>

**SSN, 2004.** Características del sismo del 19 de septiembre de 1985, Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica UNAM, Documento electrónico, [En línea], Fecha de consulta 17.mayo.2004

Disponible en: <http://www.ssn.unam.mx/SSN/Doc/Sismo85/sismo85-7.htm>

**SOS, 2001.** Manejo de residuos sólidos en la Ciudad de México, Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Servicios Urbanos, Dirección de Programación y Mejoramiento Urbano, México.

**Tchobanoglous G. [et al], 1994.** Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen 1, McGraw-Hill, España.

**Trejo R., 1996.** Procesamiento de la basura urbana, Editorial Trillas, México, D.F.

**U.S. EPA, 2004.** Air chief, Emission factor and group inventory group EMAD/OAQPS, EPA 454/C-04-001, Vol. 1. Documento electrónico [CD].

**World Bank, 2000.** Municipal Solid Waste incineration, requirements for a successful project, T. Randall, J. Haukoil, U. Marxen, Technical paper No. 462, United States of America.

---

---

## **Bibliografía**

- Ball P. [et al], 1998.** Incineration-Manual practice No. 11; Prepared by Taske Force on Incineration; W. Joseph Myers, chairman; under the direction of operations and maintenance subcommittee technical practice committee, ed. Alexandria, Virginia; Water Pollution Control Federation.
- Bronner C., 1985.** Hazardous air emissions from incineration, New York: Chapman and Hall.
- Clark C. R., 1969.** Principles and practices of incineration imp. in New York: Wiley-Interscience.
- Cross L. and Heskett H., 1985.** Controlled air incineration, Lancaster Technomic.
- Flores Valenzuela V. y Solórzano G., 1993.** Tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Educación Continua, México.
- Guzmán Marín F., 1995.** Diseño técnico ambiental para la instalación de una planta de incineración de residuos en el Estado de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química; Tesis de Licenciatura Ingeniero Químico; México.
- International Joint Power Generation Conference in Boston Massachusetts, 1990.** Advances in solid fuel technologies, Massachusetts, USA.
- Liu H. F. y Liptak, 2000.** Hazardous waste and solid waste; imp. Boca Raton: Lewis, United States of America.
- Martínez Alemán A., 1986.** Métodos alternativos para la disposición final de residuos sólidos municipales, Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Richards D. [et al], 1990.** Waste to energy commercial facilities profiles: Technical, operational and economics perspectives, imp. Park Ridge New Jersey: Noyes data.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984.** NMX-AA-16-1984; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de humedad; DOF 1984-12-14, México.

---

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984.** NMX-AA-18-1984; Protección al ambiente-contaminación de suelo- Residuos sólidos municipales-determinación de cenizas; DOF 1984-12-14, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984.** NMX-AA-24-1984; Protección al ambiente - Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales - Determinación de nitrógeno total; DOF 1984-12-14, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984.** NMX-AA-25-1984. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos-determinación del pH-método potenciométrico, DOF 1984-12-14, México

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984.** NMX-AA-92-1984. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos-Determinación de azufre, DOF 1984-12-14, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984.** NOM-AA-15-1985; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-muestreo-método de cuarteo; DOF 1984-03-18, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985.** NOM-AA-19-1985; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-peso volumétrico "in situ", DOF 1985-03-18, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985.** NMX-AA-21-1985; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-Determinación de materia orgánica; DOF 1985-08-08, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985.** NOM-AA-22-1985. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-selección y cuantificación de subproductos; DOF 1985-03-18, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985.** NMX-AA-33-1985; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales- Determinación de poder Calorífico Superior; DOF 1985-08-08, México.

---

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985.** NOM-AA-52-1985; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales- Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis; DOF 1985-03-18, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985.** NOM-AA-61-1985; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales- Determinación de la generación; DOF 1985-08-08, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1985.** NMX-AA-67-1985. Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-Determinación de la relación carbono/nitrógeno; DOF 1985-08-08, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1984.** NOM-AA-91-1987; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-terminología; DOF 1987-07-23, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1986.** NMX-AA-68-1986; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-Determinación de hidrógeno a partir de materia orgánica, DOF 1986-04-14, México.

**Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2001.** PROY-NMX-AA-041-SCFI-2001; Protección al ambiente-Contaminación del suelo-residuos sólidos municipales- proyecto de norma para la determinación de inflamabilidad-Método de prueba; DOF 2001-11-22, México.

**Secretaría de Energía, 1996.** Proyecto de Norma Oficial Mexicana, Proy.-NOM-020-NUCL-1995, requerimientos para instalaciones de incineración de desechos radioactivos, DOF 1996-02-02; México.

**SEDUE, 1983.** Guía técnica para la elaboración de un proyecto ejecutivo para el control de residuos sólidos industriales peligrosos y potencialmente peligrosos, México.

**Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 2000.** PROY-NOM-098-ECOL-2000 Proyecto de Norma Oficial Mexicana para la incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisiones de contaminantes, DOF 2000-09-08, México.

**Southwood R. y Waine F., 1992.** The treatment and handling of wastes, A. D. Bradshaw, ed. Chapman and Shall.

---

**Teaf C.M. [et al], 1999.** Bean Hazardous waste incineration: Evaluating the human health and environmental risk, ed. by Stephen M. Roberts, ed. Boca Raton-Lewis

**Vander S. H. [et al], 1997.** Municipal solid waste incinerator residues; New York: Elsevier, series studies in environmental science.

**Vessilind A. and Rimer A., 1981.** Unit Operation in resource recovery engineering, imp. Englewood Cliffs n.j.: Prentice Hall, United States of America.

		ET01	ET07	ET09	ET12	ET17	ET18	ET20	ET21	ET22	ET28	ET29	ET30	ET34	ET05	ET06	ET08	ET10	ET11	ET14	ET19	ET27	ET32	ET33	ET02	ET03	ET04	ET13	ET15	ET16	ET23	ET24	ET25	ET26	ET31	ET35	ET36	ET37	ET38	ET39	ET40		
	Cantidad de residuos transferidos	0	2	0	1	0	3	1	2	0	0	0	1	1	1	1	2	0	1	0	1	0	0	1	3	3	0	2	0	2	3	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Numero de personal que labora	0	1	1	2	2	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eficiencia del proceso	2	1	2	0	0	3	0	2	2	1	2	2	2	3	3	2	2	0	3	3	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Energia eléctrica consumida	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sindicato	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Administración	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tiempos de espera (camiones recolectores)	3	1	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	2	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Area de las instalaciones	3	3	3	2	1	3	0	3	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	3	3	0	0	3	3	3	0	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	
	Cantidad de agua de lavado	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gastos de operación	1	1	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Residuos por mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Manejo de residuos peligrosos	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
	Capacitación del personal	2	2	3	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Emissiones de PST	0	0	2	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ruido	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Salud del personal	0	2	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Producción de fauna nociva	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Olores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	
	Area de cobertura	3	0	1	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Calidad del aire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	1	0	0	3	0	0	0	3	3	0	1	0	3	3	0	0	0	0	0	0	2	0	3	29	
	Cumplimiento de la normatividad	0	0	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Impuestos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	23	
	Vida útil de la estación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Volumen de residuos	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Numero de camiones que ingresan	3	1	3	0	0	3	0	0	0	0	1	0	1	2	2	1	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capacidad de los camiones	3	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Combustibles para transporte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Estética	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tránsito (interno)	2	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Numero de transfers	3	0	3	0	0	0	1	2	0	1	0	1	1	1	2	1	0	0	1	1	0	0	0	3	1	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capacidad de los transfers	0	0	2	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Valor de los residuos recuperables	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Aceptación social	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Salud de los vecinos	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Calidad del suelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ubicación	3	1	2	0	2	1	3	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0	3	0	2	0	3	3	2	2	0	0	3	2	3	3	0	3	3	0	3	
	Servicios públicos	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Composición de los residuos	3	0	3	1	0	3	3	1	0	0	2	2	2	2	1	1	1	2	3	1	2	0	0	2	2	3	2	0	3	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
	Distancia al relleno	3	1	2	0	2																																					





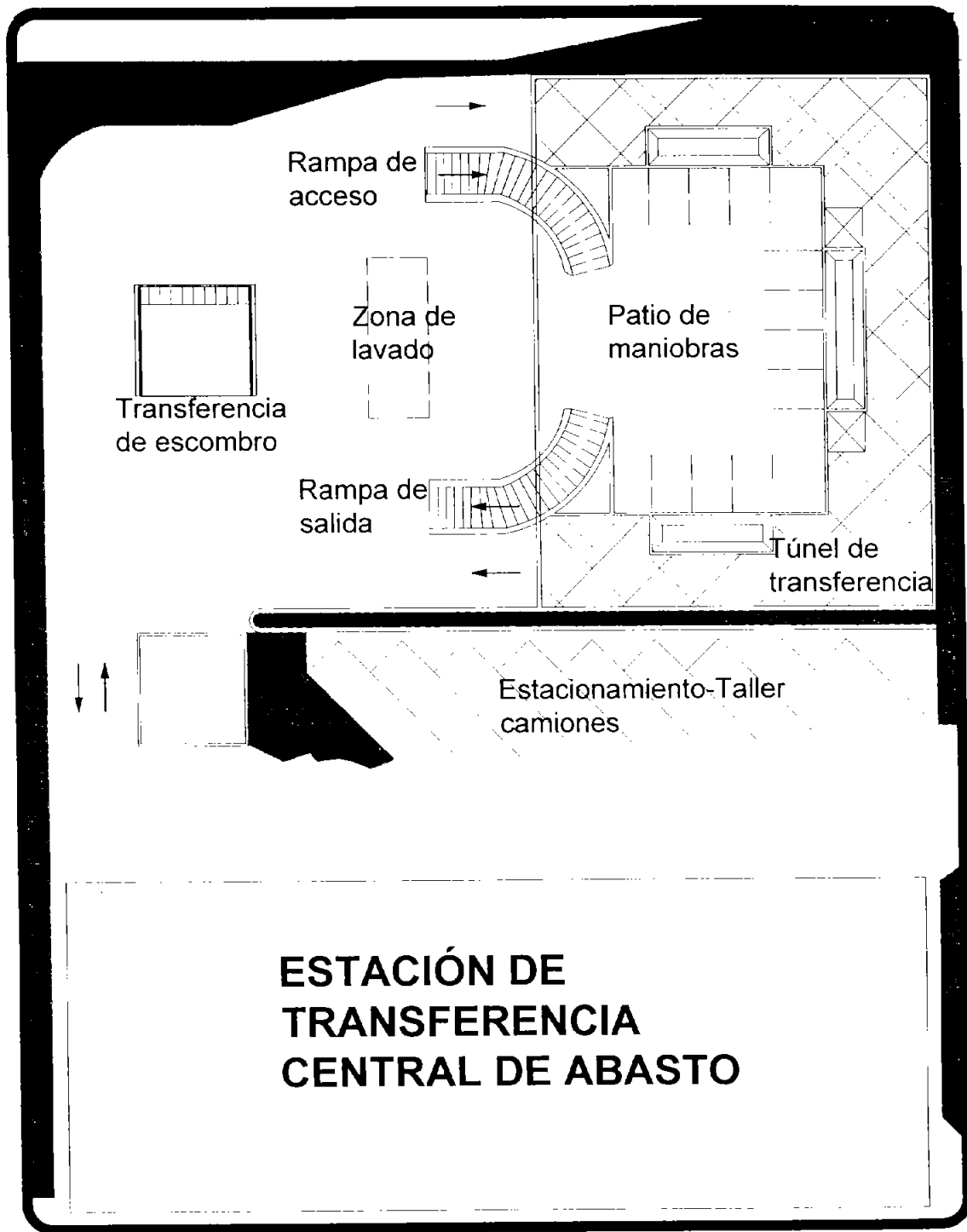


Figura 2-2. Disposición de las instalaciones de la estación de transferencia en Iztapalapa

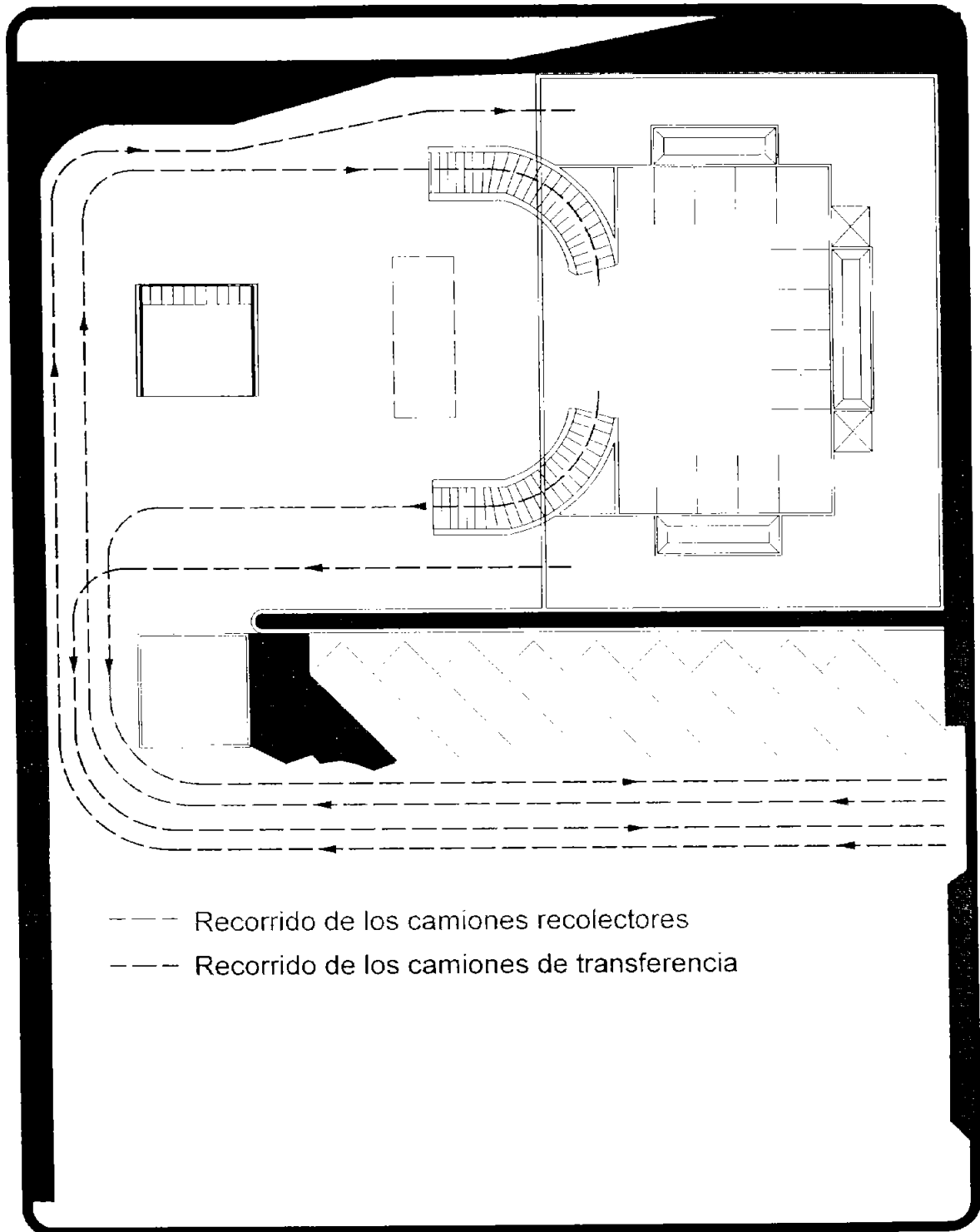


Figura.2-3. Recorridos de los camiones recolectores y de los camiones de transferencia dentro de las instalaciones.

### ANEXO 3. Programa Expert Choice®

La utilidad del programa Expert Choice estriba en que el cálculo de los eigenvectores se reduce de manera significativa. Se hacen comparaciones pareadas en donde se establece un objetivo y los criterios de selección (figura 3-1).

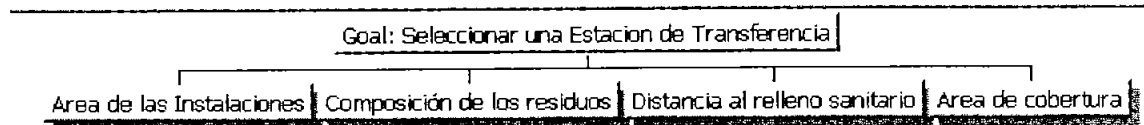


Figura 3-1. Objetivo general y los cuatro criterios de selección

En el programa se pueden ingresar los cuatro criterios de selección a partir del objetivo inicial como "hijos"

Una vez hecho lo anterior se pueden realizar las comparaciones para todas las estaciones, en a siguiente figura se muestra la comparación de las estaciones para el criterio área de cobertura (figura 3-2).

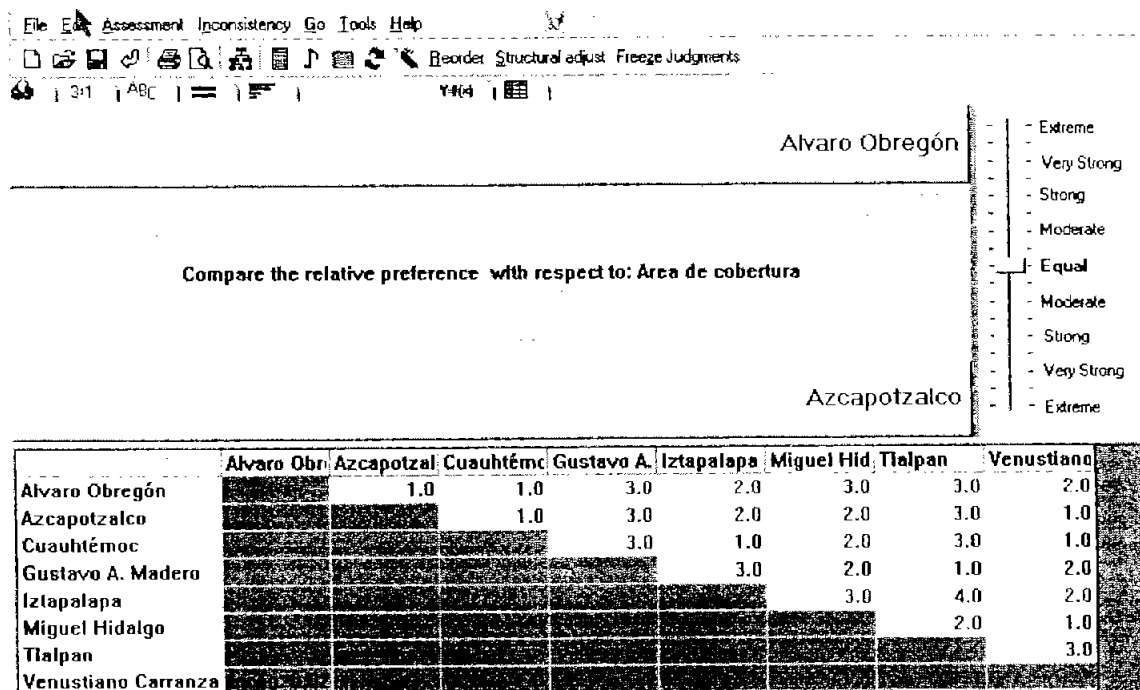


Figura 3-2. Comparación de las estaciones con respecto al área de cobertura

En este caso el número uno significa que son iguales y que no existe preferencia por ninguno de los dos casos. Por ejemplo, al comparar Gustavo A. Madero con Alvaro Obregón aparece un tres en rojo, esto significa que hay tres veces mayor preferencia por Gustavo A. Madero con respecto al área de cobertura sobre Alvaro Obregón. Este procedimiento se debe llevar a cabo con todos criterios a evaluar, las figuras siguientes muestran los valores ingresados para este estudio.

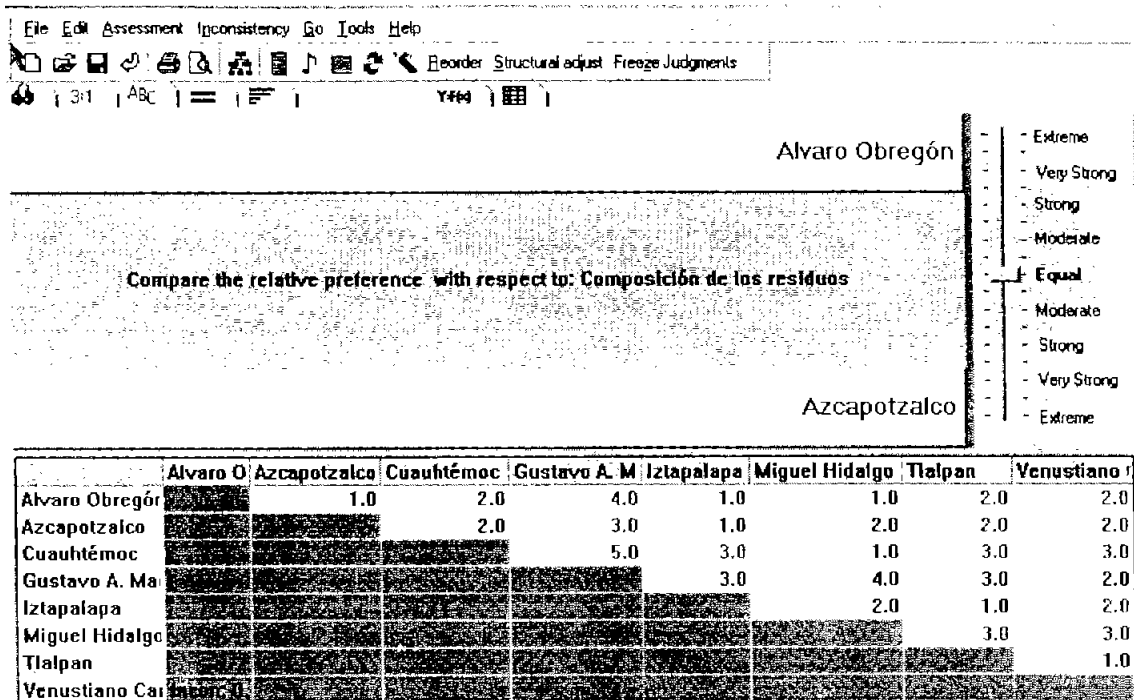


Figura 3-3. Comparación de las estaciones con respecto a la composición de los residuos

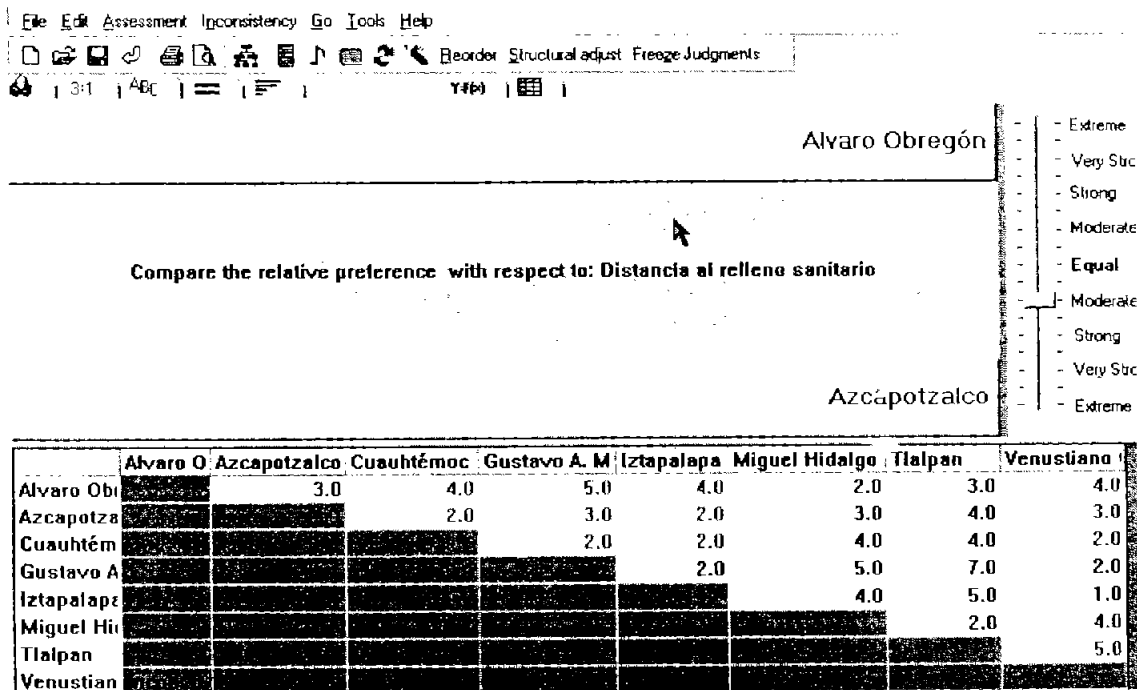


Figura 3-4. Comparación de las estaciones con respecto a la distancia al relleno sanitario

Una vez hecho lo anterior solo falta hacer la comparación final entre los cuatro criterios de selección. En la siguiente figura se muestra la comparación realizada para este caso.

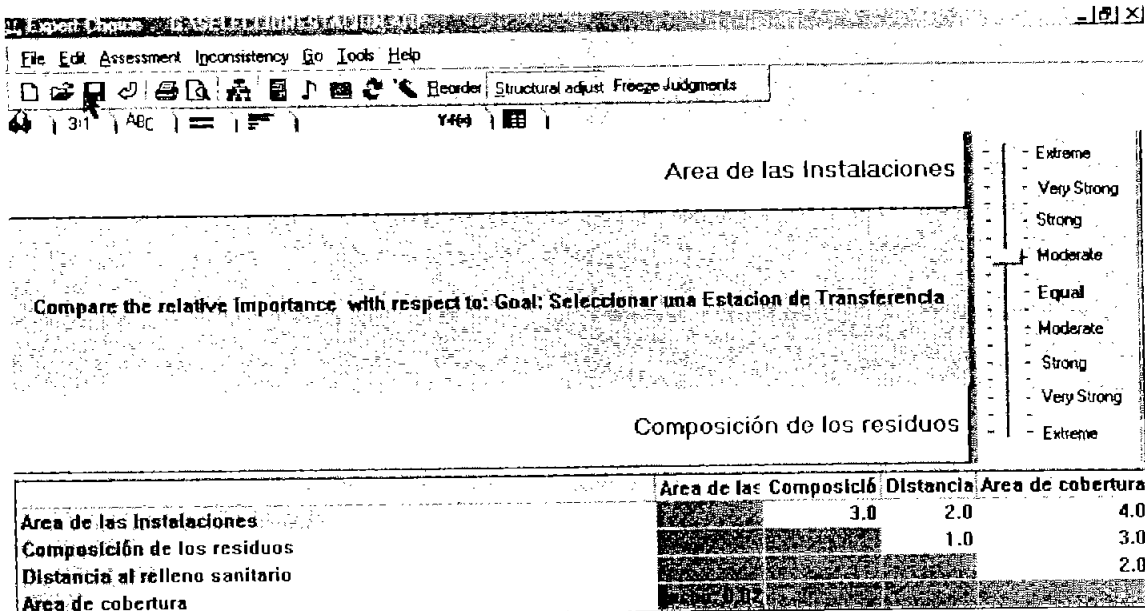


Figura 3-5. Comparación de los cuatro criterios de selección

Aquí se considera que al comparar el área de las instalaciones con la composición de los residuos la primera es moderadamente más importante que la segunda y automáticamente el programa le asigna el valor tres. Se lleva a cabo el procedimiento de la misma manera hasta llenar la matriz de comparaciones. Para finalizar, se realiza el cálculo de los pesos relativos para todos los criterios de selección y todas las estaciones de transferencia (figura 3-6).

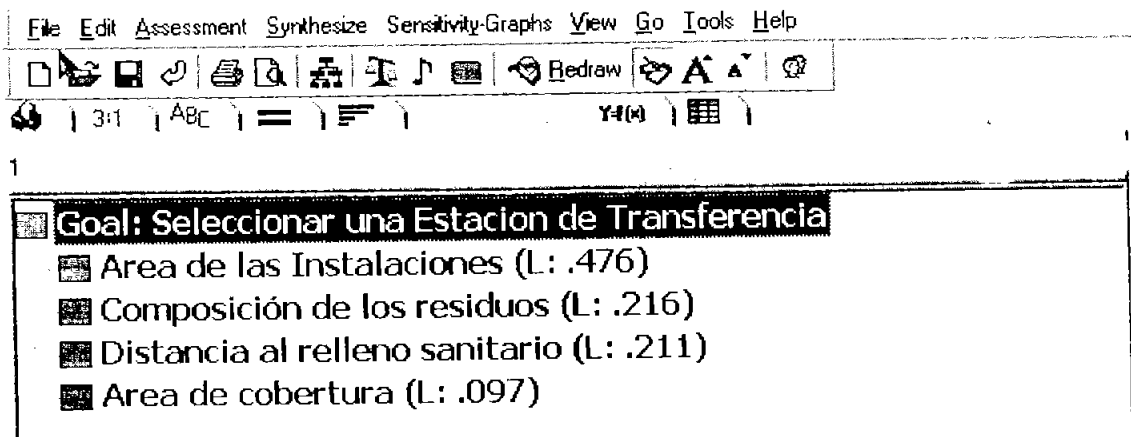


Figura 3-6. Pesos relativos calculados para cada criterio

Y con ello obtener la mejor opción de selección:

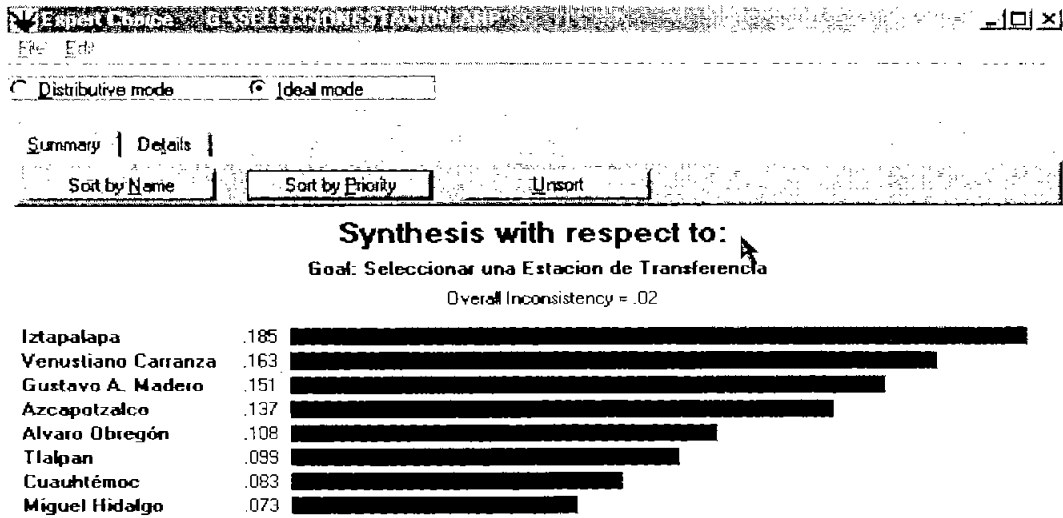


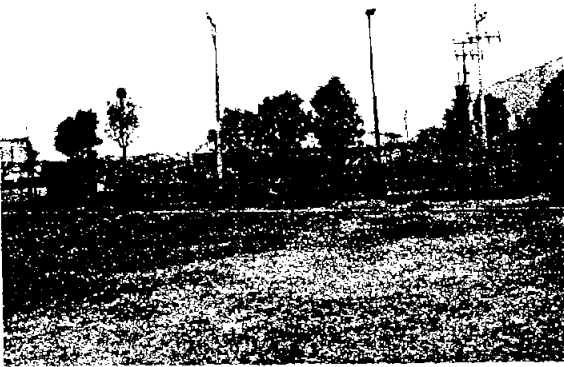
Figura 3-7. Evaluaciones finales para las estaciones de transferencia.

Este programa tiene la ventaja de que al momento de ingresar los valores para las comparaciones de manera inmediata se calcula el índice de inconsistencia. Con el índice se puede asegurar que los valores o juicios sean congruentes desde el principio y no se corra el riesgo de cometer un error de comparación.

---

---

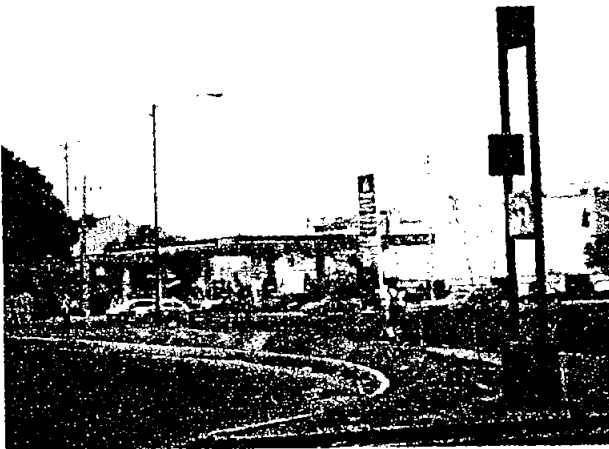
**ANEXO 4. Memoria fotográfica**



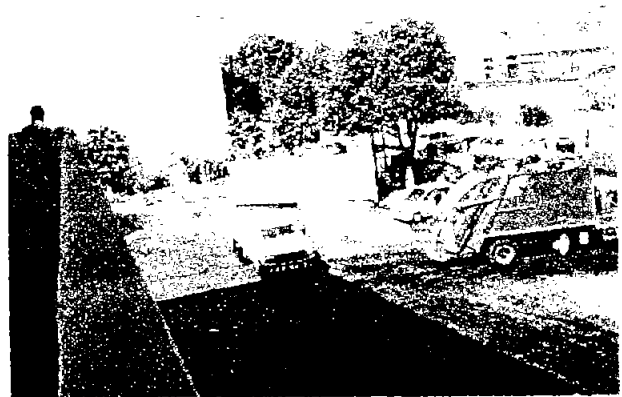
**Figura 4-1** Camellón frente a la estación de transferencia.



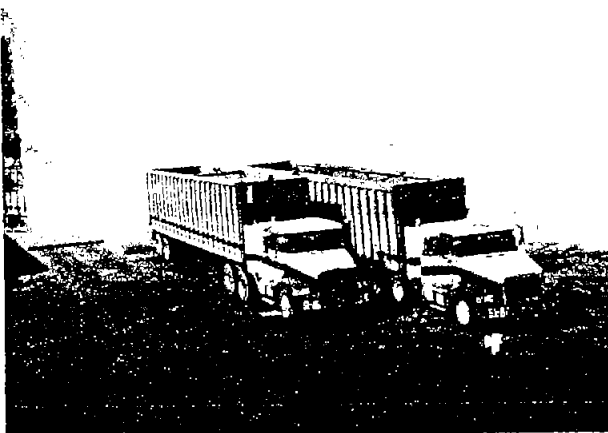
**Figura 4-2** Vista exterior de la estación de transferencia.



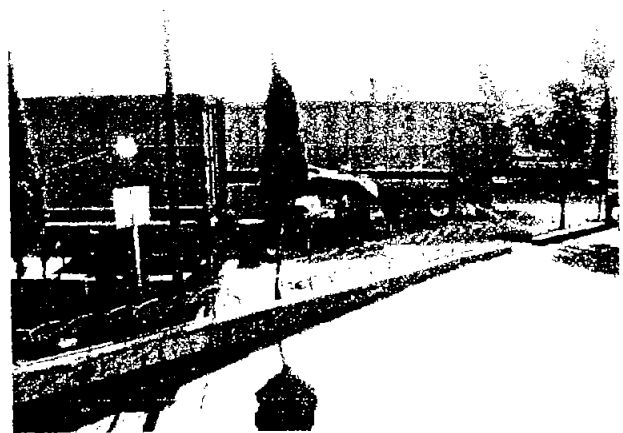
**Figura 4-3** Vialidades externas.



**Figura 4-4** Acceso a la estación.



**Figura 4-5** Estacionamiento para las unidades de transferencia.



**Figura 4-6** Estacionamiento y taller para las unidades de transferencia.





Figura 4-7 Tolva para la transferencia de residuos.

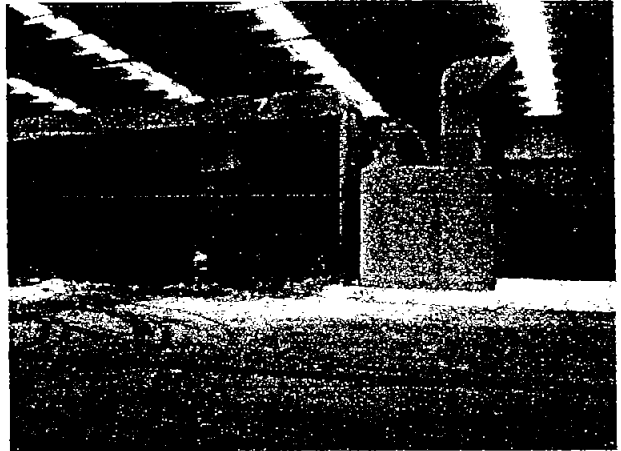


Figura 4-8 Tolva y sistema de extracción de polvos (derecha).

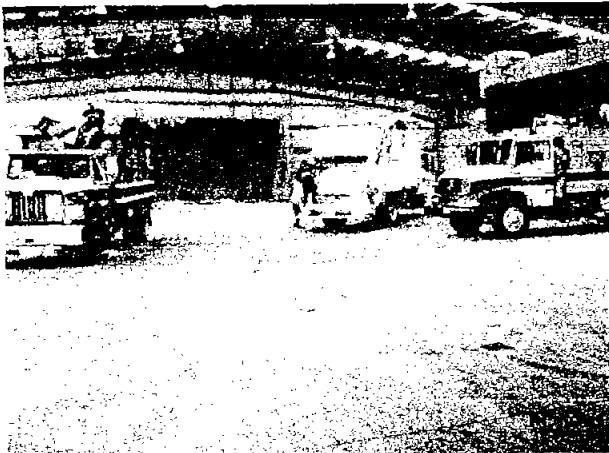


Figura 4-9 Patio de maniobras.

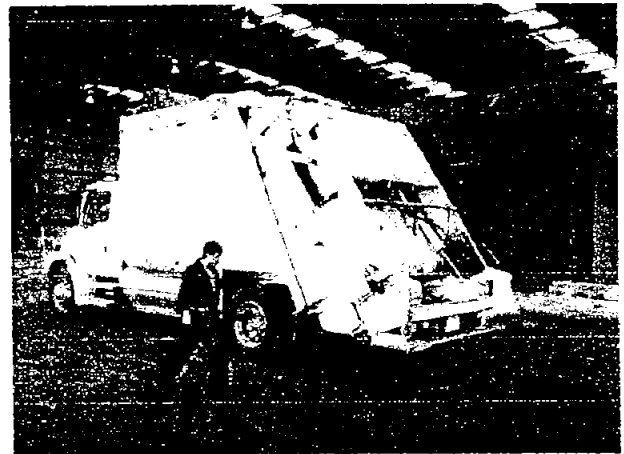


Figura 4-10 Maniobras para la transferencia

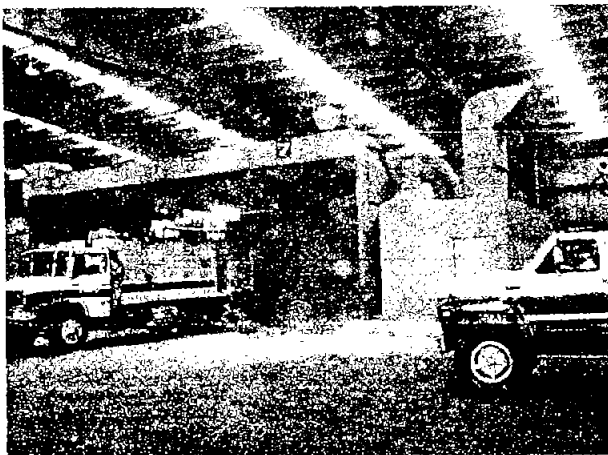


Figura 4-11 Transferencia de residuos.

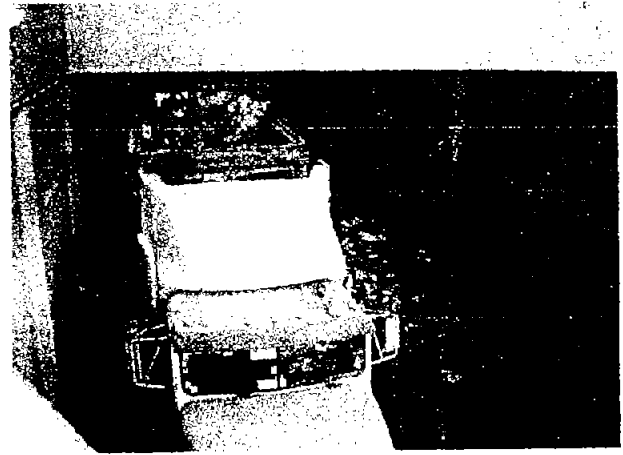


Figura 4-12 Llenado de los camiones de transferencia



**Figura 4-13** Rampa de salida de los camiones recolectores (a).



**Figura 4-14** Rampa de salida de los camiones recolectores (b).



**Figura 4-15** Lavado y cobertura de los camiones de transferencia.



**Figura 4-16** Salida de los camiones de transferencia

ANEXO 5. Catálogos de fabricantes

**vonRoll** INOVA

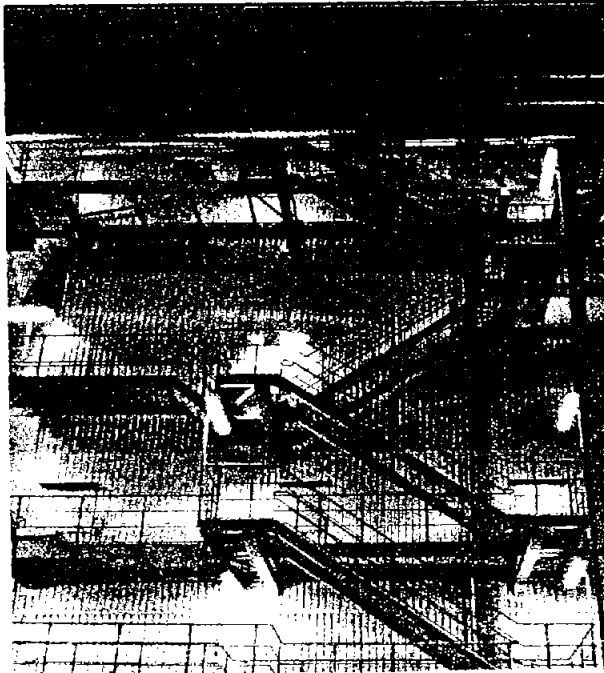


Figura 5-1 Hamburgo, Alemania (1997).  
Capacidad 2x6.2Mg/h.

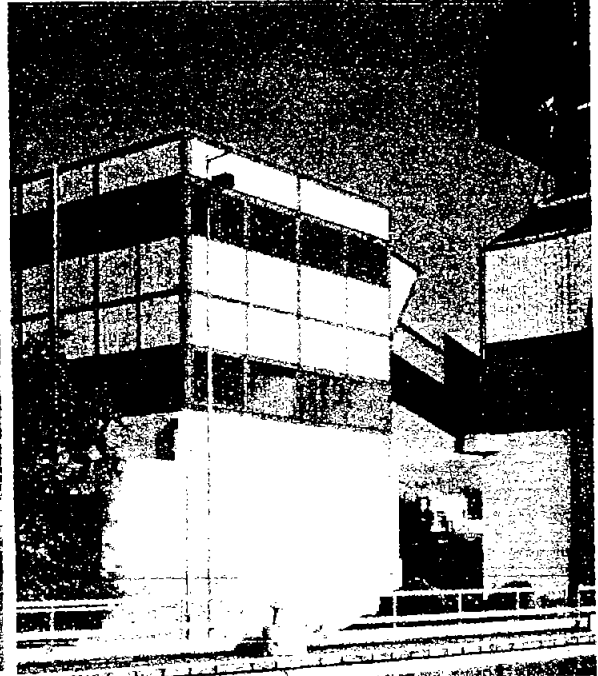


Figura 5-2 Suiza, 1994. Capacidad 2x21 Mg/h.

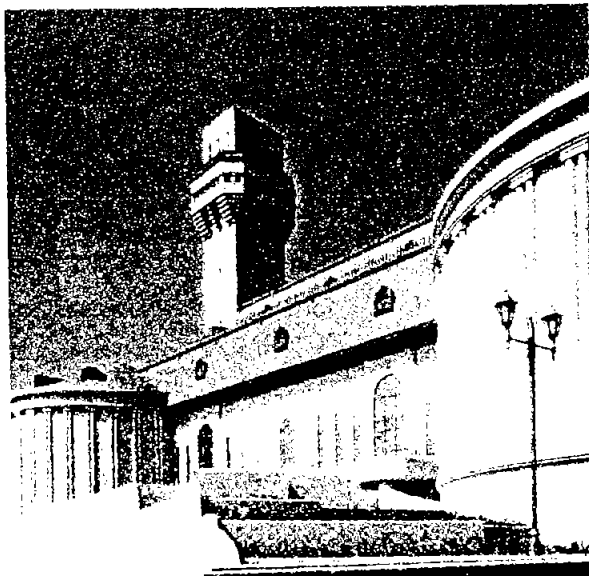


Figura 5-3 Saitama Tobu, Japón. Capacidad  
4x8.3 Mg/h.

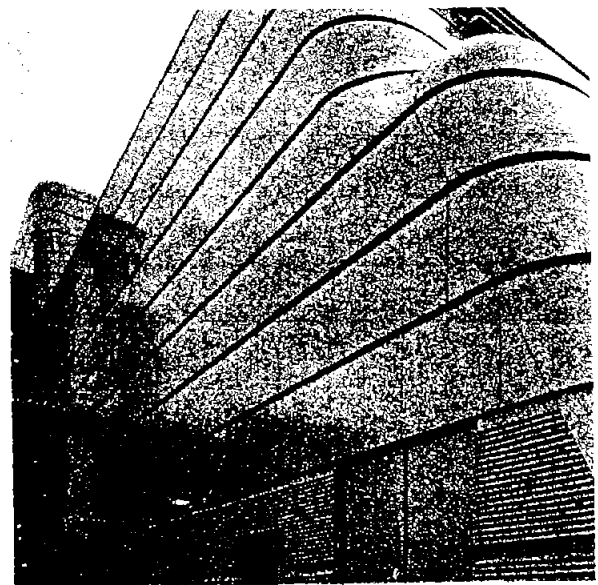
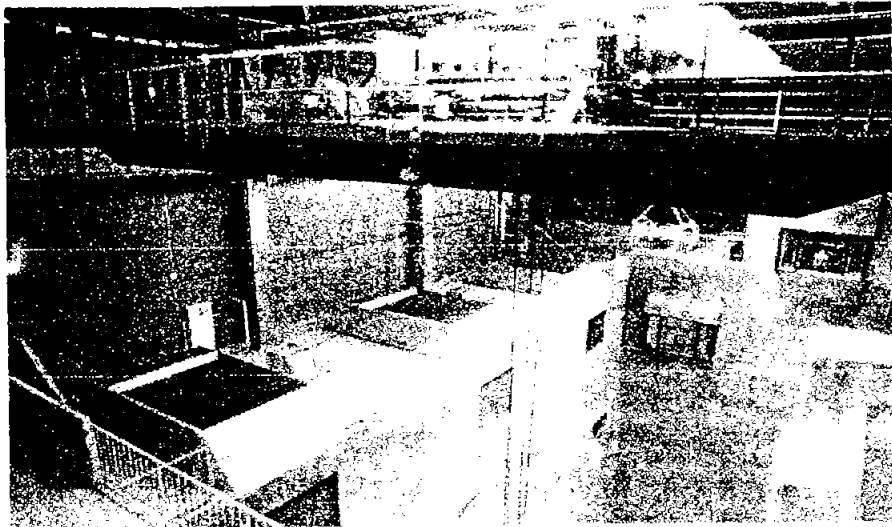
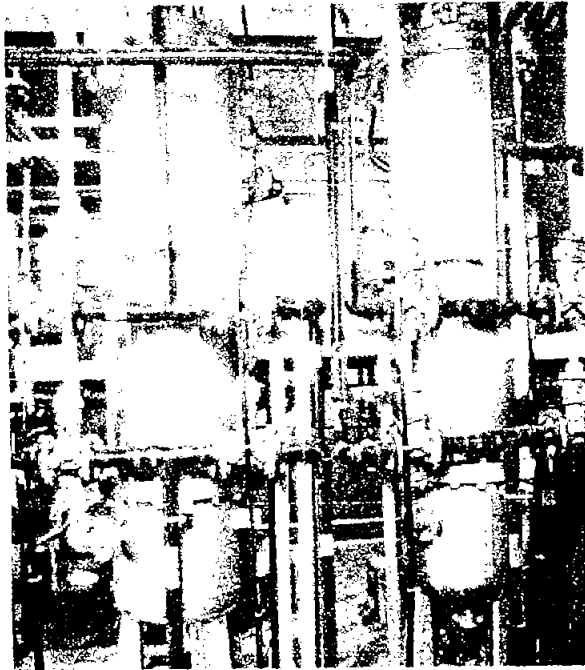


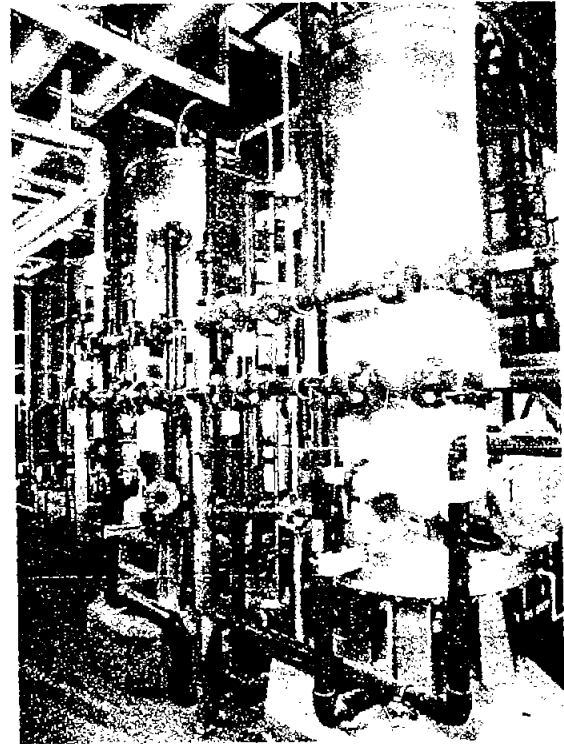
Figura 5-4 Rouen Francia (2001). Capacidad 3x  
14.5 Mg/h.



**Figura 5-5** Vista interior de un pozo.



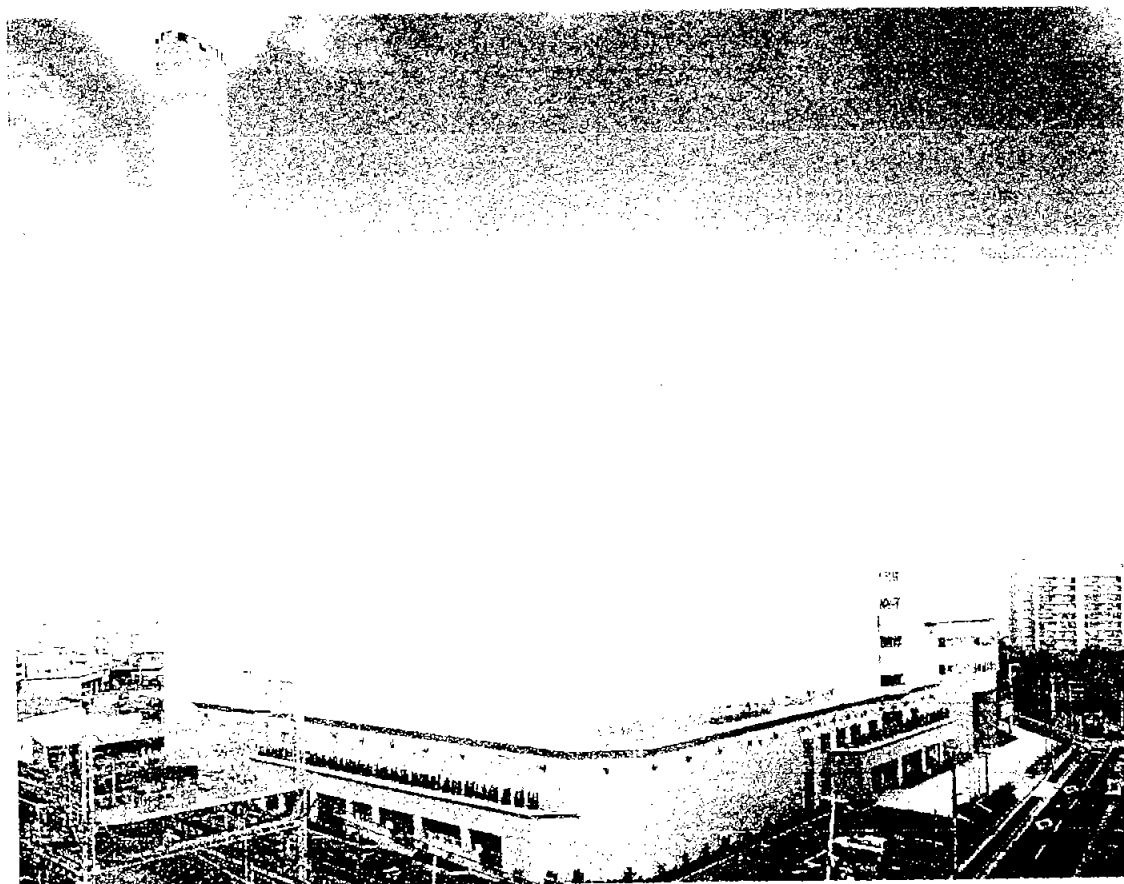
**Figura 5-6** Sistemas de recuperación de energía.



**Figura 5-7** Sistemas de recuperación de energía.



**Figura 5-8** Patio de maniobras para descarga de residuos.



**Figura 5-9** Planta de incineración de residuos (vista exterior).

**Manejo:** Gobierno de Osaka, Japón.  
**Capacidad:** 600ton/24h (2x300 ton/24h)  
**Area:** 8,021 m<sup>2</sup>  
**Area de las instalaciones:** 23,492m<sup>2</sup>  
**Altura de la chimenea:** 120m