



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



20 DEPT 120
K. AZUL CLARO

BIBLIOTECA CONJUNTA DEL INSTITUTO
DE INGENIERIA Y DE LA DIVISION
* ENE. 11 1994 *
DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

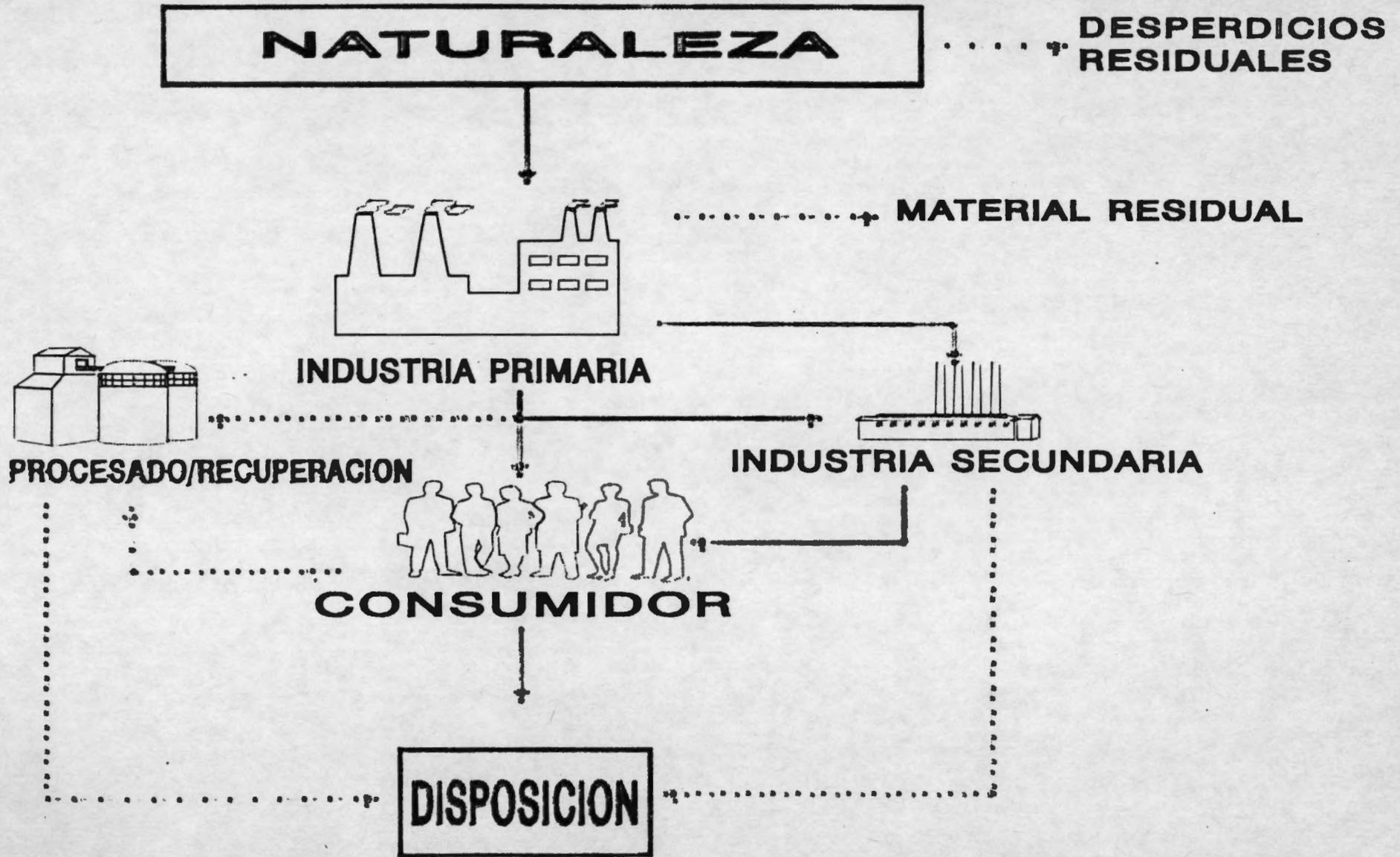
CURSO SOBRE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS ACTUALIZADOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS.

TEMA: DESARROLLO INSTITUCIONAL Y MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

PROFESOR: ING. ALVARO CANTANHEDE
Asesor Residuos Sólidos
CEPIS/OPS

Junio 3, 4 y 5, 1993

COMO Y CUANDO SE GENERAN RESIDUOS SOLIDOS?

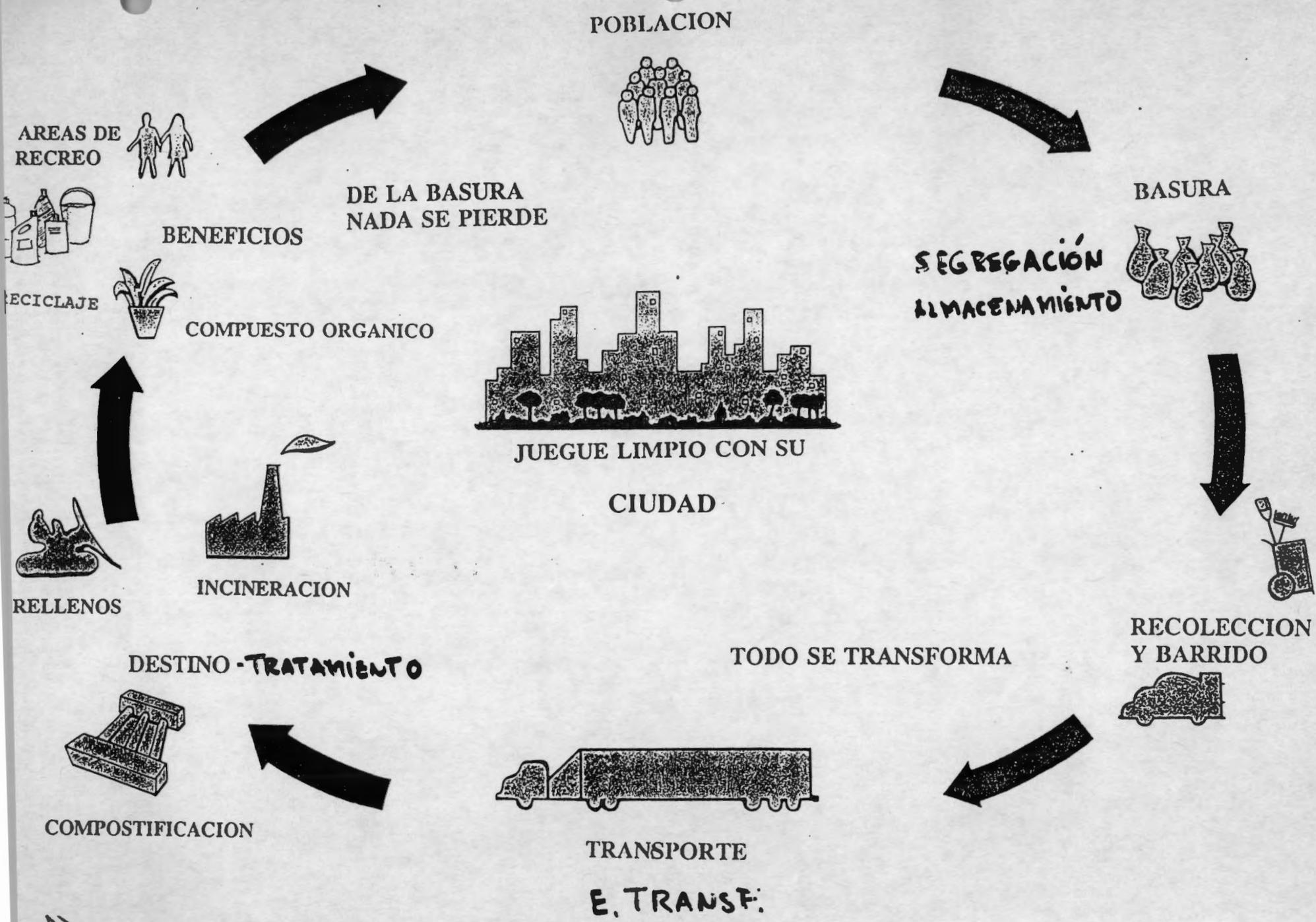


G(2)

15418

MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS Y RECUPERACION DE MATERIALES

MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS



A PROBLEMÁTICA DOS RESIDUOS SÓLIDOS

INTRODUCCION

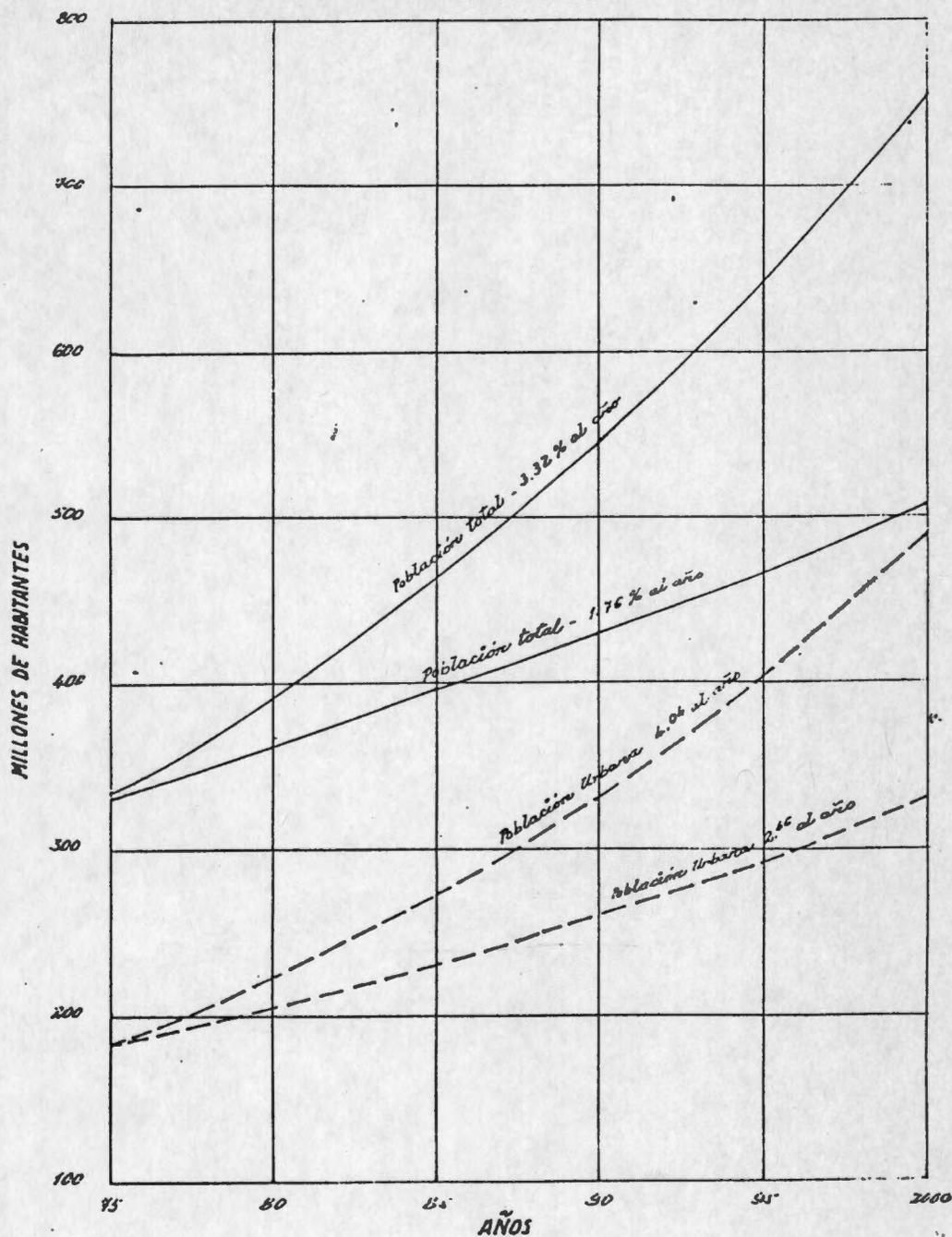
- 6
1. EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS SE VIENE AGRAVANDO EN LAS ULTIMAS DECADAS, EN LA MAYORIA DE LOS PAISES DE LATINO AMERICA Y EL CARIBE, COMO CONSECUENCIA DEL GRAN CRECIMIENTO DEMOGRAFICO DE LOS CENTROS URBANOS, DEL CAMBIO DE HABITOS DE CONSUMO, DESARROLLO INDUSTRIAL Y OTROS FACTORES

2. CRECIMIENTO DE LA POBLACION EN AMERICA LATINA SEGUN LA ONU

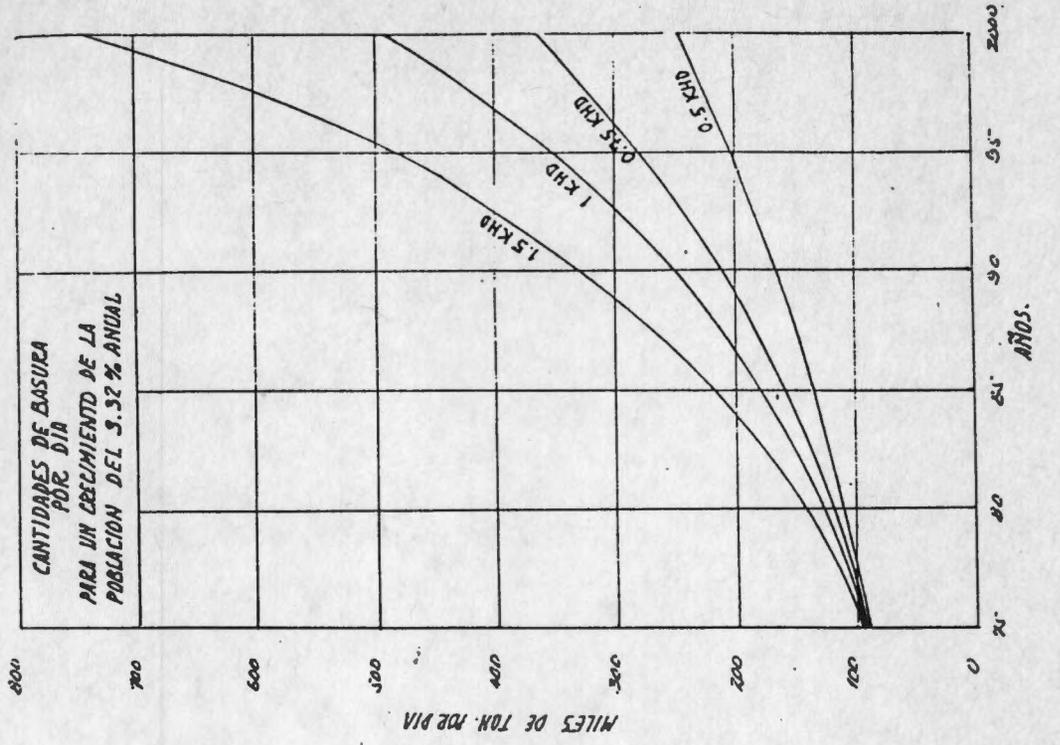
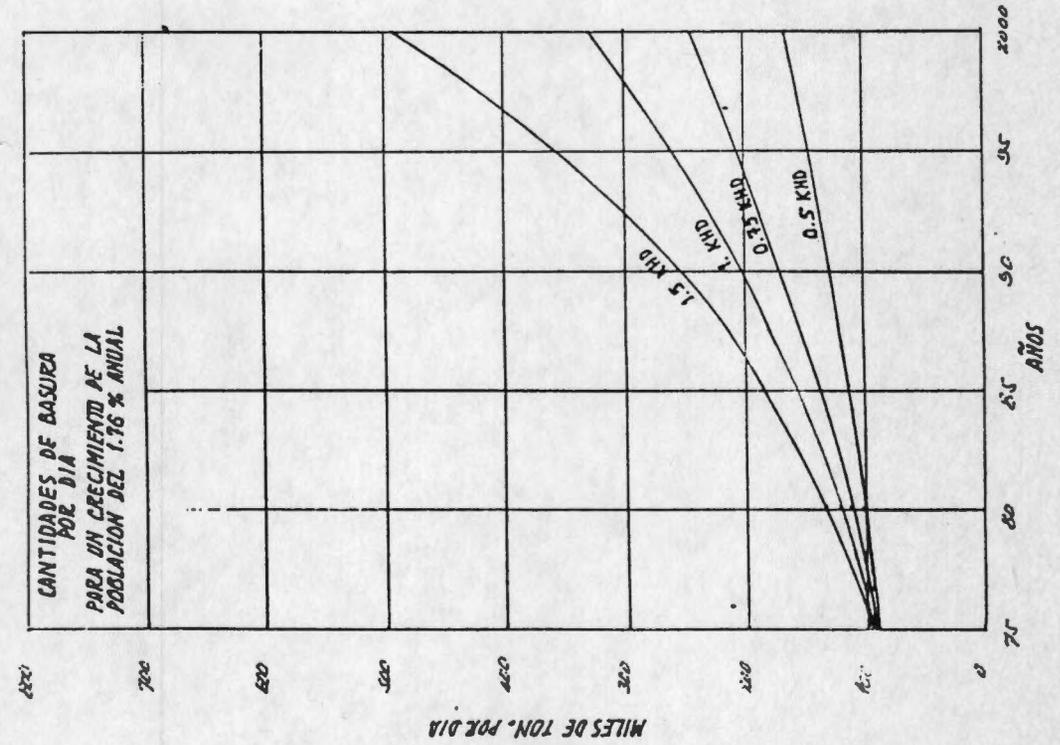
1975	320 MILLONES DE HABITANTES	- 62% URBANA
1990	440 MILLONES DE HABITANTES	- 72% URBANA
2000	540 MILLONES DE HABITANTES	- 78% URBANA

(PROYECCIONES)

TENDENCIAS DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACION DE AMERICA LATINA AL AÑO 2000



Ing. Alberto Flórez Muñoz, Director, CEPIS - OPS/OMS



3. PRODUCCION DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS EN AMERICA LATINA SEGUN LA ONU Y EL BID

- ◆ 1990 250,000 TON/DIA

- ◆ 25,000 CAMIONES RECOLECTORES, 300,000 M³ DE ESPACIO PARA RELLENOS SANITARIOS, 500 A 1,000 BARRENDEROS PARA LIMPIAR LAS CALLES DE CADA UNA DE LAS 40 CIUDADES CON MAS DE UN MILLON DE HABITANTES

- ◆ EN LA MAYORIA DE LAS MUNICIPALIDADES DE LATINO AMERICA LA RECOLECCION Y ELIMINACION DE BASURA ES INADECUADA Y ANTICUADA, LOS EMPLEADOS RECIBEN SALARIOS, ENTRENAMIENTO Y BENEFICIOS MARGINALES, ADEMAS DE TENER QUE TRABAJAR EN CONDICIONES QUE CONLLEVAN UNA ALTA PROPORCION DE ACCIDENTES.

PROBLEMAS COMUNES EN LOS SERVICIOS DE ASEO URBANO EN LA REGION

- ◆ **CARENCIA DE PLANES Y PROGRAMAS**
- ◆ **RECURSOS HUMANOS INSUFICIENTES O MAL
CAPACITADOS**
- ◆ **LEGISLACIONES INCOMPLETAS U OBSOLETAS**
- ◆ **ESTRUCTURAS E INSTITUCIONES DEBILES**
- ◆ **LIMITADA AUTOSUFICIENCIA FINANCIERA**
- ◆ **APLICACION DE TECNOLOGIAS INAPROPIADAS**
- ◆ **POCA IMPORTANCIA DADA POR PARTE DE
AUTORIDADES**

- ◆ FALTA DE COORDINACION INTERSECTORIAL E INTERMUNICIPAL
- ◆ EXPANSION ACELERADA DE ZONAS MARGINALES
- ◆ AMPLIA EXISTENCIA DE SEGREGADORES DE BASURAS
- ◆ FALTA DE DECISION POLITICA PARA ABORDAR EL PROBLEMA
- ◆ POCA INVESTIGACION SOBRE TECNOLOGIAS APROPIADAS
- ◆ POCO ACCESO PARA LA OBTENCION DE CREDITOS Y FINANCIAMIENTOS

ASPECTOS PARA LA SOLUCION DEL PROBLEMA DEL ASEO URBANO

1. TECNICO-OPERACIONALES
2. GERENCIAL-ADMINISTRATIVOS
3. ECONOMICO-FINANCIEROS
4. AMBIENTALES
5. LEGALES
6. USO DEL SUELO
7. RECURSOS HUMANOS
8. SOCIALES
9. SANITARIOS
10. COMUNICACION SOCIAL

"UNA CIUDAD ES TAN LIMPIA COMO LO SON O QUIERAN SER SUS HABITANTES"

"LA MATERIA PRIMA ES LA BASURA, PERO EL PRODUCTO FINAL ES LA LIMPIEZA"

LA IMPORTANCIA DE LA SOLUCION AL PROBLEMA DEL ASEO URBANO

- SANITARIA** --> **CONTROL DE ENFERMEDADES**
- AMBIENTAL** --> **CONTROL DE LA CONTAMINACION**
- SOCIOECONOMICA** --> **APROVECHAMIENTO ECONOMICO "SEGREGADORES"**
- BIENESTAR** --> **BENEFICIO DE LA POBLACION**

**LA SOLUCION DE LA PROBLEMÁTICA DEL ASEO URBANO CONSTITUYE UNA DE LAS
ACTIVIDADES BÁSICAS DEL SANEAMIENTO AMBIENTAL.**

**LA LIMPIEZA PÚBLICA O URBANA COMPRENDE EL CONJUNTO DE ACTIVIDADES QUE
PERMITEN EL ADECUADO ESTADO DE LIMPIEZA DE UNA CIUDAD, SIN PERJUICIO DE LA
CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE.**

ELEMENTOS FUNCIONALES DE UN SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS

ALMACENAMIENTO



BARRIDO Y LIMPIEZA



RECOLECCION/TRANSPORTE

TRANSFERENCIA



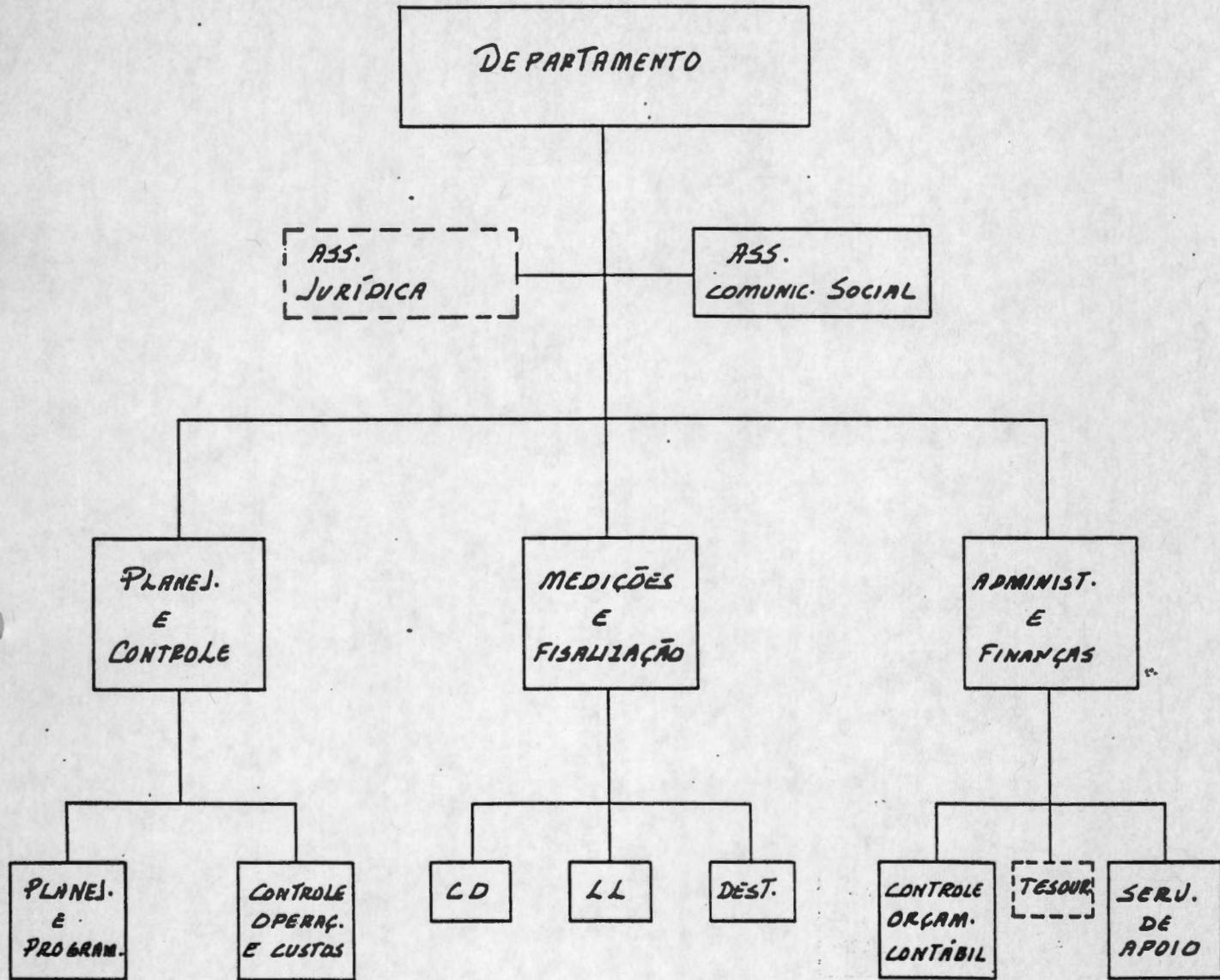
TRATAMIENTO



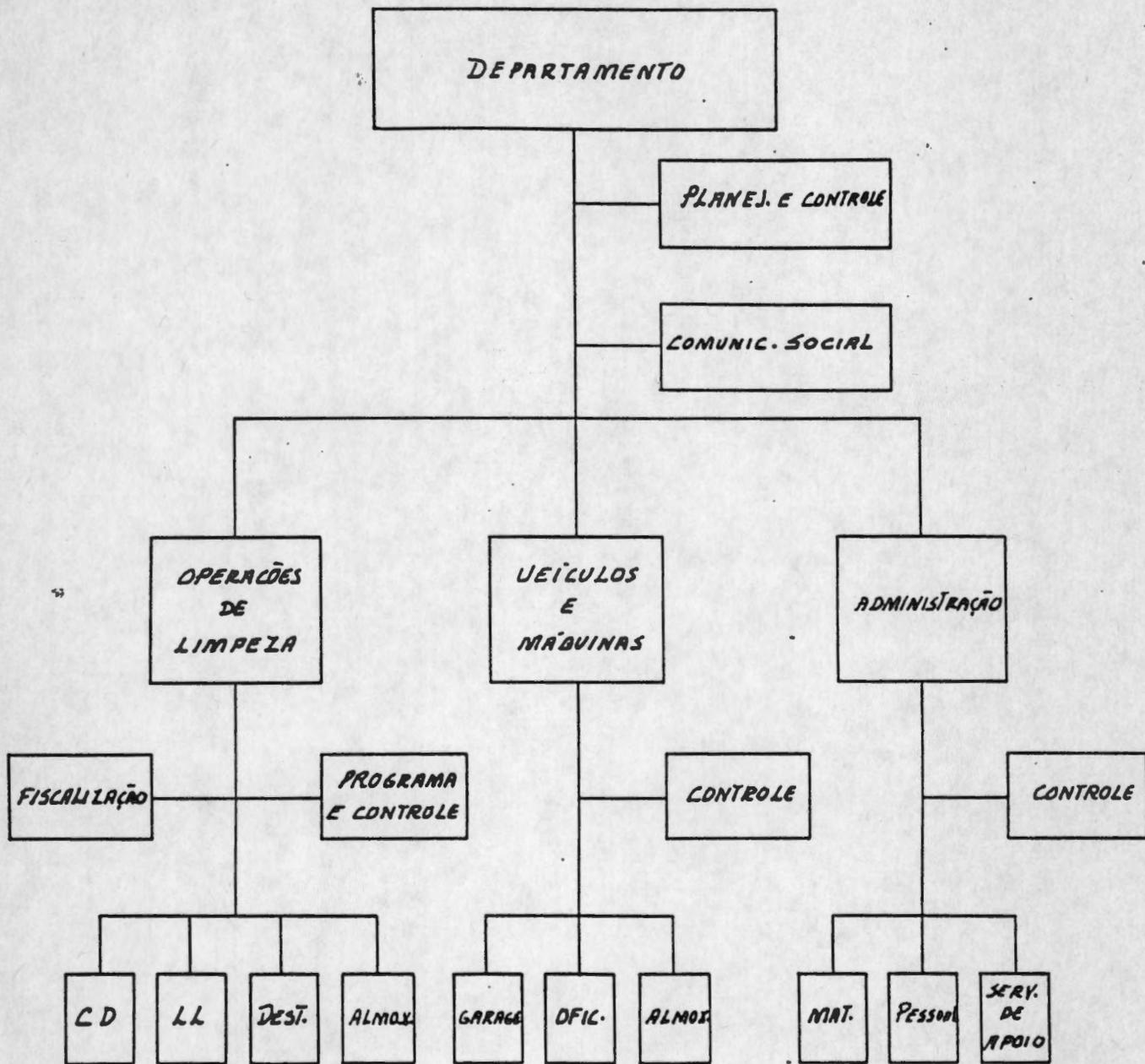
DISPOSICION FINAL



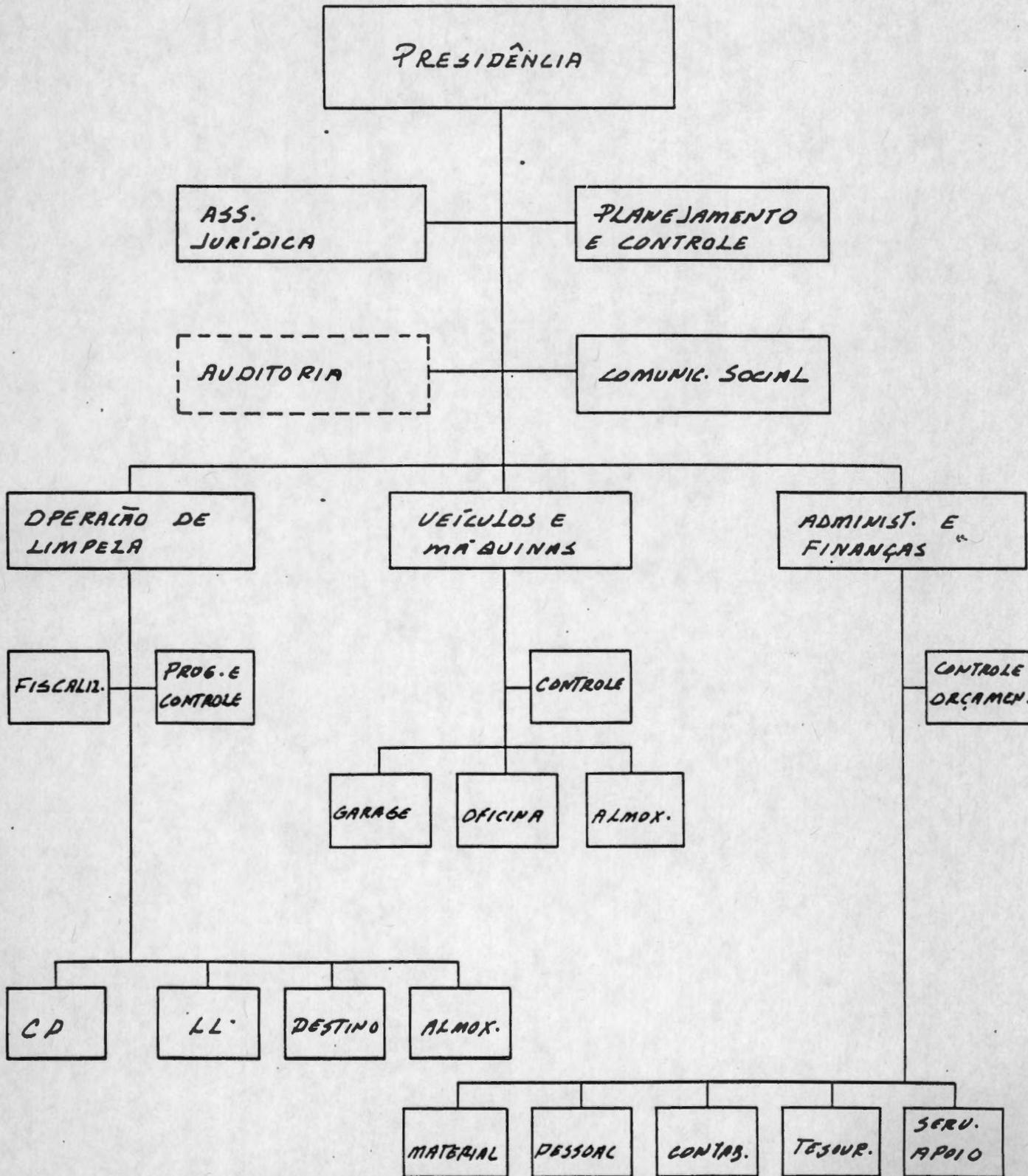
ADMINISTRAÇÃO COM OPERAÇÕES
CONTR.

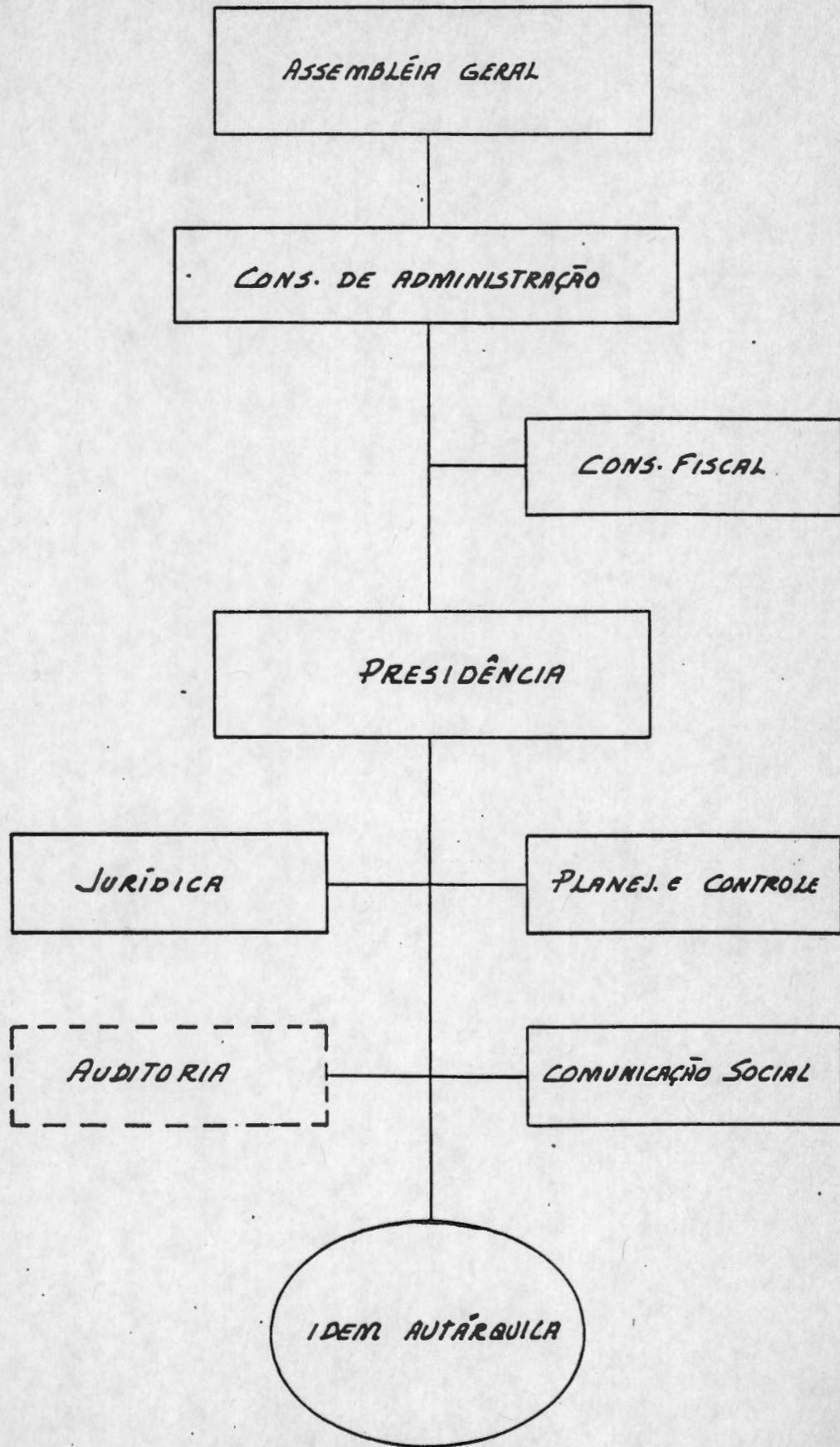


ADMINISTRAÇÃO DIRETA



ADMINISTRAÇÃO AUTÁRQUICA





ASPECTOS INSTITUCIONALES

1. ORGANIZACION

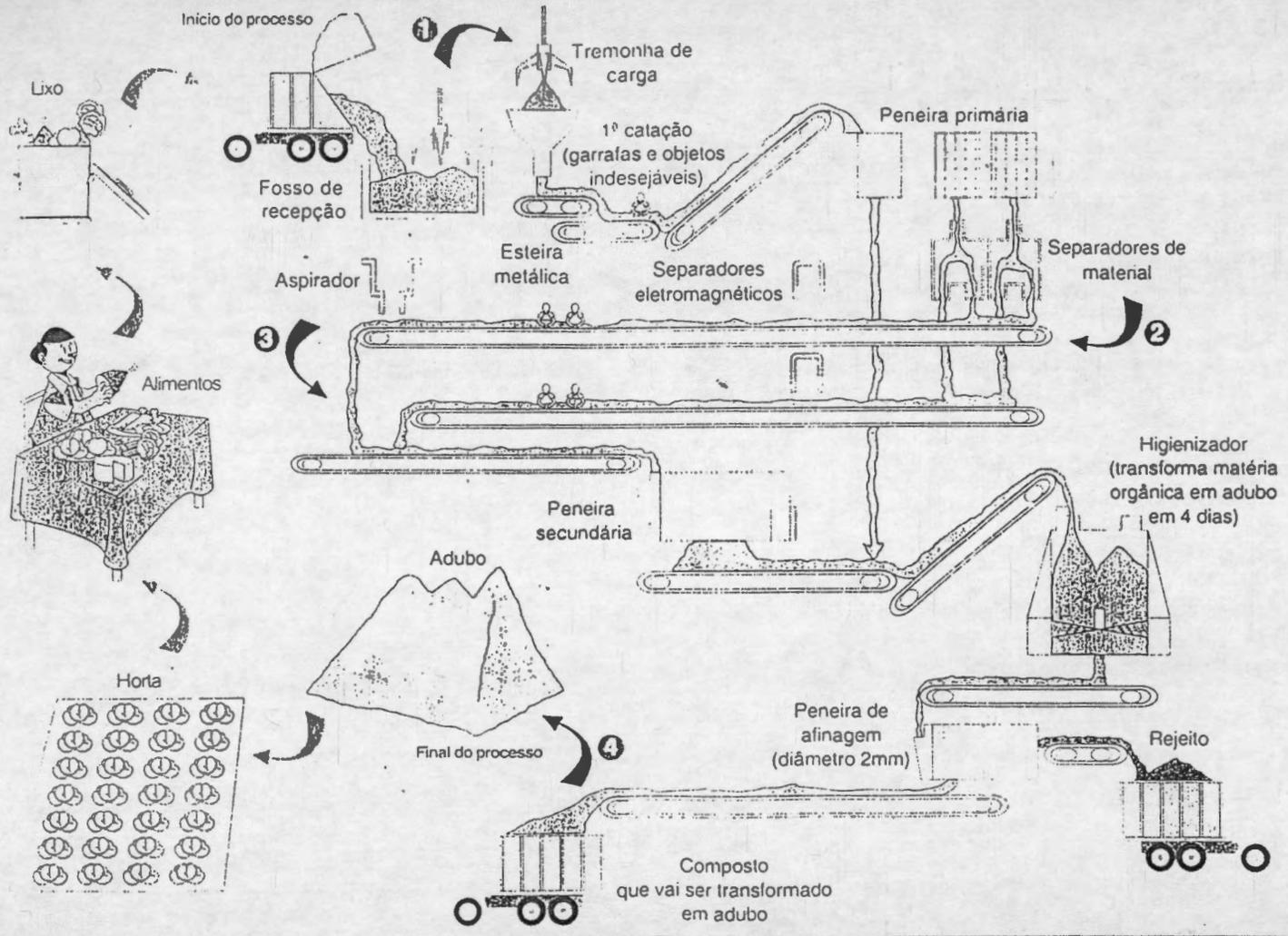
- . ADMINISTRACIÓN CENTRALIZADA
- . EMPRESAS MUNICIPALES AUTÓNOMAS (40% DE LAS CIUDADES ESTUDIADAS)
- . CONCESIONES A EMPRESAS PRIVADAS (30% DE LAS CIUDADES ESTUDIADAS).
- . EMPRESAS METROPOLITANAS
- . ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL DIRECTA
- . EMPRESAS PRIVADAS

2. ADMINISTRACION

- . NO HAY VALORIZACIÓN DE LABOR
- . PERSONAL GENERALMENTE PERTENECE A LA MUNICIPALIDAD
- . MISMO CUANDO EMPRESA AUTÓNOMA, NO ESTÁN CLAROS LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES, EN LA NUEVA EMPRESA (PENSIONES ANTIGUEDAD, ETC.)
- . ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS MATERIALES MUEBLES E INMUEBLES ESTÁ CON LA ADMINISTRACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO
- . FALTA DE CONTROL DE LA ADMINISTRACIÓN DEL PATRIMONIO, SERVICIOS JURÍDICOS Y ARCHIVO CENTRAL (CON EL MUNICIPIO)

21

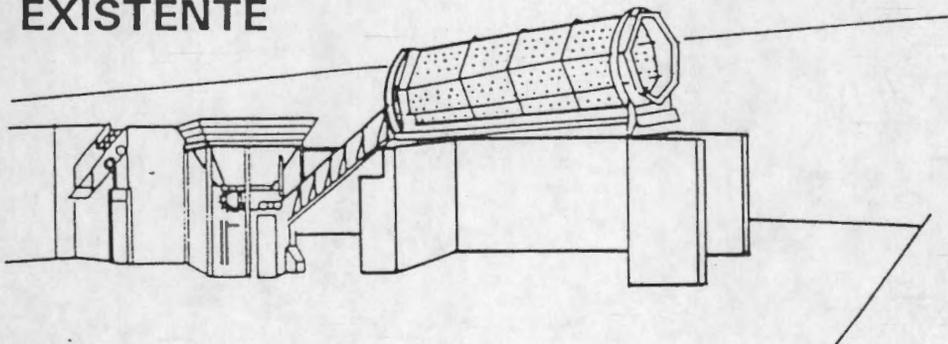
Usina do Caju: 1.120 toneladas de detritos reciclados ou transformados em adubo



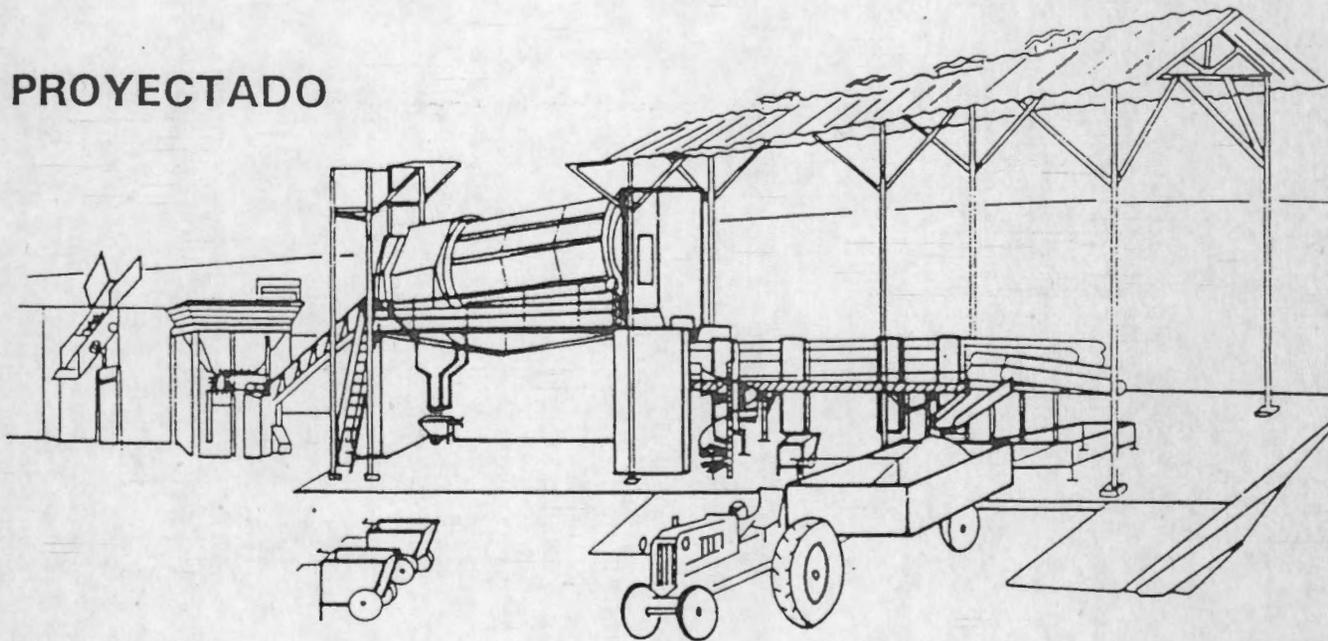
INICIO DE FUNCIONAMENTO: MAIO 92

FABRICA DE COMPOSTAJE DE NOVO HORIZONTE

EXISTENTE

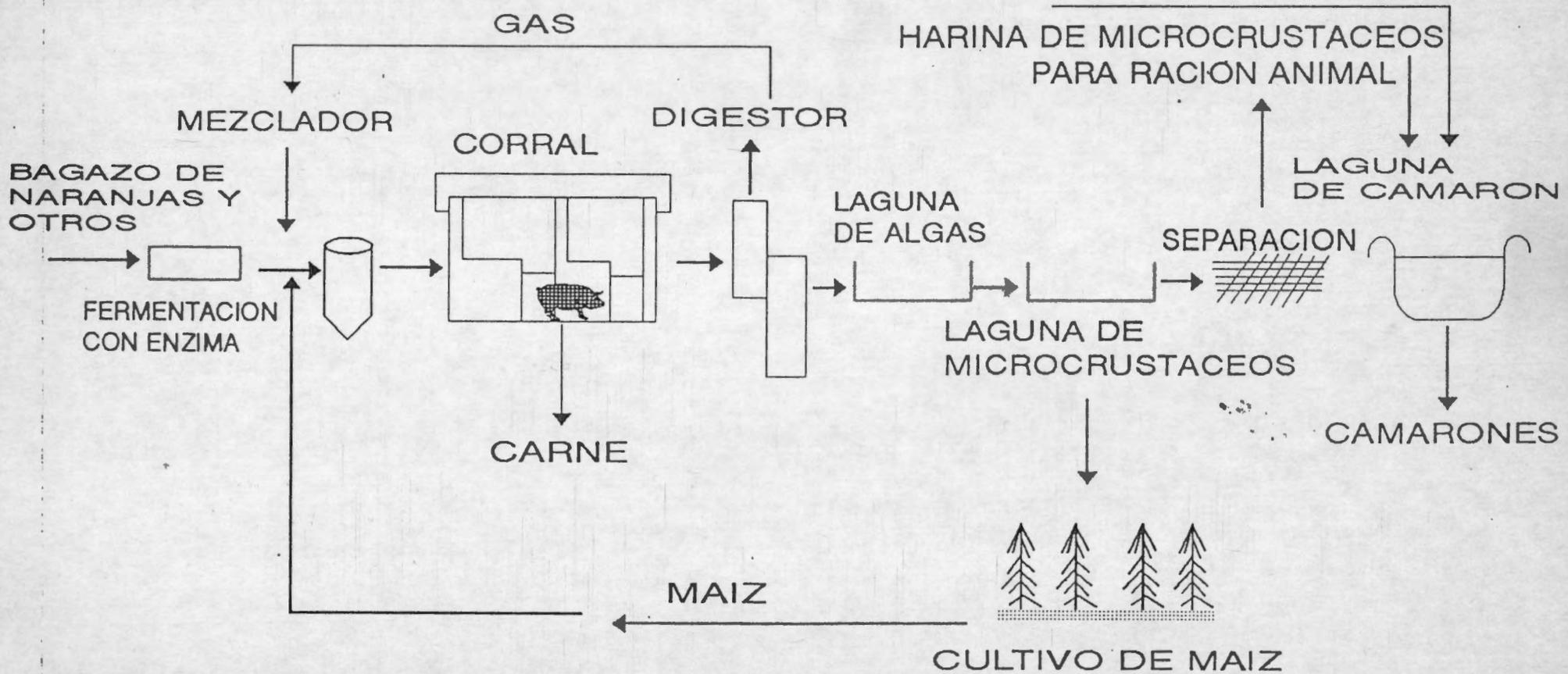


PROYECTADO



RECICLAJE DE RESIDUOS SANITARIOS Y AGROINDUSTRIALES

VERNICOMPOSTAJE
(Eisaenia Foetida)



OPCIONES PARA LA VIABILIZACION DEL RECICLAJE DE LA BASURA URBANA

CAMION DE RECOLECCION MUNICIPAL DE BASURA

FAJAS DONDE ES EFECTUADA LA RECUPERACION DE VIDRIOS, LATAS, PLASTICO, ETC.

TAMBOR DE PREPARACION Y TAMIZADO

SEGREGACION

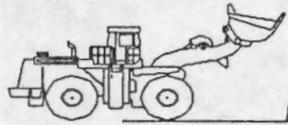
PATIO DE RECEPCION

RESIDUOS

SISTEMA DE ADMISION DE LA BASURA

PARTE ORGANICA

TAMIZ



PILAS DE COMPOST

COMPUESTO CURADO

VERMICOMPOSTAJE

COMPUESTO PARA USO AGRICOLA

PREPARACION DE RACION PARA PECES, AVES ←

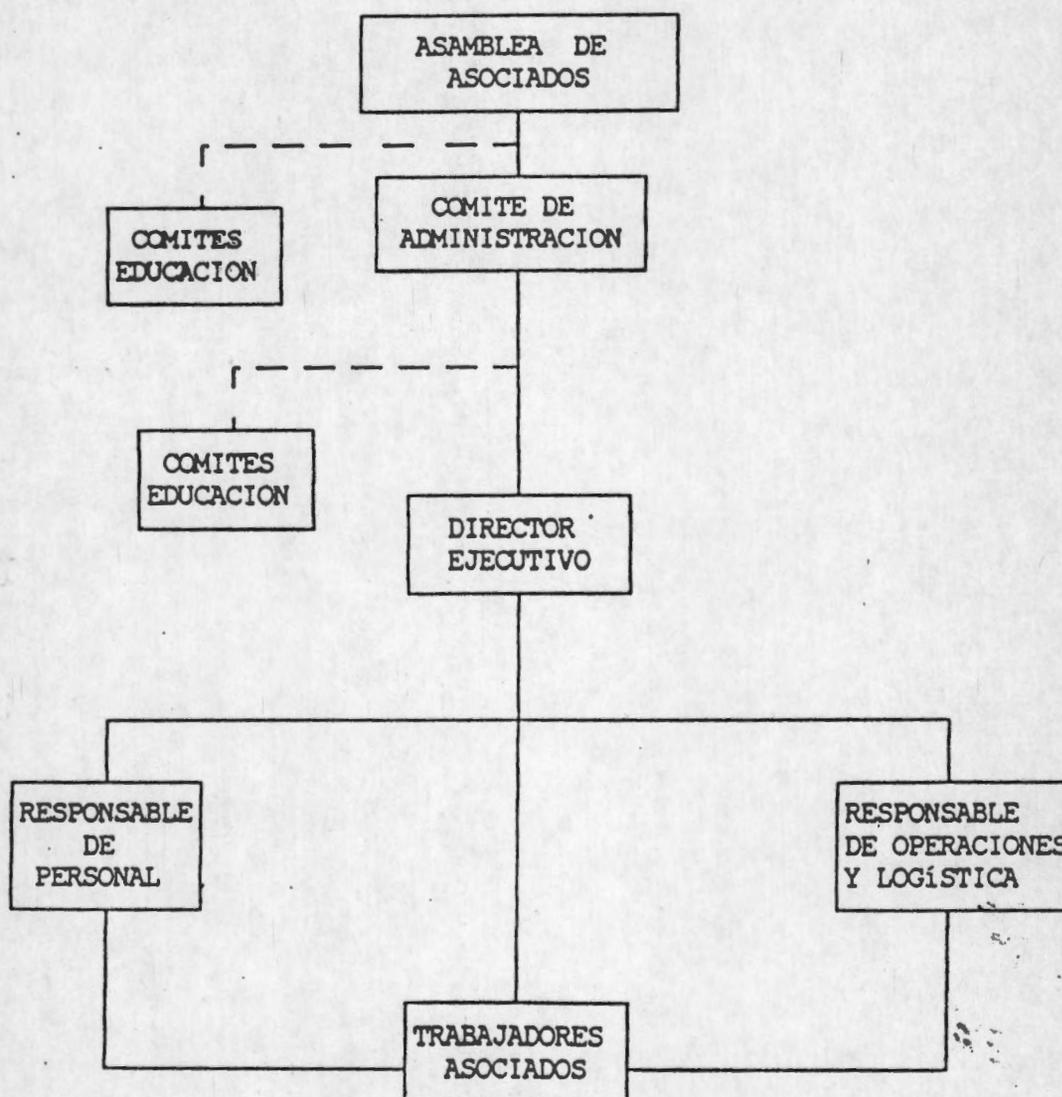
EMPLEO COMO ACONDICIONADOR DE SUELO EN AGRICULTURA ←

PRODUCCION DE MUDAS DE PLANTAS ORNAMENTALES Y ARBOLES NATIVOS. ←

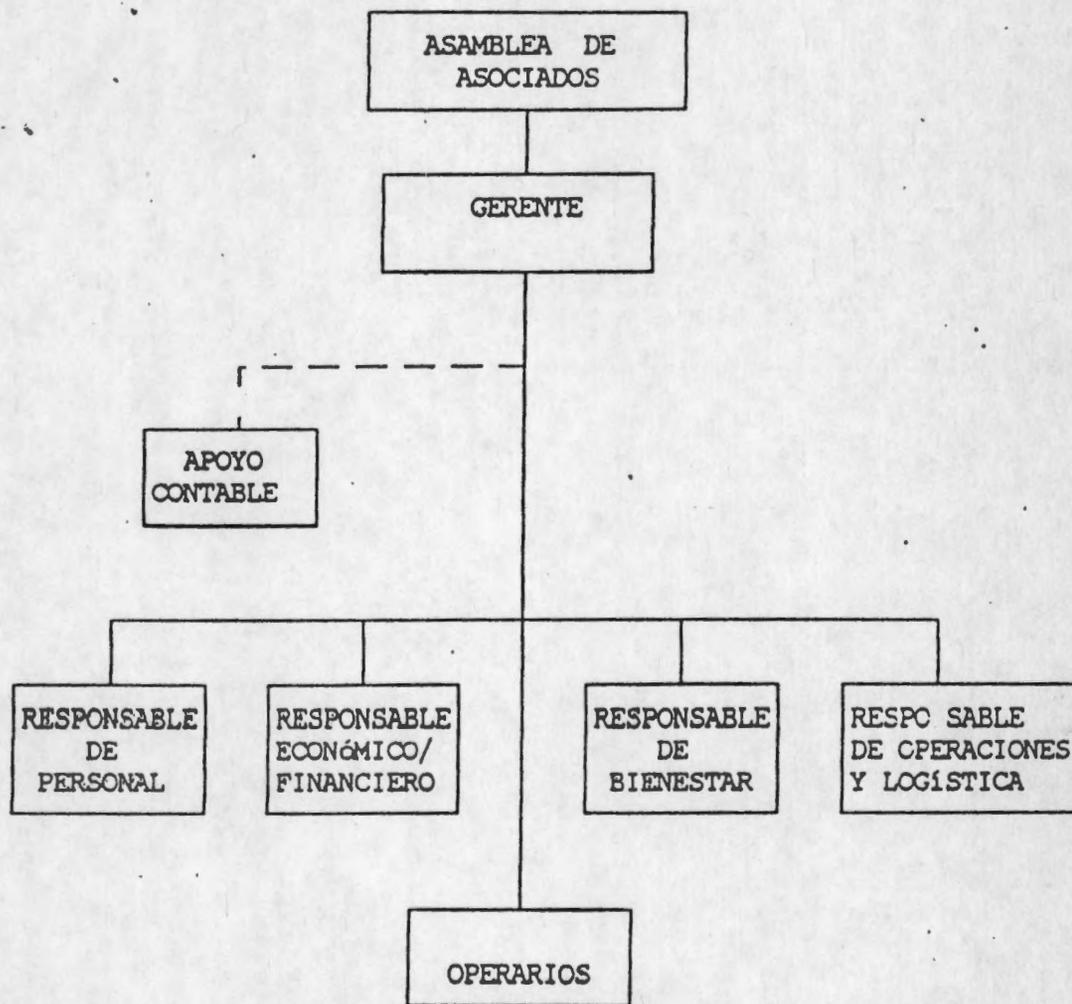
VENTA DE MATRICES (Eisenia Foetida) ←

ALIMENTO PARA CAMARON GIGANTE DE MALASIA ←

ALIMENTO PARA RANA GIGANTE ←

DISEÑO ORGANIZACIONAL PARA LAS PRECOOPERATIVAS DE ASEO¹

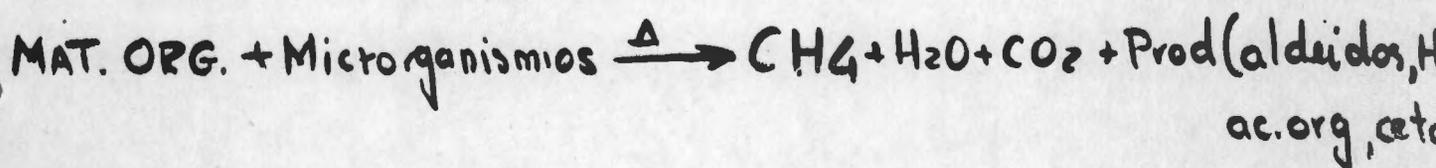
1. Caso de PRECOOPAS y PRECOOSAC de Los Patios y Cúcuta, Colombia.



1. Caso de Perú y Bolivia

APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EM ATERROS SANITARIOS

O BIOGÁS produzido da decomposição anaeróbica da matéria orgânica dos resíduos sólidos, pode ser captada, transportada e utilizada para fins residenciais ou industriais, por meio de sistemas simples e de baixo custo



ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DO BIOGÁS EM ATERROS

- 1- Distribuição do gás "impuro" às residências vizinhas
- 2- Distribuição às indústrias próximas ao aterro

- 3- Injeção na rede de gás canalizado (se houver)
- 4- Tratamento do gás no local e sua utilização em VEÍCULOS, indústrias, etc;
- 5- Geração de energia elétrica no local
 - turbinas a gás
 - combustível p/ geradores e motores estacionários
- 6- Conversão no local, do metano em metanol
- 7- Conversão do metano em gás "natural" liquefeito (Criogenia)

PROJETO COMLURB PARA USO DO BIOGÁS EM VEÍCULOS - RIO DE JANEIRO

- Início - 1986

- Custo - US\$ 350,000 (Equipamentos e Inst. Civil)

- Produção - 4,000 m³/dia biogás tratado

- Veículos convertidos (dual system)

- 120 veículos leves (carros, pick-ups, kombis, etc)

- 8 veículos pesados (caminhões de coleta)

- 200 taxis (cooperativas autônomas)

- Custo do "kit" de conversão motores: US\$ 1,000

- Equivalências

- Motores ciclo OTTO (gasolina / álcool - sub. total)

1 Nm³ biogás purificado → 1,1 litros gas/álcool

- Motores ciclo DIESEL (sub. parcial)

1 Nm³ biogás purificado → 1,2 litros diesel

CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS (COMLURB)

- Composição Média do BIOGÁS BRUTO (Volume)

- CH₄ — 68,0%
- CO₂ — 25,5%
- N₂ — 6,0%
- O₂ — Traços
- H₂S — Traços

- Composição Média do BIOGÁS TRATADO

- CH₄ — 85,0%
- CO₂ — 4,0%
- N₂ — 10,8%
- O₂ — 0,2%

- PRODUÇÃO DE BIOGÁS

- 180 a 150 m³ de BIOGÁS BRUTO POR TON DE LIXO / 20 ANOS

Admitindo-se como recuperável 50% do setorial com uma eficiência de 8.

- 3,8 a 3,2 m³ de BIOGÁS BRUTO POR TON DE LIXO / ANO

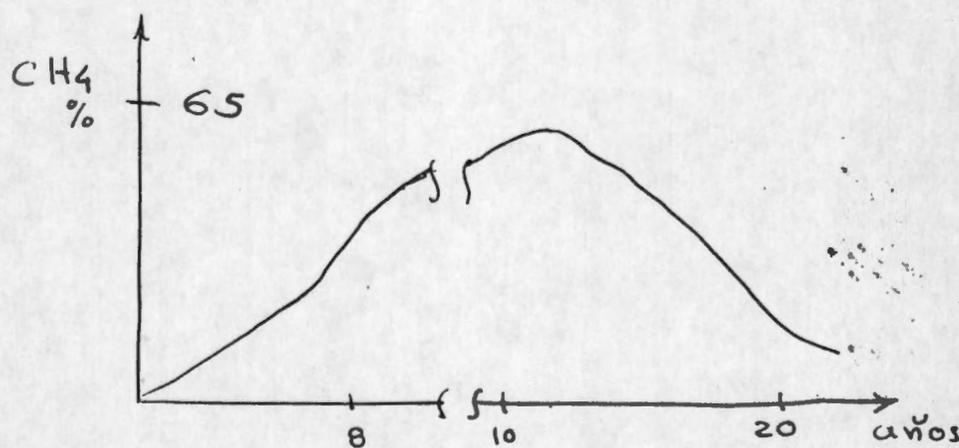
- PODER CALORÍFICO DO BIOGÁS TRATADO

- $\cong 8500 \text{ kcal/m}^3$

PRODUCCION DE BIOGÁS EM RELLENOS

Indices de producción

- Ieda Gomes - S. Paulo — $240 \text{ Nm}^3/\text{ton. res.}$ — 20 años
- W. Zulauf - S. Paulo — $370 \text{ Nm}^3/\text{ton. res.}$ — 20 años
- COMLURB - Rio de Janeiro — $180 \text{ Nm}^3/\text{ton. res.}$ — 20 años
(capacidad de captación: 50% gas producido - eficiencia de captación: 85%)
- Francisco Galvé - Chile — $102 \text{ Nm}^3/\text{ton. res.}$ — 10 años
- Julio Monreal - Chile — $80 \text{ Nm}^3/\text{ton. res.}$ — 10 años
- INTEC - Chile — $30 \text{ Nm}^3/\text{ton. res.}$ — 1 año



Producción de CH₄ (metano)

BIOGÁS

PRODUTO DA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DO LIXO ORGÂNICO

A partir do aproveitamento da parte orgânica do lixo domiciliar urbano é que se produz o Biogás. Este gás, após captação e beneficiamento, é empregado em veículos como combustível.

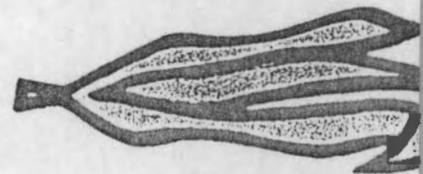
Também pode substituir o acetileno no corte de chapas metálicas. Atualmente o Biogás utilizado na frota da COMLURB é proveniente do Aterro do Caju.



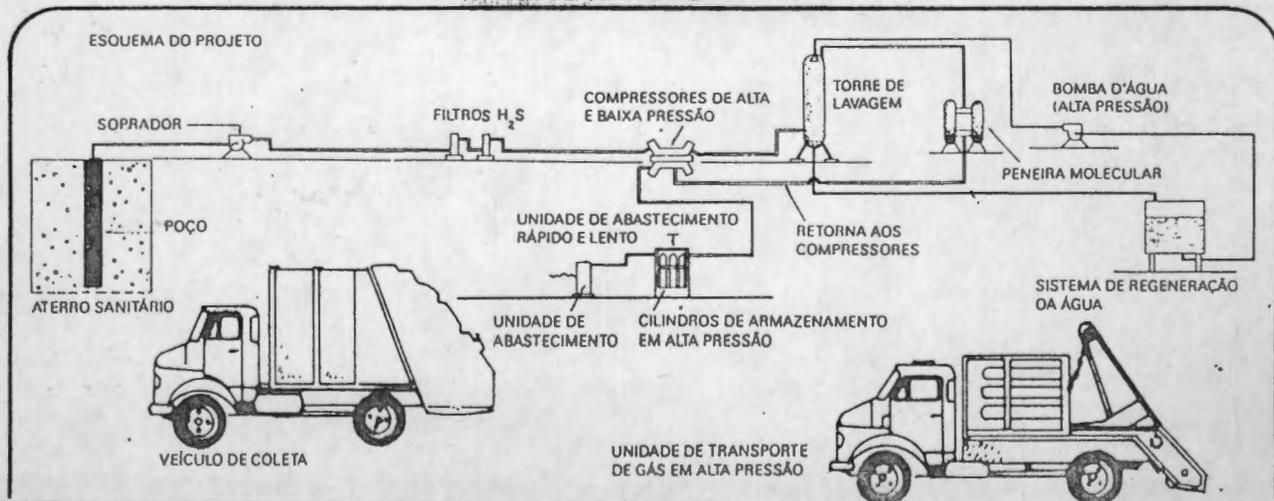
TRANSFORMAÇÃO DO LIXO EM COMBUSTÍVEL

Depois de duas crises do petróleo, o mundo acordou para a necessidade de encontrar com urgência fontes energéticas alternativas, economicamente viáveis. A utilização do gás metano (CH_4), resultante da decomposição da biomassa, foi um desses caminhos. Sua queima, com alta capacidade de liberação de energia, tem a vantagem adicional de não ser poluente.

A COMLURB opera uma média diária de 6.000 toneladas de resíduos sólidos, cuja potencialidade em produção de gás é de $150Nm^3$ / tonelada em um período de 10 anos. O desenvolvimento desse projeto foi feito exclusivamente por técnicos da COMLURB e possibilita, somente com a usina atual, uma economia mensal equivalente a 150.000 litros de derivados de petróleo.



PROJETO



COMO FUNCIONA O PROJETO:

FASE I - CAPTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

A captação é feita por 15 poços com profundidade média de 15 metros e a distribuição, através de dutos de polietileno de alta densidade.

FASE II - BENEFICIAMENTO E PURIFICAÇÃO

Após o bombeamento pelos sopradores-exaustores, o BIOGÁS BRUTO passa por filtros para remoção do H_2S , sendo conhecida sua vazão através de um medidor instalado.

Em seguida, a passagem pelos compressores (1º e 2º estágios) garante uma pressão da ordem de 14 kgf/cm² necessária à retirada de grande parte de CO_2 na torre de lavagem a contra fluxo de água.

Com a retirada de 85% do CO_2 , o BIOGÁS é dirigido a uma peneira molecular para retirada da umidade existente e redução da parcela de CO_2 ainda contida na mistura. Em seguida, retorna aos compressores para a fase seguinte.

FASE III - COMPRESSÃO DE ALTA PRESSÃO

O BIOGÁS, obtido através da purificação na fase anterior, volta aos compressores (3º, 4º e 5º estágios), que elevam a pressão do gás para 220 kgf/cm².

FASE IV - ARMAZENAMENTO

O BIOGÁS PURIFICADO é armazenado em uma cesta com cilindros de alta pressão, permitindo o abastecimento rápido das viaturas.

FASE V - UNIDADES DE ABASTECIMENTO DE VEÍCULOS

A) CENTRALIZADO - composto de 20 baias, sendo uma para abastecimento rápido, direto da cesta de armazenamento, e 19 para abastecimento direto dos compressores.

B) DESCENTRALIZADO - é executado direto das cestas de abastecimento por diferença de pressão, que são transportadas por caminhões e posicionadas em locais estratégicos, permitindo o abastecimento em pontos distantes da unidade central.

As dimensões das cestas são semelhantes às da caixa tipo Dempster, o que permite seu deslocamento através dos poliguindastes da frota da COMLURB.

FASE VI - UNIDADE DE ABASTECIMENTO PARA SUBSTITUIÇÃO DE ACETILENO

Na unidade central do Caju, foi instalada uma linha independente para enchimento de cilindros, que acoplada a um sistema de tubos flexíveis e válvulas de abastecimento, permite o enchimento simultâneo de 28 cilindros acondicionados em pallets e transportados em caminhões convencionais para distribuição nos pontos de utilização.

INSTALAÇÃO E RECURSOS FINANCEIROS:

- Projeto inteiramente desenvolvido pelos técnicos da COMLURB.
- Equipamentos instalados de fabricação nacional.
- Recursos financeiros da COMLURB, com colaboração da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP.

CAPACIDADE:

- Captação e purificação, 450 Nm³ / hora de BIOGÁS BRUTO
- Produção de 5840 Nm³ / dia de BIOGÁS PURIFICADO
- Abastecimento - 200 veículos

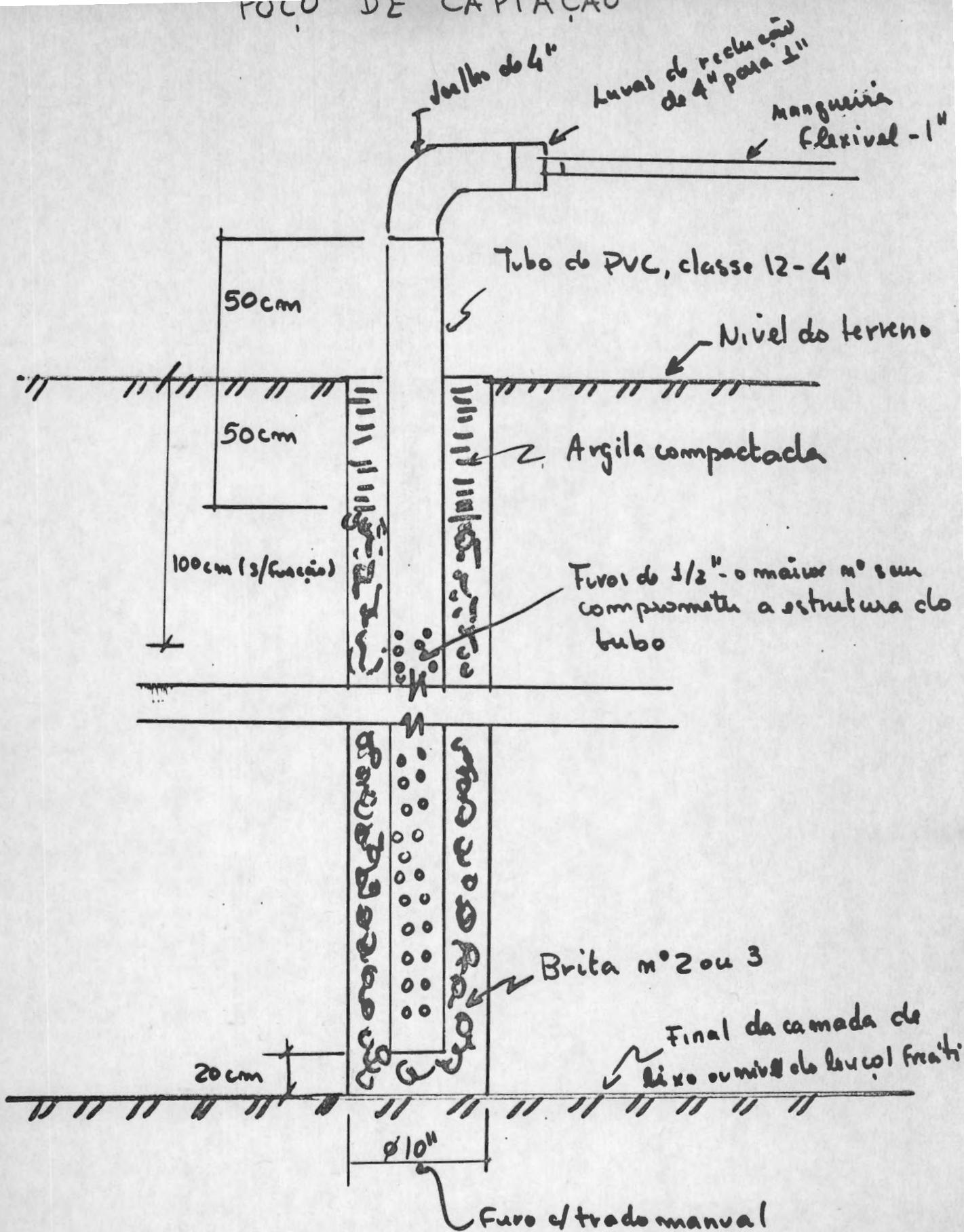
LOCALIZAÇÃO

Poços de captação e unidade de beneficiamento central
R. Carlos Seidl, 1388 - Caju - Telefone: (021) 580-4879 Telex: (21) 38 004 COMLURB - CEP 20931 - Rio de Janeiro

Exploração do Aterro - Procedimentos Básicos

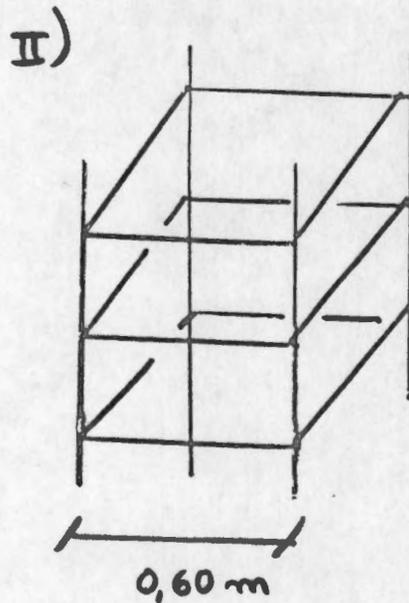
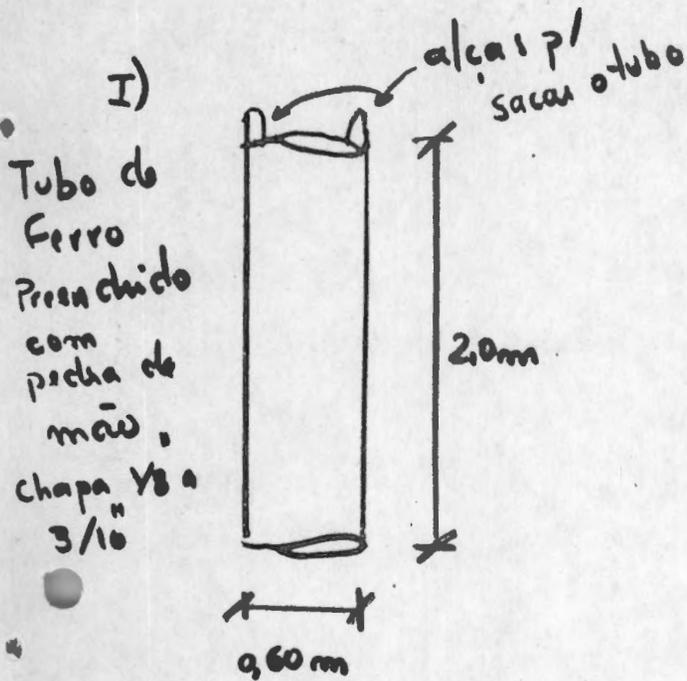
- a) regularização da superfície do aterro - aplicação de camada de argila;
- b) perfuração com trado manual de 8" ou 10" ;
- e) preencher a base do poço até uma altura de 20cm com brita nº 2 e 3;
- d) instalação do tubo de captação, em PVC de 4", classe 12, perfurado em toda a sua extensão até 1m da superfície do terreno com furos de 1/2";
- e) aplicar pedra britada entre o tubo e o furo feito pelo trado, até uma distância de 50 cm do solo; completar com argila, para evitar entrada de ar pela superfície do solo (quando houver sucção);
- f) poderá ser acoplado ao poço um soprador ou compressor, dependendo do uso do gás;
- g) distância entre os poços: 15 a 20 metros para depressões até 20 mm de c. a.; 90 a 100 metros para depressões > 200 mm de c. a.;
- f) produção: 20 a 30 N m³ / hora;
- g) Motores de explosão a biogás podem ser adaptados a estes tocos, usando-se mangueiras flexíveis de PVC de 1" a 3/4", em distâncias de até 50 m ou mais, dependendo da pressão positiva natural do gás no aterro. A estes motores podem ser acoplados geradores de energia, bomba d'água, etc.

POÇO DE CAPTAÇÃO

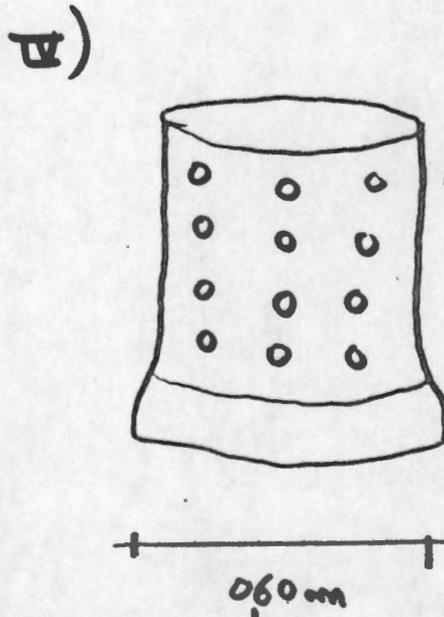
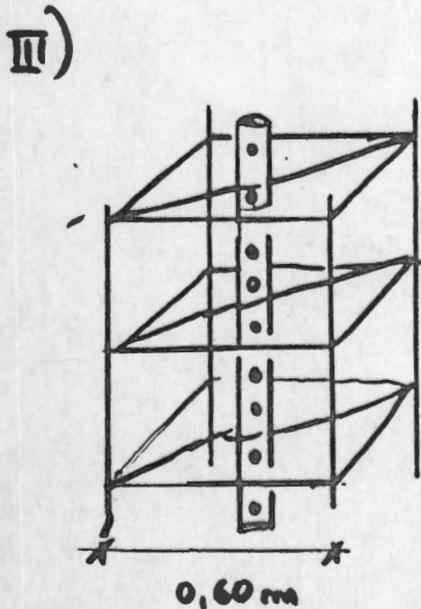


DRENAGEM DE GASES

Tipos de drenos



gaiola de vergal
preenchida com
pedra de mão



gaiola de vergalhão ou tela, com
tubo de PVC perfurado para aproveitamento
do biogás. Preenchida com pedra de mão.

ESTIMATIVA DE LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS USANDO EL METODO EMPÍRICO DE NOCCA et AL (1981) - METODO SUÍZO

$$Q = \frac{1}{\epsilon} P \cdot A \cdot K \text{ (l/s)} - \text{caudal medio anual}$$

Q = caudal medio de los líquidos percolados (l/s)

ϵ = tiempo (s) (equivalente a 1 año = 31 536 000 s)

P = precipitación anual media (mm/año)

A = área superficial del relleno (m^2)

K = coeficiente de infiltración que depende del grado de compactación de la basura rellena

Valores de K

Tipo de suelo	Peso / Volumen	K
Rellenos ligeramente compactados	0.40 - 0.70 t/m ³	0.25 a 0.50
" " fuertemente " "	0.70 - 0.90 t/m ³	0.15 a 0.25

Valores adoptados por la FEEMA para el Relleno Metropolitano en la ciudad de Rio de Janeiro:

$$P = 1.300 \text{ mm/año}$$

$$A = 112 \text{ ha} = 1.120.000 \text{ m}^2$$

$$K = 0,20$$

$$Q = \frac{1.300 \times 1.120.000 \times 0,20}{31.536.000} \text{ (l/s)} = 9,23 \text{ l/s} \approx \underline{\underline{800 \text{ m}^3/\text{día}}}$$

Tabela 2 - Composição do Chorume^(7,10,18)

PARAMETRO	FAIXA DE VARIAÇÃO REGISTRADA NA LITERATURA, VALORES EM ppm
DBO ₅	9 - 54.610
DQO	0 - 89.520
SST	6 - 3.670
nitrogênio Kjeldahl total	0 - 1.416
nitrogênio amoniacal	0 - 1.250
Nitrito + Nitrato	0 - 10,29
pH ^(*)	1,5 - 9,5
condutividade elétrica ^(**)	2.810 - 16.800
alcalinidade total, como CaCO ₃	0 - 20.850
Dureza total, como CaCO ₃	0 - 22.800
arsênico	ND - 40
boro	0,42 - 70
cádmio	ND - 1,16
cálcio	5 - 7.200
chumbo	ND - 6,6
cloretos	5 - 4.350
cromo total	ND - 22,5
cromo hexavalente	ND - 0,06
cobre	ND - 9,9
cianetos	ND - 0,08

Continuação da Tabela 2

PARAMETRO	FAIXA DE VARIAÇÃO REGISTRADA NA LITERA - TURA, VALORES EM ppm
fenol	0,17 - 6,6
ferro	0,2 - 42.000
fluoretos	0,1 - 1,5
fósforo total	0 - 130
magnésio	12 - 15.600
manganês	0,06 - 678
mercúrio	ND - 0,16
níquel	ND - 1,7
sódio	100 - 3.800
sulfatos	25 - 500
zinco	0 - 1.000

[*] - unidade padrão

[**] - $\mu\text{mho/cm}$

ND - não detetável

TRATAMIENTO DE LOS LIXIVIADOS DE LOS RELLENOS SANITARIOS

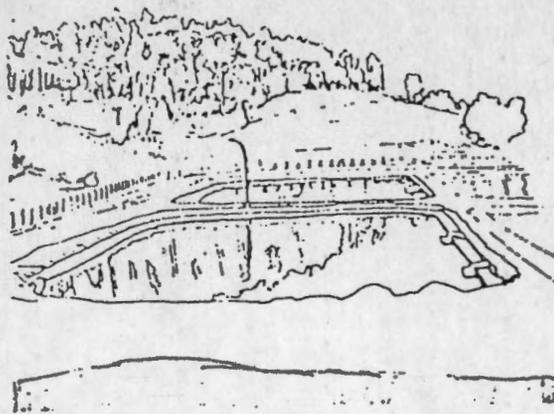
1) TRAT. BIOLÓGICOS (más usados)

1-1- TRAT. ANAERÓBICOS

- recirculación y/o irrigación - uso de parte ~~y/o~~ todo el selleno como un reactor
- filtro anaeróbico
- reactor anaeróbico de Flujo ascendente (RAFA)
- lagos anaerobicos (y/o facultativas)

2- TRAT. AERÓBICOS

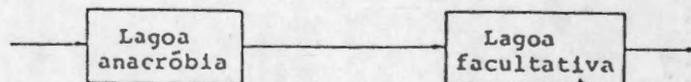
- lagos aeradas
- lodos activados \Rightarrow efl: $DBO_5 \leq 25 \text{ mg/l}$



A altura pode variar de 1,5 a 4,5 metros e o seu comprimento e largura dependem do volume a ser tratado.

O chorume tratado dessa maneira nem sempre apresenta condições ideais para ser lançado em cursos d'água. Assim torna-se necessária a construção de uma série de duas ou mais lagoas por onde o chorume deve passar.

A seguir, exemplifica-se o tratamento do percolato em lagoas pelo "Sistema Australiano de Lagoas de Estabilização", que consiste na associação de uma lagoa anaeróbica com uma lagoa facultativa.



Para os cálculos utiliza-se como produção de chorume o volume de 50.000 l/dia e a DBO afluente de 17.180 mg/l.

São apresentados os critérios de cálculos adotados para as lagoas citadas.

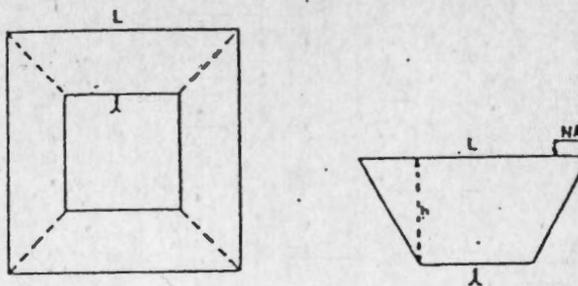
7.3.1 - Lagoa anaeróbica

Fixa-se o tempo de detenção do líquido a ser tratado no interior da lagoa.

Esse tempo de detenção foi fixado em dez dias, baseando-se num tempo médio obtido de recomendações de diversos setores.

$$\text{Volume da lagoa} = 50 \text{ m}^3 \text{ de chorume/dia} \times 10 \text{ dias} = 500 \text{ m}^3$$

Para o cálculo das dimensões do corpo da lagoa, considerou-se o esquema seguinte, com profundidade fixada em 2 m e relação 1:2 com taludes laterais:



Chegou-se às seguintes dimensões:

Área superior = 392 m²
 Área inferior = 139 m²
 Comprimento L = 19,8 m
 Comprimento l = 11,8 m
 Profundidade (altura útil) = 2,0 m

Pode-se aumentar a profundidade para 3,0 m a fim de se deixar uma revanche de 1,0 m do nível de líquido, aumentando-se consequentemente o comprimento L.

7.3.2 - Lagoa facultativa

O critério adotado baseia-se em experiências de Hermann e Gloyna, em modelos reduzidos e em lagoas pilotos. Utiliza-se a seguinte equação:

$$D = 3,5 \frac{Y}{200} \cdot 1,072^{(35 - T)}$$

onde:

D = tempo de detenção (dias)

T = temperatura (°C)

Y = DBO (mg/l)

Exemplo: Calcular a lagoa facultativa para tratar o efluente da lagoa anaeróbia exemplificada anteriormente.

Tem-se os seguintes dados:

Volume de chorume = 50.000 l/dia

DBO efluente = 17.180 mg/l

Considerando-se uma redução de 50% na DBO do percolado tratado na lagoa anaeróbia, a DBO afluente na lagoa facultativa será 17.180 x 0,5 = 8.590 mg/l.

Adota-se para a temperatura na área o valor médio de 25°C.

- cálculo do tempo de detenção:

$$t = 3,5 \frac{8.590}{200} 1,072^{(35-25)}$$

$$t = 300 \text{ dias}$$

- cálculo do volume da lagoa:

$$V = 50 \text{ m}^3 \text{ chorume/dia} \times 300 \text{ dias} = 15.000 \text{ m}^3$$

Adotando-se o mesmo esquema que para a lagoa anaeróbia, ~~na~~ relação 1:2 nos taludes e profundidade da lagoa de 1,8 m chega-se as seguintes dimensões:

$$\text{Área superior} = 9.006 \text{ m}^2$$

$$\text{Área inferior} = 7.691 \text{ m}^2$$

$$\text{Comprimento L} = 94,9 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento l} = 87,7 \text{ m}$$

$$\text{Profundidade} = 1,8 \text{ m}$$

Da mesma forma que para a lagoa anaeróbia, pode-se aumentar a profundidade para se deixar uma revanche de 1,0 m de nível de líquido aumentando-se consequentemente o comprimento L.

7.4 - Vantagens do emprego de lagoas

As lagoas de estabilização, tanto as anaeróbias como as facultativas, são de eficiência elevada, têm baixo custo de construção e apresentam operação e manutenção fáceis e econômicas quando comparadas com a maioria dos processos convencionais de tratamento de esgotos.

Sob o ponto de vista estético, as lagoas facultativas têm a possibilidade de serem enquadradas em planos de urbanização, em vista de seu aspecto agradável e da ausência de odores ofensivos, o que não se verifica com as lagoas anaeróbias.

Outra vantagem é a de serem praticamente insensíveis a sobrecargas temporárias.

Ainda sobre as lagoas anaeróbias, as facultativas têm a vantagem de não dependerem da remoção de lodo e de algas. Lagoas facultativas dispensam a condição de aerobiose no seio da massa de lodo que se acumula sobre o fundo e não há necessidade de aeração da massa líquida.

Em São Paulo, no aterro sanitário de Engenheiro Goulart, os líquidos percolados foram tratados em lagoas de estabilização facultativas, utilizando-se lagoas já existentes no local. A DBO inicial do percolado era de 1.500 mg/l e obtiveram-se por ocasião da estação de verão, eficiências nas reduções de DBO acima de 50%.





- Filtros biológicos

Filtros biológicos são unidades de tratamento cuja finalidade é propiciar um intenso contato entre o líquido a ser tratado e os microrganismos responsáveis por esse tratamento e que estão dispersos por uma grande área superficial.

VNI
DAD NACIONAL

ENOMIA DE

MEXICO

Essa área é obtida por um leito de brita (nº 4) em cujo meio, devido à passagem constante do chorume, existem condições favoráveis ao crescimento desses microrganismos.

O funcionamento dos filtros biológicos está condicionada à capacidade dos microrganismos de removerem a matéria orgânica contida no líquido a ser tratado, o que é realizado através da adsorção provocada pela película ativa aderida ao meio filtrante.

Para o dimensionamento do filtro biológico é necessário o conhecimento da carga orgânica específica e da carga hidráulica específica.

A carga orgânica específica representa a carga orgânica (CO) que se pode aplicar em uma unidade de volume de filtro biológico e é dada em $\text{kg de DBO/m}^3 \cdot \text{dia}$.

A carga hidráulica específica representa a vazão de líquido a ser tratado por unidade de superfície do referido filtro e é dada em $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

Das pesquisas bibliográficas, chegou-se a adotar o seguinte critério básico (segundo o Engº Max Lothar Hess):

- carga orgânica específica: $1,0 \text{ kg DBO/m}^3 \cdot \text{dia}$
- carga hidráulica específica: $2,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Quanto à profundidade ou altura do filtro, os conceitos norte-americanos recomendam aproximadamente 1,5 metros, enquanto os técnicos alemães têm adotado valores em torno de 10 metros.

O formato do filtro é cilíndrico, devido a maior facilidade na distribuição do chorume pela sua superfície superior.

A seguir, exemplifica-se o cálculo das dimensões do leito filtrante, de um filtro biológico para tratar chorume cuja produção é de 95.000 l/dia e a DBO afluente de 17.180 mg/l.

$$CO = DBO \times V_{\text{produzido}} \quad (\text{kg DBO/dia})$$

Cálculo da carga orgânica do percolado:

$$CO = 95 \text{ m}^3 \times 17.180 \times \frac{10^{-3} \text{ kg DBO}}{\text{m}^3 \cdot \text{dia}}$$

$$CO = 1,632 \text{ kg DBO/dia}$$

Para o cálculo das dimensões do filtro adota-se a carga orgânica-específica $CO_{esp} = 1,0 \text{ kg/DBO/dia.m}^3$ de leito filtrante.

$$\text{Volume do filtro} = \frac{CO}{CO_{esp}}$$

$$\text{Volume do filtro: } \frac{CO}{CO_{esp}} = \frac{1.632 \text{ kg DBO/dia}}{1,0 \text{ kg DBO/m}^3 \cdot \text{dia}} = 1.632 \text{ m}^3$$

Seiã adotada a altura de 4,0 m indicada para filtros cuja construção é considerada mais prática.

$$\text{Área superficial: } \frac{V}{h} = \frac{1.632 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} = 408 \text{ m}^2$$

$$\text{Diâmetro do filtro} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 408 \text{ m}^2}{3,14}} = 22,8 \text{ m}$$

dotando-se carga hidráulica específica - $CH_{esp} = 20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, tem-se:

$$\text{Área superficial} = \frac{V_{percolado}}{CH_{esp}} = \frac{95 \text{ m}^3/\text{dia}}{20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

$$\text{Área superficial} = 4,72 \text{ m}^2$$

ortanto, os cálculos devem atender às exigências da carga específica, já que a condição da carga hidráulica específica é automaticamente satisfeita.

Assim, tem-se as dimensões do leito filtrante de pedras britadas (nº 4) para o caso simplificado:

Volume: : 1.632 m³
 Área superficial: : 408 m²
 altura : : 4,0 m
 diâmetro : : 22,8 m

- ATERROS COM CAPTAÇÃO DE GASES

tão sendo construídos dois grandes aterros sanitários em São Paulo (Bandeirantes Sapopemba) com a finalidade de:

- eliminar a poluição causada pelos percolados;
- captar os gases formados, evitando a poluição atmosférica, causada pelos mesmos;
- aproveitar, na medida do possível, a energia contida nos gases.

am desenvolvidos estudos para a disposição do lixo da Baixada Santista em

MEXICO
 AVENIDA DE
 UNIVERSIDAD NACIONAL





VNI
 DAD NACIONAL
 NOMA DE
 MEXICO

com geração de gás que conduziram a projetos* que são esquematizados nas figuras a seguir, onde destacam-se os seguintes pontos:

Os líquidos percolados serão captados através de drenos localizados na parte inferior dos aterros e conduzidos ao sistema de tratamento;

O sistema de tratamento constará de lagoas de estabilização em série (anaeróbia + facultativa + maturação) durante a fase de construção dos aterros;

- concluídas as etapas úteis dos aterros, os líquidos percolados passarão a ser recirculados para o interior da massa de lixo, percolando novamente;

- os aterros deverão ser construídos em células com 5 metros de espessura e cobertura mínima com argila (15 a 30 cm). Esta cobertura será removida por ocasião da execução da célula superior, misturando-se a argila com o lixo ao ser este acondicionado na nova célula em execução, serão evitados, assim, compartimentos estanques que dificultarão a descida dos líquidos e a subida dos gases;

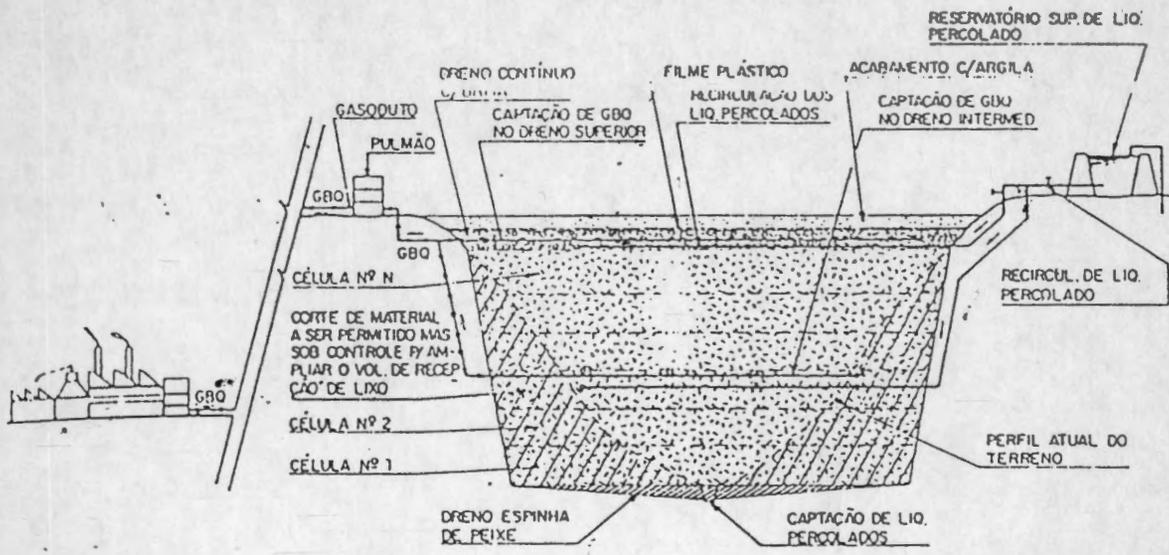
- os gases serão drenados através de sistema combinado de drenos verticais e horizontais. Os verticais serão executados em conjunto com os aterros, estarão distante cerca de 50 metros entre si e serão feitos com formas deslizantes, no interior das quais se montarão tubos de drenagem de concreto seguidos de um anel de pedra britada;

- a cada duas ou três células serão projetados drenos horizontais intermediários, no interior dos quais, protegidos por brita revestida externamente com geomembranas sintéticas, serão lançadas duas tubulações ranhuradas, uma para circulação dos líquidos percolados e outra, alguns centímetros acima, para captação de GBO;

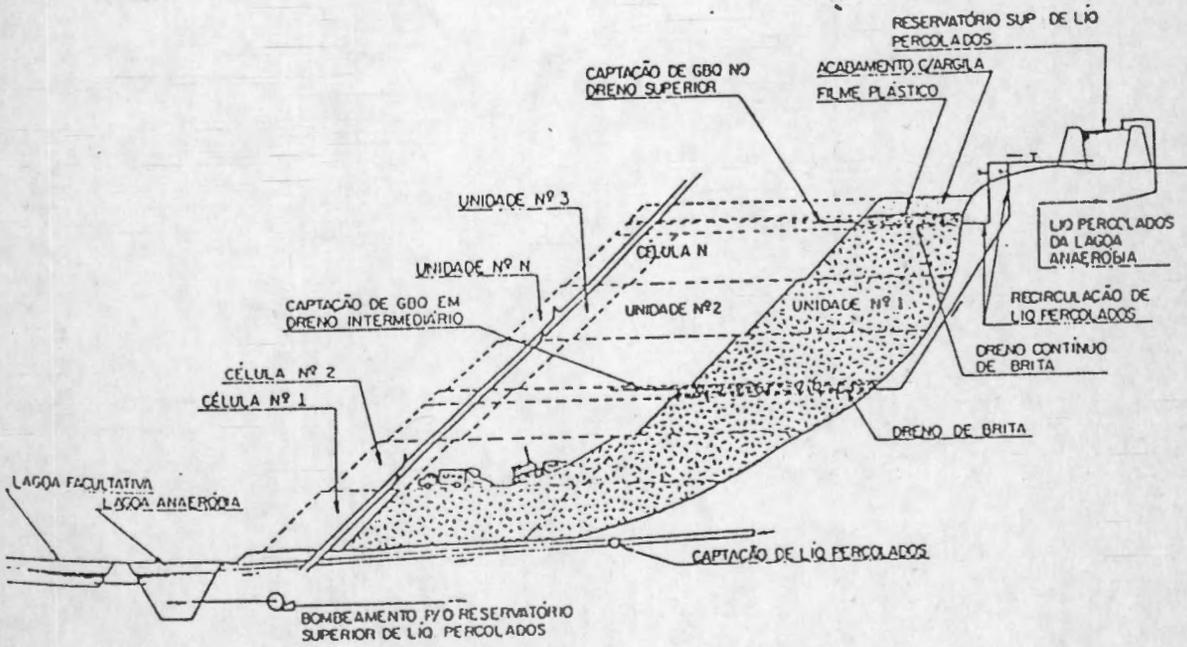
- na superfície superior final dos aterros serão construídos drenos contínuos de pedra britada, com 15 cm de espessura, cobrindo todo o aterro;

- sobre estes drenos serão colocadas geomembranas sintéticas para proteção dos filmes plásticos dispostos a seguir. Em seguida, será feita a proteção final com 1 m de espessura de argila. Na superfície da camada final será aplicada hidrosemeadura para evitar erosão, assim como implantado um eficiente sistema de coleta de águas pluviais.

* Pela CETESB, HICSAN Ltda e E.M.C. e consultores.



Esquema transversal do aterro sanitário com aproveitamento de GBQ



Esquema Longitudinal do aterro sanitário com aproveitamento de GBQ

11

9 - DEFINIÇÃO

O aterro sanitário é o processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas permite uma confirmação segura, em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

Esta forma de dispor o lixo sobre o solo é basicamente constituída da compactação dos resíduos e cobertura diário com camadas de terra de espessura conveniente aos problemas causados pela simples descarga de lixo ou lixões.

10 - ASPECTOS AMBIENTAIS

Os lixões, vazadouros ou bota-foras, além dos inconvenientes de ordem estética provocam problemas ambientais decorrentes da disposição do lixo, a poluição e/ou a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

A constante lixiviação dos resíduos pelas águas de chuva, assim como a sua decomposição, resulta na formação de um líquido de cor acentuada e odor desagradável, de elevado potencial poluidor, comumente denominado chorume. Esse líquido é basicamente formado por: umidade natural do lixo; água de chuva; água de constituição de determinados componentes do lixo, liberados na sua decomposição; água gerada no processo de decomposição biológica; substâncias orgânicas e inorgânicas solúveis, naturalmente presentes no lixo; e substâncias orgânicas solubilizadas pela ação de microrganismos no processo de decomposição.

Caracteriza-se desta forma, o chorume, por um elevado teor de matéria orgânica biodegradável, representando uma demanda potencial de oxigênio, quando encaminhado para um curso d'água.

A redução dos teores de oxigênio dissolvido poderá atingir níveis incompatíveis com a sobrevivência de organismos aquáticos.

Em termos de demanda bioquímica, como a quantidade de oxigênio requerida por organismos aeróbios para estabilizar (mineralizar) a matéria orgânica presente em um determinado resíduo, o chorume apresenta teores da ordem de 30 a 100 vezes a do esgoto doméstico, cujo valor oscila entre 20 a 300 mg/l. Em estudos realizados pela CETESB, observaram-se no chorume valores de DBO compreendidos entre 9.200 a 19.800 mg/l.

Ainda sob o ponto de vista ambiental, o chorume caracteriza-se como fonte potencial de microrganismos patogênicos, comumente presentes no lixo domiciliar.

A lixiviação do lixo pelas águas de chuva contribui de forma significativa para o enriquecimento do chorume em substâncias químicas nocivas eventualmente presentes no lixo (metais pesados, tóxicos, etc.).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



CURSO SOBRE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS ACTUALIZADOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS.

TEMA:

METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA UBICACION DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SOLIDOS, CONSIDERANDO LA AFECTACION QUE PUEDAN GENERAR AL ENTORNO URBANO.

PROFESOR:

M. EN I. JORGE SANCHEZ GOMEZ

Junio 3, 4 y 5, 1993

INTRODUCCION

El acelerado crecimiento poblacional de los asentamientos humanos, trae como consecuencia inmediata, una demanda de servicios que normalmente se cubren a un ritmo mucho más pausado de como se da este crecimiento. Esto es debido a que la regularización de los servicios después de la explosión poblacional, es un fenómeno típico de nuestra realidad urbana, el cual se ha venido presentando con mayor incidencia a partir de la década de los 40's, acrecentándose a últimas fechas. Aunado a lo anterior, las dificultades de orden geográfico-urbano para proporcionar los servicios en forma adecuada, complican aún más la problemática, elevando los costos de inversión y agravando la gestión socio-política, que normalmente acompaña a este tipo de procesos.

Un caso que ilustra a la perfección la problemática antes mencionada, lo ejemplifica la necesidad de establecer Estaciones de Transferencia de Residuos Sólidos (ETRS), cerca de zonas urbanas densamente pobladas. Esto se debe a que los sitios de disposición final se hallan tan alejados de los centros de generación, que los costos de transportación de los residuos sólidos, alcanzan niveles verdaderamente prohibitivos. La problemática que implica el establecimiento de una "ETRS", radica básicamente en que por el propio desarrollo poblacional, se reducen las posibilidades de contar con espacios suficientes para la ubicación de estas instalaciones en áreas urbanas, la cual se vuelve más crítica cuando existe población cercana o colindante a los sitios elegidos para

tal fin, esquema que se presenta cada vez con mucha más frecuencia y que no debe parecer extraño; puesto que la filosofía que debe prevalecer cuando se pretenda definir la ubicación de una "ETRS", es que se halle dentro de las zonas que presenten deficiencias en la prestación del servicio de recolección de basura, con el fin de incrementar la frecuencia, oportunidad de atención y cobertura del mismo.

En el pasado, la elección del sitio para la ubicación de una "ETRS", no implicaba mayor problema debido a que las condiciones ambientales de la Cd. de México, no presentaban los niveles tan críticos que se registran en la actualidad, amén de que el interés por los temas relacionados con la ecología, no propiciaban la inquietud poblacional que ahora provocan, por lo que mediante sencillos análisis donde se cuidaba principalmente que la instalación estuviera dentro de la zona por servir, se definía la ubicación de este tipo de instalaciones, haciendo caso omiso de las afectaciones que al entorno urbano/ambiental, pudiera generar.

En la actualidad, la gestión para establecimiento de una "ETRS", se ha complicado sobremanera, debido principalmente a la crisis ambiental que permanentemente se vive en la Cd. de México, a la que se debe agregar la creciente participación ciudadana, algunas veces con información escasa, imprecisa y/o equivocada, sobre los procesos relacionados con los problemas ecológico/ambientales que se presentan en el territorio nacional; y principalmente en el

Distrito Federal. A lo anterior hay que agregar el equivocado enfoque fundamentalista que ciertos grupos ecologistas le están dando a su gestión actual, provocando que la población tome actitudes inflexibles y de difícil concertación, dando por resultado, que se esté postergando la solución a graves problemas que están deteriorando aún más la endeble "constitución ambiental" de la Cd. de México. Ante esta situación, la selección del sitio más adecuado para la ubicación de una "ETRS", conlleva un particular análisis de alternativas, de manera tal que el sitio asegure la disminución de los impactos potenciales que la operación de la instalación pueda generar hacia el entorno urbano/ambiental y que además requiera de una menor inversión para el control de dichos impactos a través de acciones mitigantes, que deberán ser incluidas dentro del programa constructivo de la instalación; independientemente de las exigencias que haya que atender, en los procesos de concertación con la ciudadanía.

**CRITERIOS PARA DEFINIR LA REGION FACTIBLE DONDE DEBERA
UBICARSE LA ESTACION DE TRANSFERENCIA**

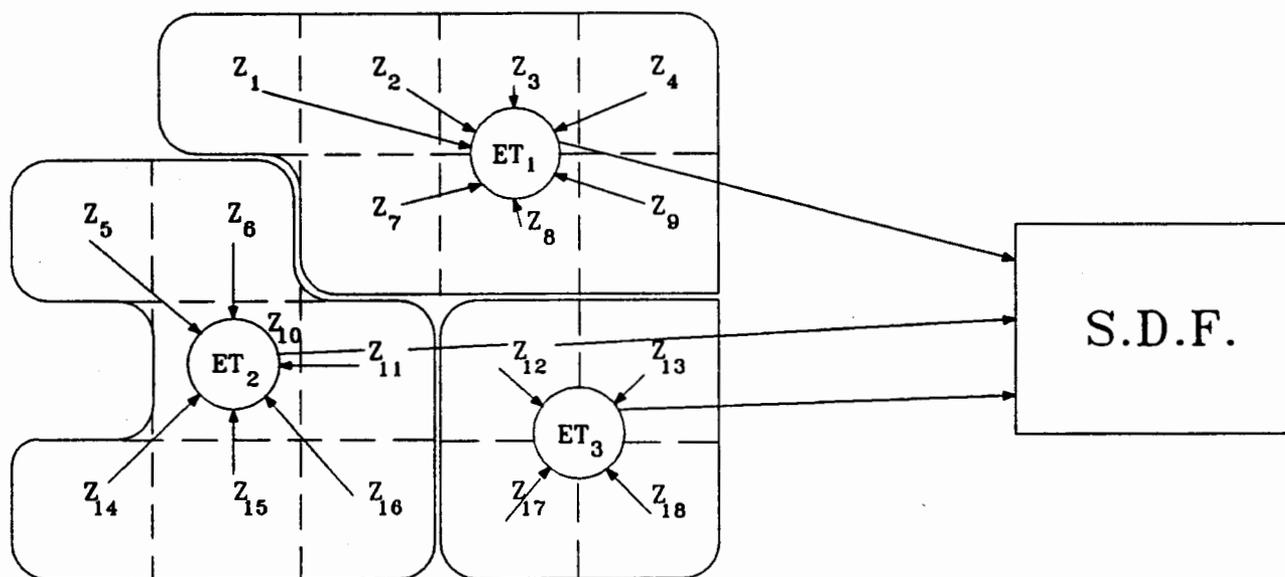
Una "ETRS", es el conjunto de equipos e instalaciones en donde se hace el transbordo de basura de un vehículo recolector a otro vehículo con mucho mayor capacidad de carga, el cual transportará dichos residuos hasta su destino final.

El objetivo básico de las instalaciones de transferencia, es incrementar la eficiencia global del servicio de recolección de residuos sólidos, a través de la economía que se logra tanto al

disminuir los costos y tiempos de transporte, como en la disminución del tiempo ocioso de la mano de obra y de los equipos disponibles. En la Fig. 1, se ilustra en forma gráfica la función de una Estación de Transferencia.

En la actualidad, la tendencia de crecimiento que se ha dado en las grandes conurbaciones y en las áreas metropolitanas, en donde los sitios de disposición final, están cada vez más alejados de las zonas de generación de residuos sólidos, obligan a utilizar las instalaciones de transferencia para eficientizar los sistemas de recolección de estos residuos.

DESCRIPCION GRAFICA DE LA FUNCION DE UNA
ESTACION DE TRANSFERENCIA



CLAVES

Z: ZONA DE RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS

ET: ESTACION DE TRANSFERENCIA

SDF: SITIO DE DISPOSICION FINAL

Fig. No. 1

La definición del centro de gravedad geográfico de una determinada región con problemas en cuanto al servicio de recolección de residuos sólidos, es el punto de partida para el establecimiento de una "ETRS". Es decir, la premisa fundamental es que una instalación de este tipo, siempre debe quedar lo más cerca posible al centro de gravedad geográfico de la región por atender, con el fin de disminuir la suma de los recorridos de las rutas de recolección hacia dicha instalación.

De lo anterior se deduce que se deberá definir una región factible donde pueda instalarse la "ETRS", considerando las alteraciones que el centro de gravedad geográfico pueda sufrir, por restricciones obligadas del sistema, como lo es la ubicación de los sitios de encierro de los equipos de recolección; o bien, las desviaciones o desplazamientos que pudiera sufrir al agregar a las variables geográficas, otro tipo de variables, como son: la densidad de población, la generación de los residuos sólidos, las pendientes promedio del terreno, la traza urbana de la localidad, la cercanía con áreas forestales, o cualquier otra que pueda ser de consideración según sean las características de la localidad que se trate.

La determinación del Centro de Gravedad Geográfico (C.G.G.), implica la definición de las zonas o sectores de recolección, el cálculo de su superficie y de sus coordenadas centrales en un sistema cartesiano; para después determinar los momentos de transporte de cada una de las zonas o sectores; es decir, la

distancia de los centros de gravedad de ellas hasta los ejes cartesianos, por la superficie que ocupa la mancha urbana en cada una de dichas zonas o sectores. Los momentos resultantes divididos entre la superficie total de la mancha urbana, serán las coordenadas del centro de gravedad de toda la región considerada.

La descripción gráfica de esta metodología, se presenta en la Fig. No. 2.

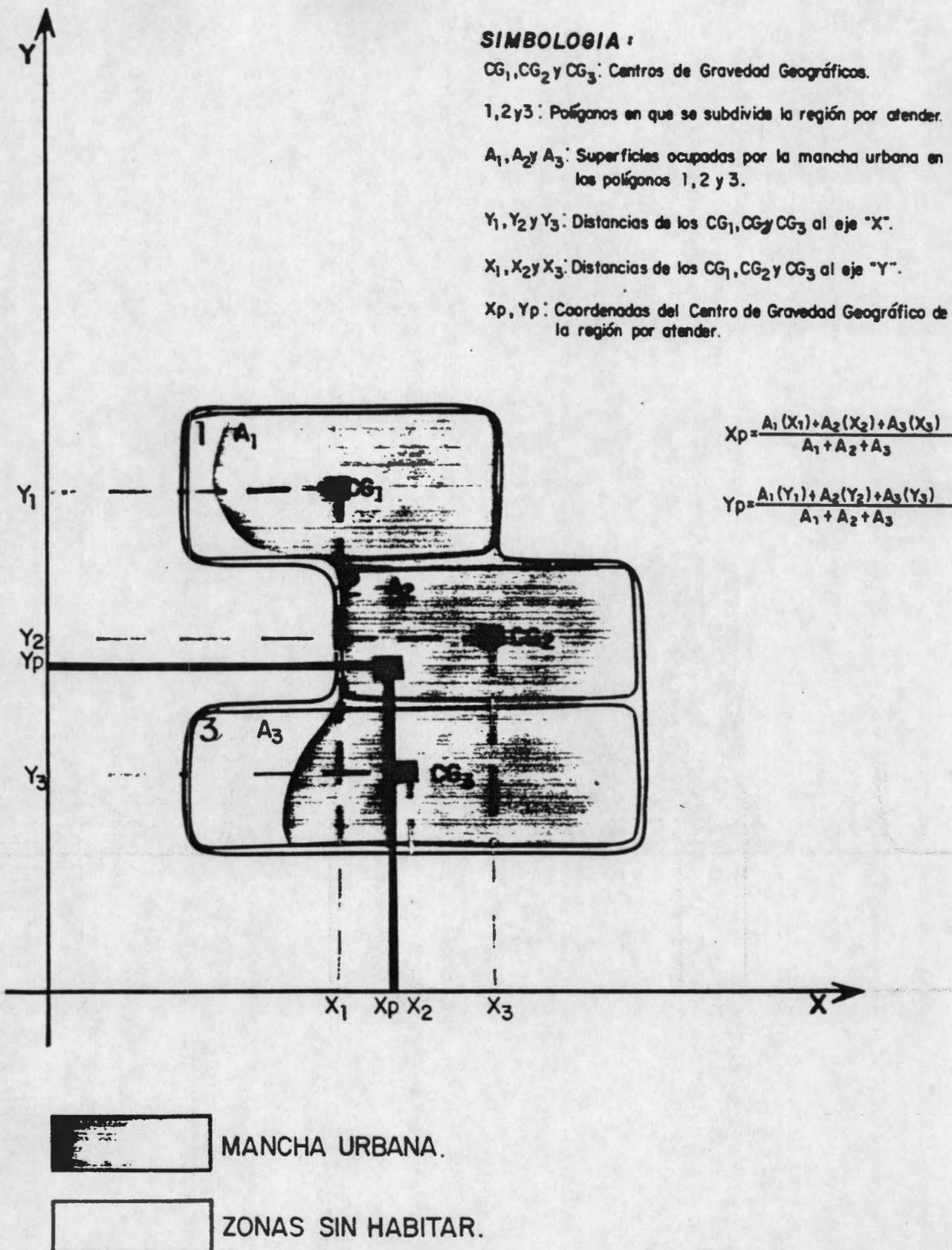


FIG. No. 2. DEFINICION DEL CENTRO DE GRAVEDAD GEOGRAFICO POR EL METODO DE MOMENTOS EN UN SISTEMA CARTESIANO

Algebráicamente, la definición del centro de gravedad geográfico, quedará definido por las siguientes expresiones:

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i x_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)} \dots\dots\dots \text{ec. (1)}$$

$$Y_p = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i y_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)} \dots\dots\dots \text{ec. (2)}$$

Donde:

X_p, Y_p : Coordenadas del centro de gravedad geográfico.

n : No. de polígonos que componen la región por atender.

A_i : Superficie que ocupa la mancha urbana en el polígono "i".

X_i : Distancia del centro de gravedad del polígono "i", al eje cartesiano "Y".

Y_i : Distancia del centro de gravedad del polígono "i", al eje cartesiano "X".

La determinación de cualquier otro centro de gravedad, puede expresarse de la siguiente manera, a partir de las expresiones 1 y 2.

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i f_j x_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i f_j)} \dots\dots\dots \text{ec. (3)}$$

$$Y_p = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i f_j y_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i f_j)} \dots\dots\dots \text{ec. (4)}$$

Donde:

$$j = 1, 2, \dots\dots\dots, m-1, m$$

fj: Factor de ajuste que engloba dentro de la superficie de la mancha urbana del polígono "i", otros aspectos complementarios que además de los puramente geográficos, permitan incluir en el análisis, algunas otras consideraciones que sean de vital importancia para la situación que se trate. Ejemplo de estas consideraciones, podrían ser las siguientes variables:

- Variable poblacional
- Variable que considere la producción de residuos
- Variable topográfica
- Variables urbanísticas
- Variables ecológicas

m: No. de variables consideradas en el análisis.

En la tabla No. 1 se presenta la descripción del factor de ajuste del centro de gravedad, para diferentes variables urbanas.

Agregar este tipo de variables dentro del análisis para definir la región donde debe ser ubicada la "ETRS", permitirá que la elección del sitio, se haga implícitamente de manera racional, lo cual es difícil de lograr cuando se considera únicamente, la variable geográfica; ya que por lo regular las actividades que se dan en el asentamiento humano, son tan disímboles y de orden tan diverso, que le dan una gran heterogeneidad, tanto a su densidad poblacional, como a su distribución geográfica y socioeconómica, amén de las propias diferencias que trae consigo el desarrollo urbano y la dotación de infraestructura para la prestación de los servicios públicos.

Es claro entonces, que se obtendrá un centro de gravedad por cada variable complementaria que se agregue al análisis para la definición de la Región Factible, la cual se determinará entonces, conectando los centros de gravedad de cada una de las variables consideradas en el análisis, obteniéndose por tanto un polígono cerrado. En la fig. No. 3, se presenta la descripción de un ejemplo hipotético, para ilustrar lo antes comentado.

FACTORES DE AJUSTE PARA LA CORRECCION DEL CENTRO DE GRAVEDAD GEOGRAFICO, DEBIDO A DIFERENTES VARIABLES URBANISTICAS.

TIPO DE VARIABLE	FORMULACION DEL FACTOR DE AJUSTE	DESCRIPCION DE LA FORMULACION
GEOGRAFICA	$f = 1$	EL FACTOR ES IGUAL A LA UNIDAD
POBLACIONAL	$f = D$	EL FACTOR ES IGUAL A LA DENSIDAD DE POBLACION "D", EXPRESADA EN HABS./HA.
POR GENERACION DE RESIDUOS	$f = D * G$	EL FACTOR ES EL PRODUCTO DE LA DENSIDAD DE POBLACION "D" EN HABS./HA, POR LA GENERACION PERCAPITA DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES EN KG/HAB.-DIA
POR VIALIDAD	$f = D * G * N$	EL FACTOR ES EL PRODUCTO DEL FACTOR ANTERIOR, MULTIPLICADO POR EL No. ADIMENSIONAL "N", QUE ES LA SUMATORIA DE LAS CALIFICACIONES DE LAS VIALIDADES DETECTADAS. LA CALIFICACION DE LAS VIALIDADES, PUEDE HACERSE SEGUN LA IMPORTANCIA DE LA VIALIDAD, SU No. DE CARRILES Y EL TRANSITO EN HORAS PICO.
POR PENDIENTES DEL TERRENO	$f = B * G * P$	EL FACTOR ES EL PRODUCTO DEL FACTOR OBTENIDO PARA LA VARIABLE REFERENTE A LA GENERACION DE RESIDUOS, MULTIPLICADO POR EL No. ADIMENSIONAL "P", QUE ES LA PENDIENTE EN % DIVIDIDA ENTRE 10.

TABLA No. 1.

DESCRIPCION DE LA CONSTRUCCION DE LA REGION FACTIBLE A PARTIR DE LOS CENTROS DE GRAVEDAD OBTENIDOS PARA DIFERENTES VARIABLES URBANISTICAS CONSIDERADAS, PARA UN EJEMPLO HIPOTETICO

Fig. No. 3

La definición de la Región Factible, puede expresarse algebraicamente de la siguiente manera:

$$R = \{(X_{pj}, Y_{pj}) \mid j=1, 2, \dots, m-1, m\} \dots \text{ec. (5)}$$

$$R = \{(X_{p1}, Y_{p1}), (X_{p2}, Y_{p2}), \dots, (X_{pm-1}, Y_{pm-1}), (X_{pm}, Y_{pm})\} \dots \text{ec. (6)}$$

VARIABLE	X	Y
GEOGRAFICA (A)	7.05	6.90
POBLACIONAL (B)	7.76	7.59
POR GENERACION DE R. (C)	6.95	8.04
POR VALIDADES (D)	7.93	8.44
POR PENDIENTE DEL TERRENO	7.50	8.50

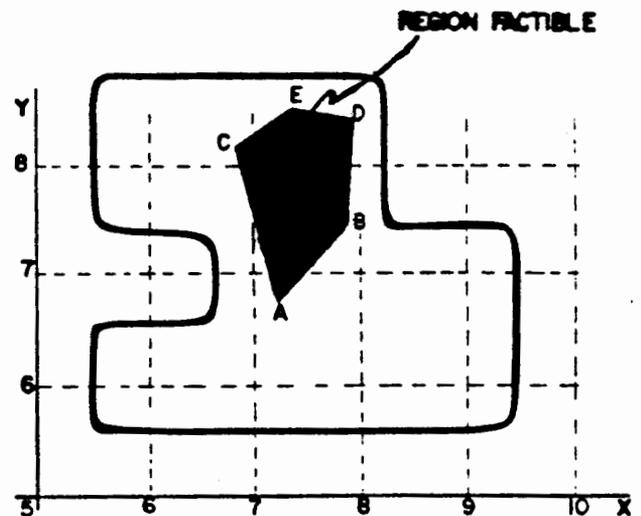
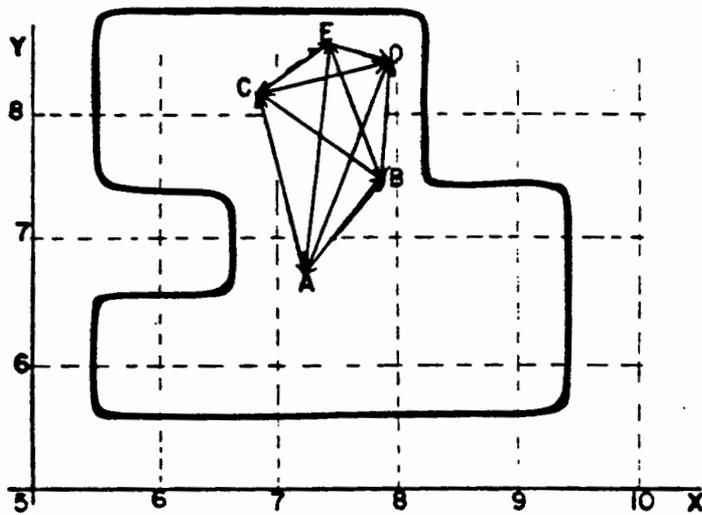
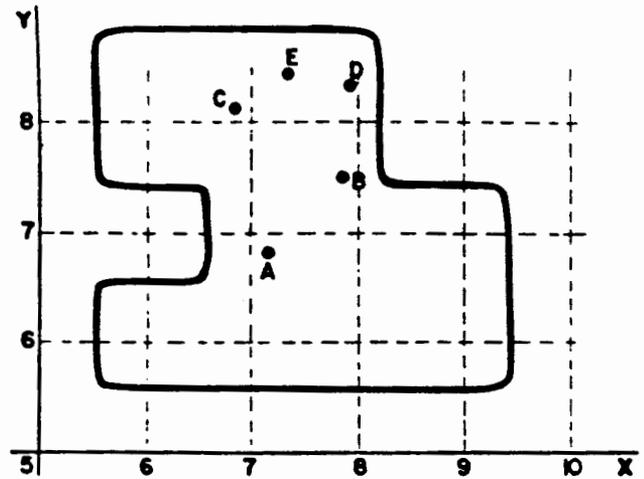


FIG. No. 3 DESCRIPCION DE LA CONSTRUCCION DE LA REGION FACTIBLE A PARTIR DE LOS CENTROS DE GRAVEDAD OBTENIDOS PARA DIFERENTES VARIABLES URBANISTICAS CONSIDERADAS, PARA UN EJEMPLO HIPOTETICO

De todo lo anterior, se puede concluir que cualquier sitio que se halle dentro de la Región Factible, podrá ser considerado para la ubicación de una "ETRS", sin menoscabo de la eficiencia del sistema. Esto no debe intepretarse como una limitación contundente para eliminar aquellos sitios que se hallen fuera de la Región Factible, solamente establece que entre más nos alejemos de ella, menor será la eficiencia del sistema.

Cuando no exista sitio alguno dentro de la Región Factible, deberán trazarse círculos concéntricos a partir del centroide del polígono que define dicha región, de manera tal que la vaya envolviendo hasta encontrar uno o más sitios, para proceder a su revisión y análisis, como se indica en la fig. No. 4. En teoría, el sitio con mayor viabilidad desde el punto de vista económico, será aquel que se halle más cerca de los linderos de la Región Factible.

TRAZO DE ENVOLVENTES SOBRE LA REGION FACTIBLE,
PARA IDENTIFICACION DE SITIOS FUERA DE ELLA

Fig. No. 4

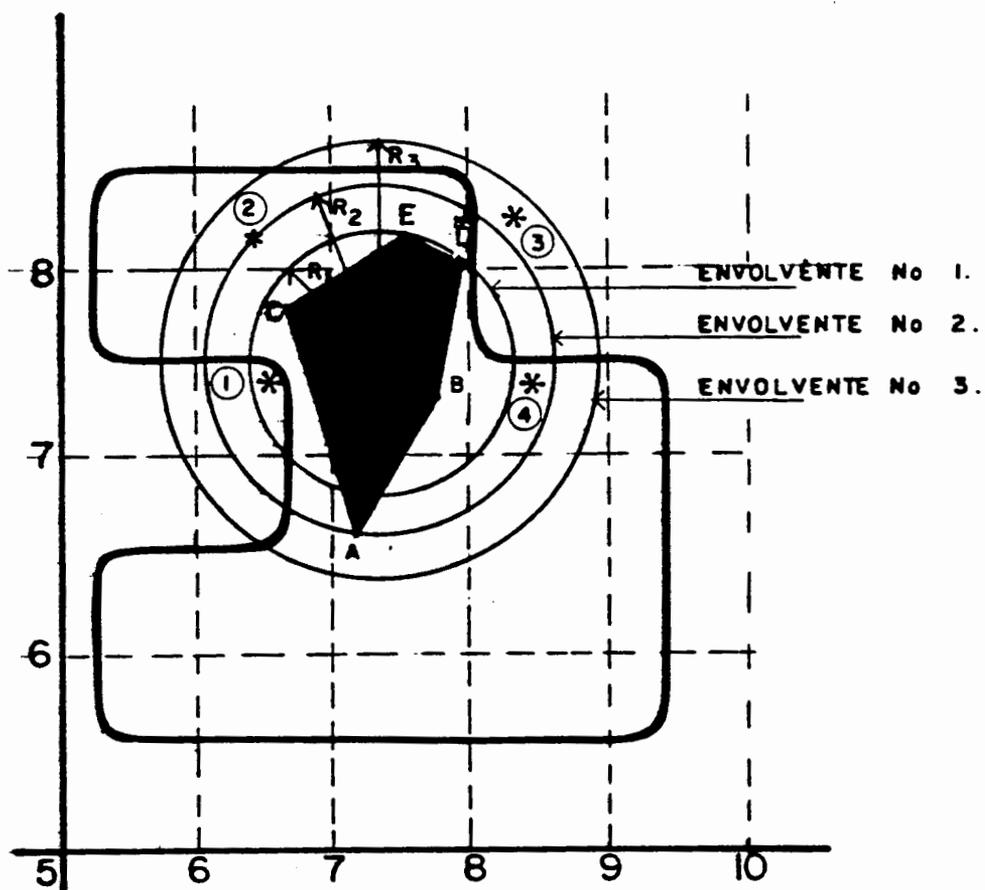


FIG. No. 4 TRAZO DE ENVOLVENTES SOBRE LA REGION FACTIBLE, PARA IDENTIFICACION DE SITIOS FUERA DE ELLA

EVALUACION Y SELECCION DE SITIOS

La selección del sitio más adecuado para la ubicación de una "ETRS" de entre un conjunto de sitios factibles, se puede efectuar mediante un análisis de tipo económico que considere el costo que representa el transporte de los residuos sólidos, desde los centros de generación hasta los sitios factibles para la ubicación de la "ETRS", como lo establece la siguiente expresión:

$$\text{MIN: } Z_1 = \sum_{k=1}^m P(k) D(k, l) C(k) \dots \text{ ec. (7)}$$

Donde:

Z₁: Costo de transportación de los residuos sólidos desde los sectores de generación "k", hasta el sitio "l", propuesto para ubicar la "ETRS".

C_k: Costo unitario de la tonelada de residuos sólidos recolectada en el sector "k".

P(k): Tonelaje de basura generada en el sector "k".

D(k,l): Distancia promedio entre el centro de gravedad del sector "k" y el sitio "l".

Cuando no se cuente con la información necesaria para determinar

el costo unitario de la tonelada de basura recolectada en cada uno de los sectores de recolección, el análisis puede efectuarse solamente con los tonelajes de basura generados en los sectores de recolección con las distancias promedios de los centros de gravedad hacia cada uno de los sitios propuestos.

A pesar de que este tipo de análisis asegura encontrar la solución óptima en términos de productividad, en ocasiones no resulta ser suficiente para tomar la decisión sobre la mejor ubicación que debe tener una "ETRS", ya que hay otros aspectos de tipo social, político, ambiental, de salud pública y de percepción ciudadana, que son importantes de considerar.

Por tanto el análisis antes descrito debe ser complementado con otro tipo de metodología que incluya algunas otras variables que consideren los aspectos mencionados en líneas atrás, como lo que se describe a continuación:

El objetivo fundamental de esta metodología, es lograr que a través de su aplicación, el sitio elegido sea aquel que por sus propias características, asegure que las implicaciones ambientales que la instalación genere durante su operación, sean las menores.

Para fines meramente descriptivos de la metodología, se establecieron dos conjuntos de variables, uno compuesto por los aspectos ambientales al que se le denominó "ELEMENTOS DEL ENTORNO URBANO",

mientras que al conjunto que reúne las características de los sitios, se le designó "IMPACTANTES POTENCIALES DE LA INSTALACION".

Ahora bien, para identificar los componentes del primer conjunto, se realizó una detallada inspección de la operación de las actuales estaciones de transferencia, así como una revisión de las notas periodísticas relacionadas con el tema de los residuos sólidos, además de considerar las opiniones de diferentes grupos de la sociedad en general. De lo anterior, se derivó la siguiente lista de variables:

- AMBIENTE: Aire, Agua, Suelo, Zonas arboladas, Areas protegidas, etc.

- SALUD: De toda la población en general, incluyendo sobremañera la de los sectores más desprotegidos, ya sea por su condición y características, o por su inaccesibilidad a los servicios médicos.

- BIENESTAR: Afectaciones y molestias sobre los diferentes ámbitos en los que se congrega la población en general: casas-habitación, escuelas, hospitales, centros deportivos, etc.

- INFRAESTRUCTURA URBANA: Vialidad, Servicios, Parques y Jardines.

Con la relación del conjunto de variables denominadas "IMPACTANTES POTENCIALES DE LA INSTALACION", se debe mencionar que para precisar sus componentes, fue necesario identificar "a priori" los agentes derivados de la operación de una "ETRS", que potencialmente pueden generar algún riesgo sobre cada uno de los Elementos del Entorno Urbano, definidos anteriormente. Estos agentes se mencionan a continuación:

AMBIENTE: Emisión de agentes contaminantes físicos, químicos y biológicos, que puedan llegar a contaminar el ambiente en general, en especial al aire y al suelo.

SALUD: Generación de polvos, microorganismos y otros agentes físicos, químicos y biológicos, que pueden ir directamente al ser humano y a sus animales domésticos; o bien, dispersarse sobre los elementos del ambiente, en ocasiones en concentraciones por encima de los niveles normativos.

BIENESTAR:

- Generación de polvos, ruido y olores.
- Alto flujo vehicular sobre vialidades secundarias.
- Dispersión de residuos sólidos en el ambiente.
- Afectación de la estética por las actividades propias de la instalación.

INFRAESTRUCTURA - Afectación de la infraestructura vial (carpeta asfáltica, banquetas, guarniciones, mobiliario urbano, etc.).

URBANA:

- Incremento de accidentes.
- Deterioro de la infraestructura hidráulica.
- Incremento del mantenimiento en los servicios complementarios.

De acuerdo con el listado anterior, las características propias de los sitios que pueden tener una cierta ingerencia para propiciar que los agentes de riesgo antes anotados, sean menos efectivos y más fácilmente controlables, se indica a continuación:

- Distancia de amortiguamiento a Zonas Habitadas
- Dirección e Incidencia de Vientos
- Pendiente de Acceso al Sitio
- Accesos Viales al Sitio
- Superficie Disponible

Después del análisis anterior, se ve con claridad que entre las variables de los dos conjuntos mencionados, existe una cierta relación causa-efecto que puede ser identificada con un enfoque sistémico, para tratar de reducir al máximo la subjetividad que este tipo de valoraciones conllevan implícitamente.

Es así que entonces, puede proponerse a la "Teoría de Juegos" como marco metodológico para el análisis, con el fin de formular

un "Juego de Suma Cero" entre el "HOMBRE" y su "ENTORNO", a través del cual ambos buscarán definir aquellas estrategias que respectivamente, les permitan obtener las máximas ganancias y las menores pérdidas. En este juego, el "HOMBRE" estará representado por el conjunto de variables denominado "IMPACTANTES POTENCIALES DE LA INSTALACION", ya que las componentes de este conjunto se refieren a las características de los sitios donde se pretende instalar una "ETRS", cuya operación correrá por cuenta del "HOMBRE", pudiendo esta operación modificar el estado actual que guarde el entorno urbano en los sitios factibles para ubicación de la "ETRS". Así mismo, el conjunto de variables designado "ELEMENTOS DEL ENTORNO URBANO", es obvio que representará al "ENTORNO", ya que como se mencionó anteriormente, las variables que lo integran se refieren a los componentes del entorno urbano que pueden verse impactados con la operación de la "ETRS". También es obvio que en este enfrentamiento, el "HOMBRE" fungirá como un Jugador Maximizante, pues con sus acciones o estrategias modificará al "ENTORNO"; mientras que este último nunca alterará las estrategias del primero, puesto que siempre estará a la espera de que el "HOMBRE" lleve a cabo cualquiera de sus acciones. Con base en lo anterior, se puede concluir que permanentemente el "HOMBRE" buscará encontrar aquellas estrategias que maximicen sus ganancias; mientras que el "ENTORNO" por su parte, tratará de hallar las estrategias que minimicen sus pérdidas.

Aunque existen varios métodos para resolver un determinado juego,

se propuso utilizar el de Newmann-Dantzig, el cual lo transforma en un problema lineal que puede ser resuelto por cualquiera de los algoritmos existentes para ello.

Para lograr lo anterior, es necesario plantear el juego a través de una "MATRIZ DE PAGOS", que relacione los dos conjuntos de variables, el primero con las acciones del "HOMBRE", (IMPACTANTES POTENCIALES DE LA INSTALACION); y el segundo con las acciones del "ENTORNO" (ELEMENTOS DEL ENTORNO URBANO).

Se deberá obtener por cada uno de los sitios que se pretendan analizar, una matriz de pagos, la cual se formará mediante la multiplicación de dos matrices, una que engloba el impacto de las acciones que el "HOMBRE" tiene sobre los elementos de "ENTORNO" (MATRIZ DE CONTRIBUCIONES PROPORCIONALES); y la otra que reúne la "CALIFICACION" de cada uno de los impactantes.

La "MATRIZ DE CONTRIBUCIONES PROPORCIONALES" que se presenta en la tabla No. 2, relaciona los dos conjuntos de variables, valuando el impacto que cada una de las acciones del "HOMBRE" tiene sobre cada uno de los elementos del "ENTORNO". Por ejemplo, una escasa distancia de amortiguamiento puede alterar de algún modo el Bienestar de la población circundante, así como afectar la salud de los mismos; mientras que las incidencias de los vientos, pueden también afectar el bienestar de la población, así como deteriorar e impactar al ambiente.

Esta matriz que será la misma para cualquier sitio que se pretenda analizar, se construyó promediando los valores de contribución reportados por diferentes profesionistas con distintas especialidades, tanto del ramo de la ingeniería, como de las ciencias sociales. En todo caso, si no se está de acuerdo con los valores reportados en la tabla No. 2, éstos pueden ser modificados aplicando el criterio que se crea más conveniente. La afectación de los elementos del "ENTORNO" por los impactantes considerados, presentan los siguientes porcentajes:

- BIENESTAR	(34%)
- AMBIENTE	(18%)
- INFRAESTRUCTURA	(24%)
URBANA	
- SALUD	(24%)
<hr/>	
S U M A	(100%)

MATRIZ DE CONTRIBUCION PROPORCIONAL DE LOS IMPACTANTES SOBRE LOS ELEMENTOS DEL ENTORNO URBANO

IMPACTANTES ELEM. URBANOS	DISTAN CIA DE AMORT.	VIENTOS	PENDS. ACCESO	ACCESOS VIALES	SUPER FICIE	Σ	(%)
BIENESTAR	0.6	0.3	0.2	0.3	0.3	1.7	0.34
AMBIENTE	-	0.3	0.4	0.1	0.1	0.9	0.18
INFRAESTRUCTURA URBANA	-	-	0.1	0.6	0.5	1.2	0.24
SALUD	0.4	0.4	0.3	-	0.1	1.2	0.24
Σ	1	1	1	1	1	5	1.00

TABLA No. 2

La segunda "MATRIZ DE CALIFICACION" de los impactantes, la cual será específica para cada uno de los sitios que se incluyan en el análisis, se construyó a partir de la evaluación de las características de los sitios considerados, mediante la aplicación de ciertas funciones de sensibilidad, cuyos tipos y límites se fijaron con base en el comportamiento del impactante y tomando como fundamento la normatividad y criterios de afectación ambiental.

Los tipos de función, fundamentos de límites y expresiones matemáticas que identifican a las funciones de sensibilidad utilizadas, se presentan en la tabla No. 3, mientras que en las figuras de la 5 a la 9 se ilustran en forma gráfica dichas funciones, así como sus valores numéricos.

El objetivo de utilizar las funciones de sensibilidad es eliminar al máximo la subjetividad al calificar cada uno de los impactantes considerados.

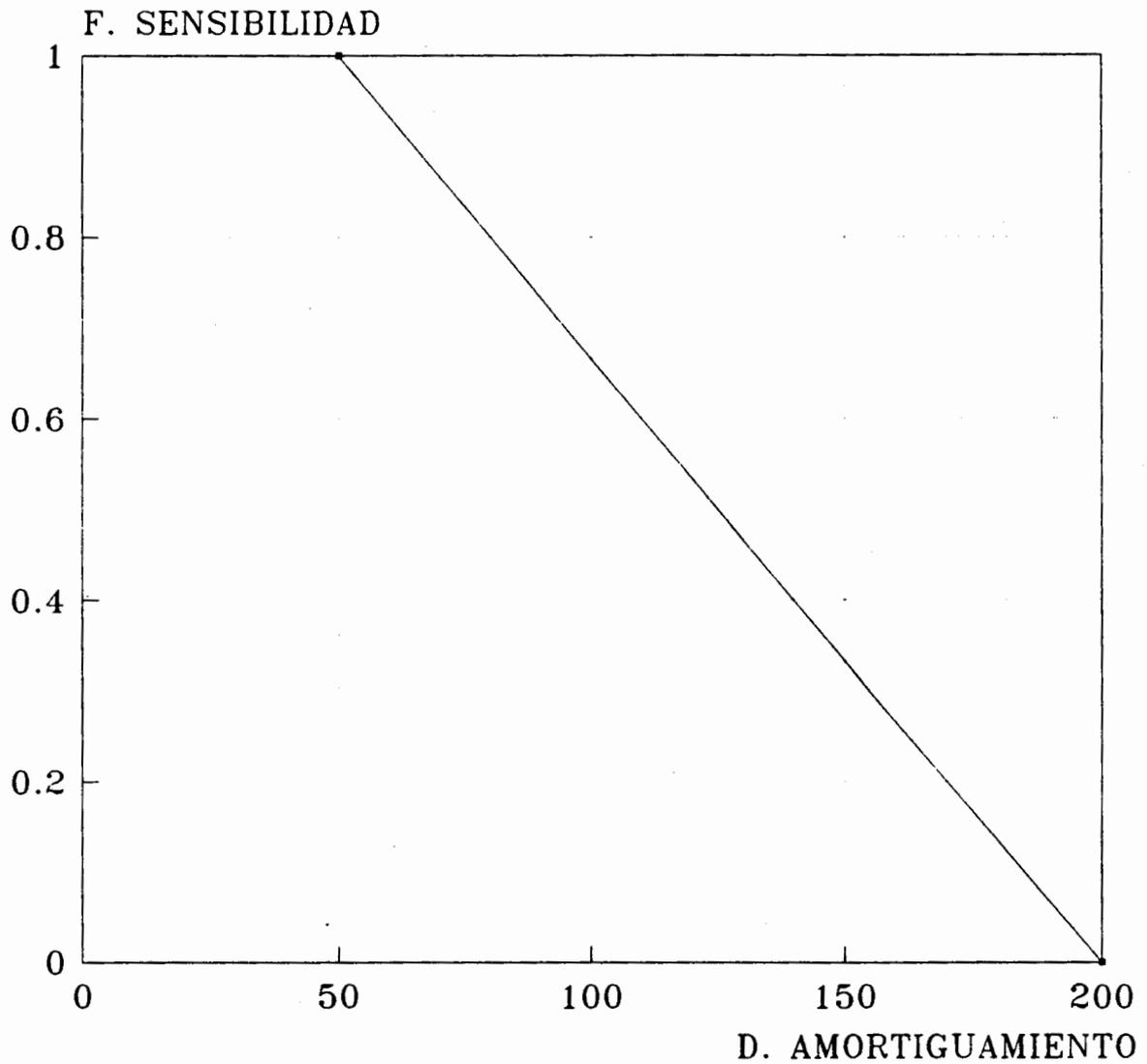
Finalmente el producto de la "MATRIZ DE CALIFICACION" por la "MATRIZ DE CONTRIBUCIONES PROPORCIONALES", dará origen a la MATRIZ DE PAGOS del sitio que se trate; en la cual los valores de cada renglón, constituirán los coeficientes de las restricciones del problema lineal en que se transformará dicha matriz de pagos, según la metodología de Newmann-Dantzig, que se describe a continuación:

TABLA No. 3

TIPO, CARACTERISTICAS Y FUNDAMENTOS DE LAS FUNCIONES DE SENSIBILIDAD PROPUESTAS

IMPACTANTE POTENCIAL	TIPO DE FUNCION	FUNDAMENTOS DE LIMITES	EXPRESION DE LIMITES
Distancia de - Amortiguamiento	lineal	Se considero una distancia mínima de 50 m. A distancias iguales o mayores a 200 m. se asignó una calificación de 0.	$= 1.33 - \frac{x}{150}, 50 < x < 200$ $f(x) = 1 \quad x < 50$ $= 0 \quad x > 200$
Vientos	lineal	La calificación asignada -- corresponde al porcentaje de días con vientos desfavorables que inciden en cada sitio, entre el número de días del año.	$f(x) = \frac{x}{365}, 0 < x < 365,$
Pendientes de Acceso	lineal	Pendientes menores de 3% no impactan (calif. = 0). Pendientes mayores del 12% son fuertemente impactantes -- (calif. = 1).	$= (x/9 - 0.33), 3 < x < 12$ $f(x) = 1 \quad x > 12$ $= 0 \quad x < 3$
Accesos Viales	lineal	Cuando se tenga un solo acceso se asignó una calif. = 0.75. Cuando se tengan dos y tres accesos se asignaron calificaciones respectivas de 0.5 y 0.25	$f(x) = 1 - \frac{x}{4}, 0 < x < 4$
Superficie	lineal	Cuando la relación de área disponible entre area necesaria 0.40 se consideró una calif. = 0. Cuando la relación sea de 1.0, se asignó una calif. = 1	$= [1.66(1-x)], 0.4 < x < 1.0$ $f(x) = 1 \quad x < 0.4$ $= 0 \quad x > 1.0$

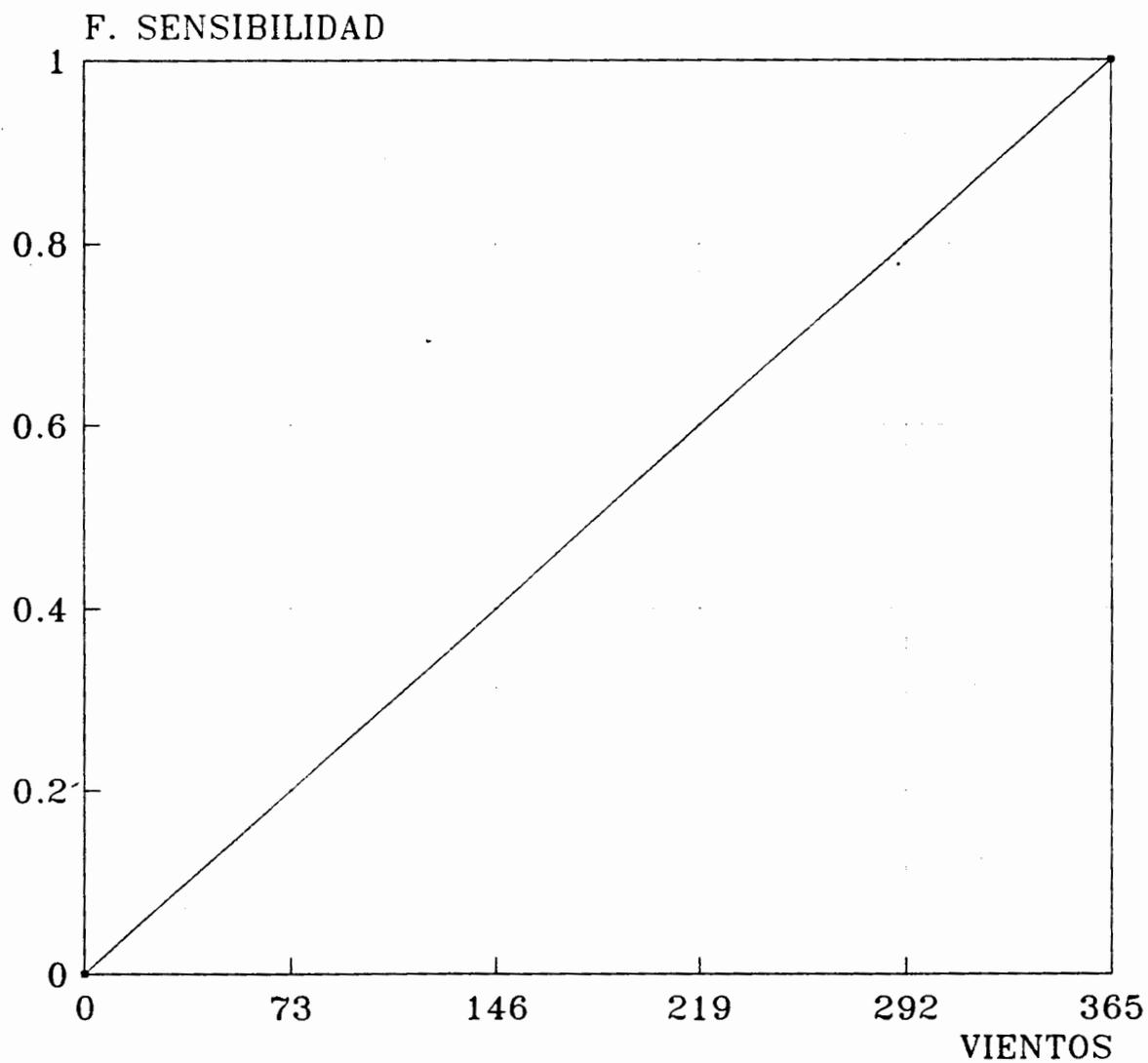
FUNCION DE SENSIBILIDAD DISTANCIA DE AMORTIGUAMIENTO



$$\begin{aligned} \text{---} & f(x) = (1.33 - (x/150)) & 50 < X < 200 \\ & f(x) = 1 & X < 50 \\ & f(x) = 0 & X > 200 \end{aligned}$$

Fig. 5

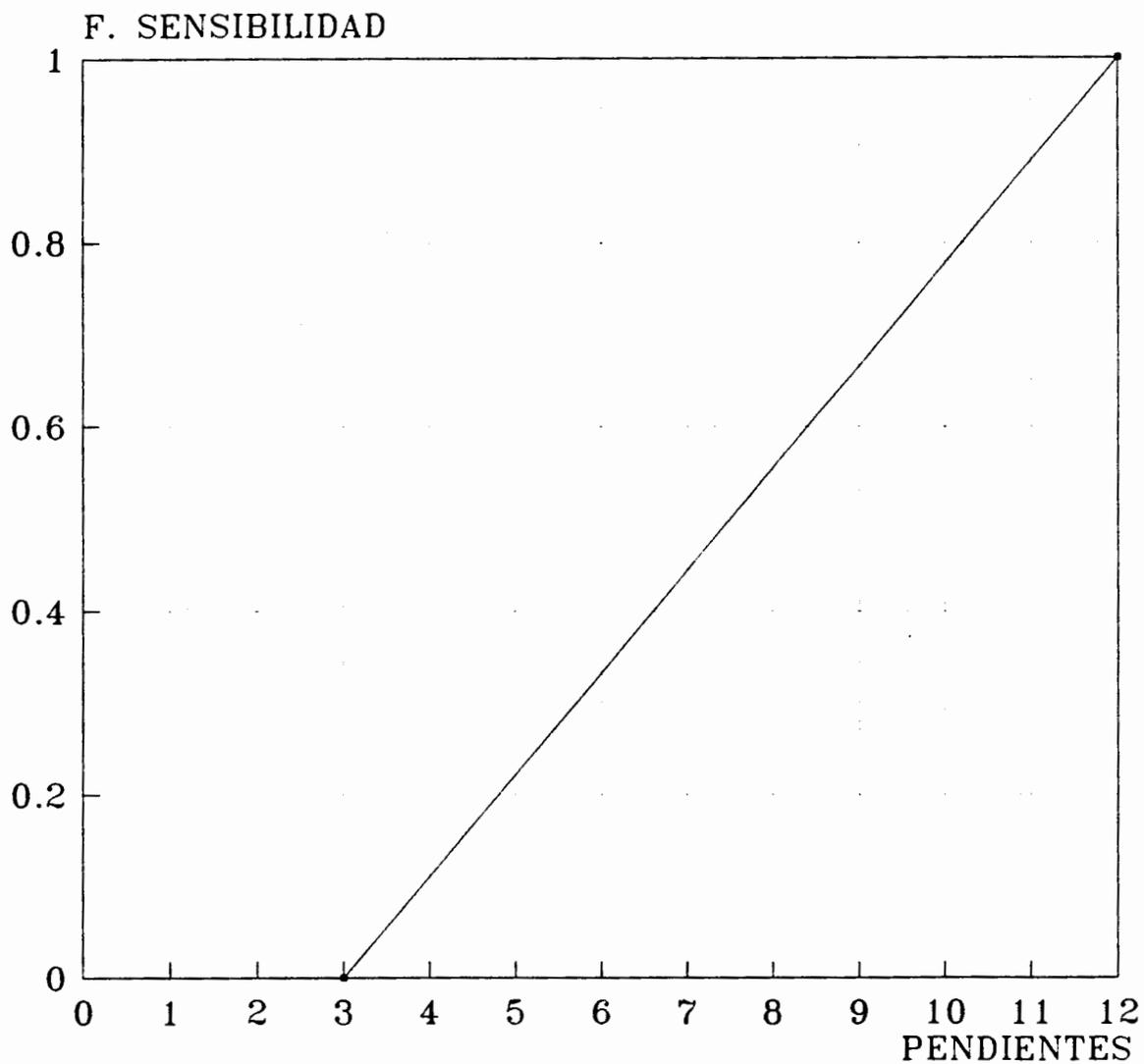
FUNCION DE SENSIBILIDAD VIENTOS



—•— $f(x) = X / 365$ $0 < X < 365$

Fig. 6

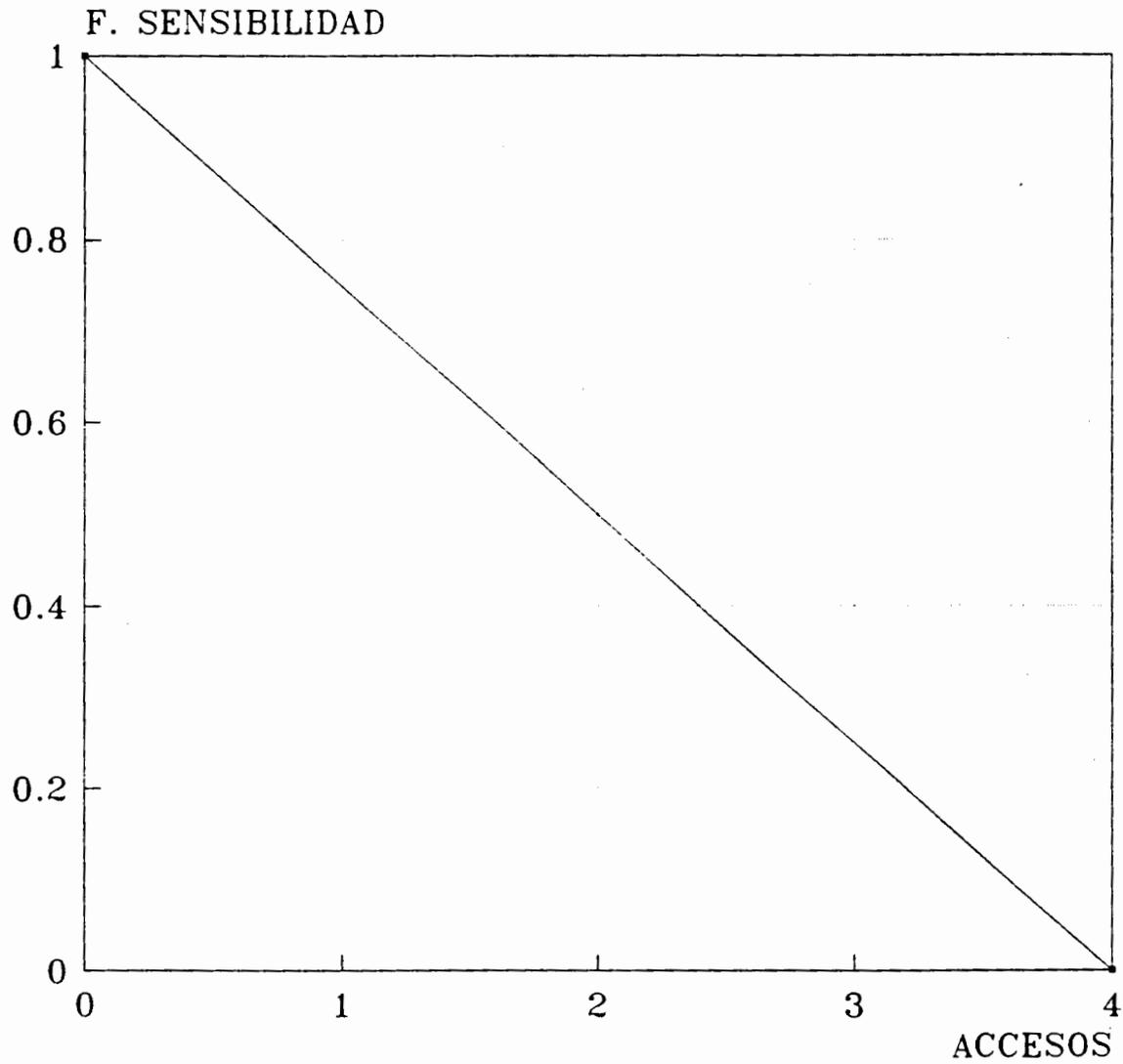
FUNCION DE SENSIBILIDAD PENDIENTES



$$\begin{aligned} \text{---} & f(x) = (x/9 - 0.33) & 3 < X < 12 \\ & f(x) = 1 & X > 12 \\ & f(x) = 0 & X < 3 \end{aligned}$$

Fig. 7

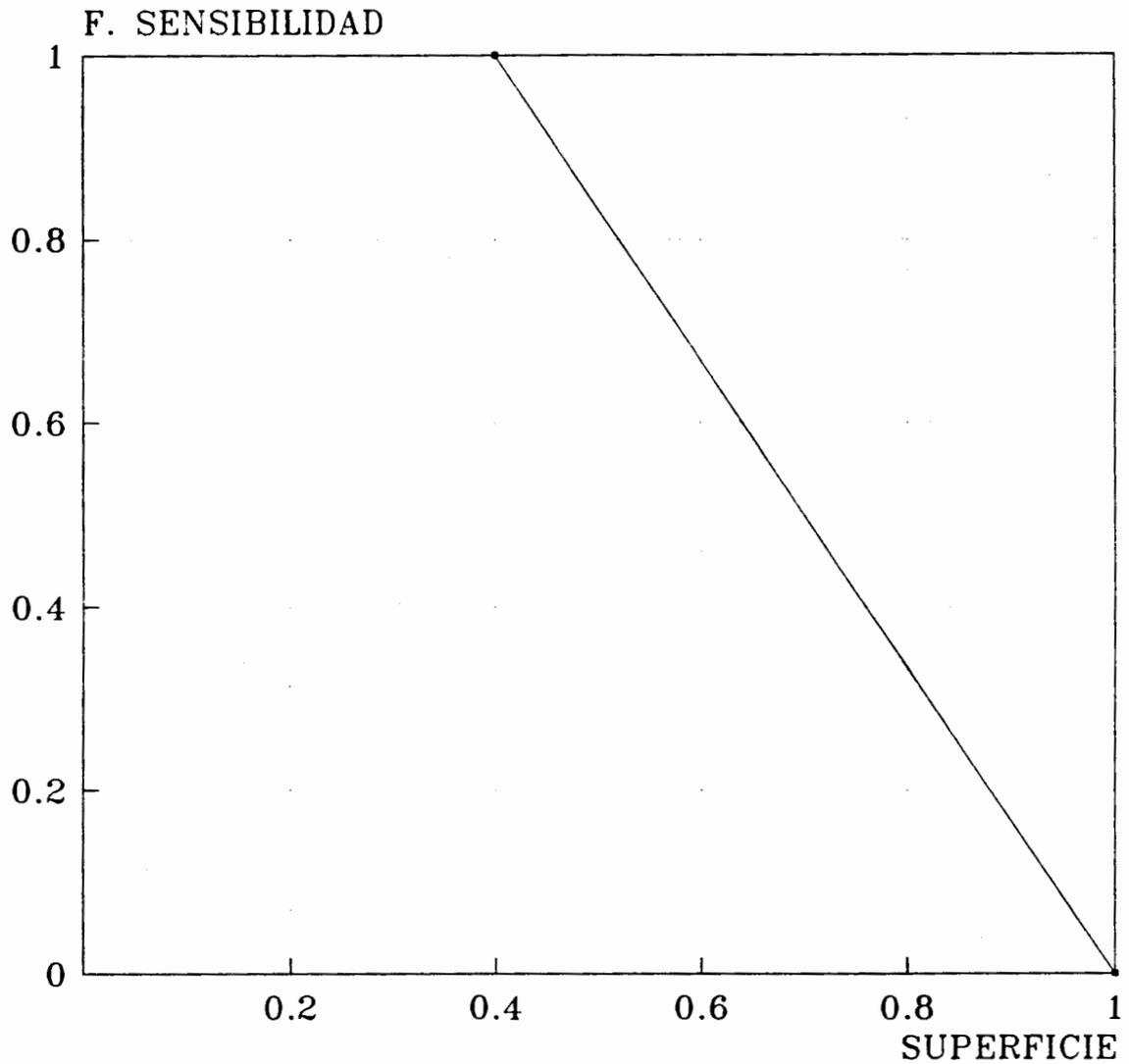
FUNCION DE SENSIBILIDAD ACCESOS



—•— $f(x) = 1 - (x / 4)$ $0 < X < 4$

Fig. 8

FUNCION DE SENSIBILIDAD SUPERFICIE



$$\begin{aligned} \text{---} \bullet & f(x) = [1.66(1-x)] & 0.4 < X < 1.0 \\ & f(x) = 1 & X < 0.4 \\ & f(x) = 0 & X > 1.0 \end{aligned}$$

Fig. 9

- Se toman las cifras reportadas en la Matriz de Pagos, ordenándolas por renglones.

- Se formula un 1er. cuadro inicial de restricciones, una por cada renglón de la Matriz de Pagos. La formulación incluirá que las restricciones sean desigualdades "mayor o igual" comparadas con un cierto valor del juego "V".

- Se agregan variables de holgura a las restricciones, para convertirlas en igualdades.

- Se toma cualquiera de las restricciones del problema, para convertirla en función objetivo y para restarla de las demás restricciones.

Este proceso de transformación, presenta finalmente un problema lineal que puede ser resuelto mediante la aplicación de las técnicas de programación lineal existentes en la actualidad.

Se requiere entonces, hallar aquella solución que optimice la función objetivo formulada en términos de maximizar las estrategias del jugador activo o maximizante, que en este caso es el "HOMBRE", para identificar las acciones que mayormente impactarán al entorno. Los resultados que se obtendrán después de resolver el problema lineal, serán los siguientes:

- a) Valor de la función objetivo, que será el valor del juego

planteado.

- b) Valores asignados a las variables consideradas que optimizan la función objetivo y cuya suma será igual a la unidad, con lo cual se intuye que los valores hallados, establecen la importancia que dichas variables tienen entre si.

De lo anterior, se desprende el hecho de que se obtendrá un valor del juego y una combinación de variables, por cada sitio considerado. El sitio más adecuado será aquel que presente un menor valor del juego, ya que entre mayor sea el valor del juego o de la función objetivo, mayor será el impacto que sobre el entorno urbano generará la operación de la "ETRS".

Aunado a lo anterior, esta metodología permite no solamente elegir el mejor sitio con base en el menor daño ambiental esperado durante la operación de la "ETRS", sino también identificar con las variables primales, los impactantes que pueden propiciar una situación ambiental crítica y su valor de importancia, así como los elementos del entorno que se pueden ver afectados y su valor de afectación, a través de las variables duales.

BIBLIOGRAFIA

- "ESTRATEGIAS Y PROGRAMACION"; F.J.Guillen, Dirección de Estudios Hacendarios, S.H.C.P.; México., 1964.
- "IMPACTO AMBIENTAL EN LA SELECCION DE SITIOS PARA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES"; Sánchez Gómez J., López Sánchez F. y López Garrido P. A., Congreso de la AMCCAA, Tlaxcala, Tlax., Agosto, 1985.
- "PROTOCOLO DE INVESTIGACION SOBRE LOS IMPACTANTES DE INSTALACIONES DE TRANSFERENCIA DE BASURAS O RELLENOS SANITARIOS SOBRE LA SALUD DE LA POBLACION"; Zepeda Porras Fco., OPS/OMS, 1991.
- "EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LOS PROYECTOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"; Sánchez Gómez J.; Trabajo de Grado / UNAM, México 1979.
- "INTRODUCCION A LA PROGRAMACION LINEAL Y A LA TEORIA DE LOS JUEGOS"; S. Vajda, EUDEBA, Argentina 1990.
- "EVALUACION Y SELECCION DE SITIOS PARA LA UBICACION DE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA EN ZONAS URBANAS, CON BASE EN EL IMPACTO AL ENTORNO URBANO QUE PUEDEN GENERAR"; Sánchez Gómez J.; 1er. Congreso Nacional AMCRESPAC; México, D.F., Octubre 1991.

GENERALIDADES SOBRE ESTACIONES
DE TRANSFERENCIA

4. GENERALIDADES SOBRE ESTACIONES DE TRANSFERENCIA.

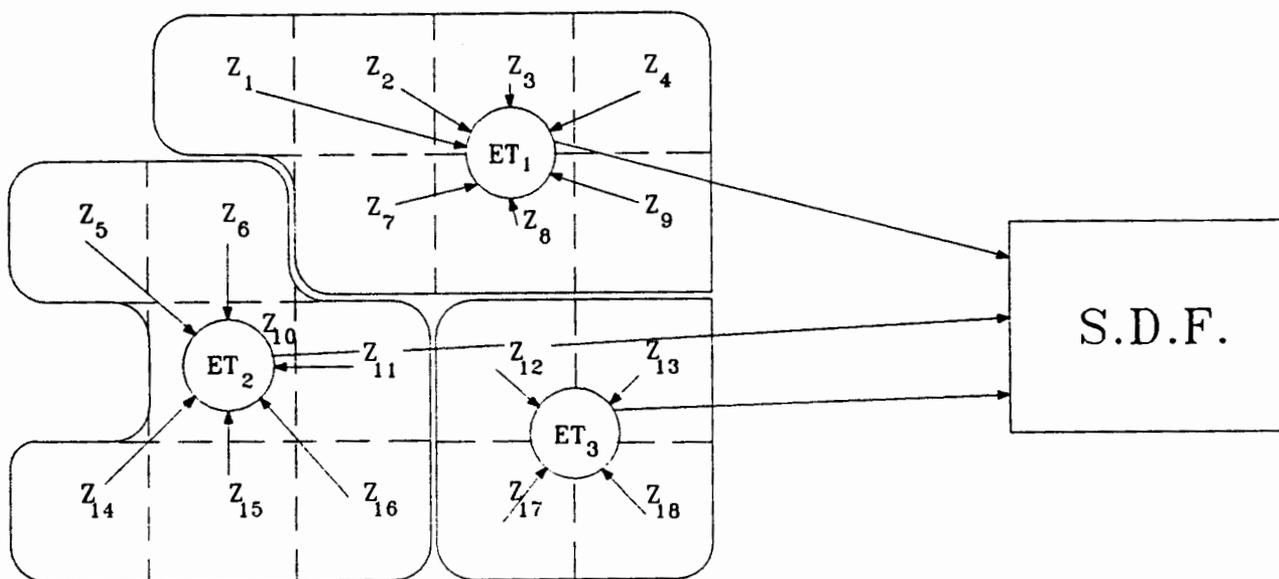
Una estación de transferencia, es el conjunto de equipos e instalaciones donde se hace el traslado de basura, de un vehículo recolector a otro vehículo con mucha mayor capacidad de carga, el cual transportará finalmente dichos residuos hasta su destino final.

El objetivo básico de las instalaciones de transferencia, es incrementar la eficiencia global del servicio de recolección de residuos sólidos, a través de la economía que se logra tanto al disminuir los costos y tiempos de transporte, como por la disminución del tiempo ocioso de la mano de obra y de los equipos disponibles. En la Figura No. 4.1, se ilustra en forma gráfica la función de una Estación de Transferencia.

En la actualidad, la tendencia de incremento que se ha dado en las grandes conurbaciones y las áreas metropolitanas, en donde los sitios de disposición final están cada vez más alejados de las zonas de generación de residuos sólidos, obliga a utilizar las instalaciones de transferencia para eficientizar los sistemas de recolección de estos residuos.

El ahorro que se logra en el tiempo de transporte al Relleno Sanitario por parte de los vehículos de recolección, no es el único ni el principal elemento a considerar para definir el uso de una determinada estación de transferencia. En realidad los

DESCRIPCION GRAFICA DE LA FUNCION DE UNA
ESTACION DE TRANSFERENCIA



CLAVES

Z: ZONA DE RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS

ET: ESTACION DE TRANSFERENCIA

SDF: SITIO DE DISPOSICION FINAL

Fig. No. 4.1

costos de operación, vienen a ser el principal concepto a considerar para optar por la construcción de dicha obra. El ahorro que se logra con una estación de transferencia sobre los costos debidos al transporte de los residuos sólidos, se debe principalmente a las dos causas siguientes:

- El tiempo improductivo de transporte de los vehículos de recolección, se reduce debido a que ya no tienen que transitar hasta el sitio de disposición final; con lo cual se logra un ahorro en los costos unitarios de operación.

- Los costos de mantenimiento de la flotilla de recolección llegan a reducirse, puesto que las unidades que la conforman, ya no tienen que transitar más hasta el sitio de disposición final, lugar en donde por lo general sufren daño las suspensiones, muelles, ejes y llantas, sobre todo en época de lluvias.

Además de las ventajas anteriores, una estación de transferencia ofrece las siguientes:

- Utilización más racional de la flota de recolección por la existencia de básculas en las estaciones de transferencia, ya que el registro de peso de los vehículos que conforman la flota, permite llevar a cabo una cobertura más homogénea y balanceada de las rutas de recolección, además de evitar sobrecargas en los vehículos, que pueden dañar tanto a los propios

equipos, como al pavimento; así como detectar una probable subutilización del equipamiento.

- Un mayor control en la operación del recojo de la basura, ya que la construcción de una estación de transferencia, facilita el trabajo de los inspectores, puesto que es más fácil ubicar en las rutas a los vehículos que se encuentren en operación.
- Una mayor regularidad en el servicio de recolección de basura, por el mayor control ejercido sobre las unidades, así como por la disminución de la ocurrencia de desperfectos mecánicos de orden menor (ponchadura de llantas, afinaciones, etc.).

Cualquier estación de transferencia, está constituida por dos subsistemas básicos: el de recolección, que se conforma con todas las unidades vehiculares destinadas al recojo de la basura; y el de la transferencia y transporte, compuesto por las tolvas de descarga y los vehículos de transporte. La unión de tales subsistemas, definen los canales de servicios de la estación.

JUSTIFICACION ECONOMICA DE LA
ESTACION DE TRANSFERENCIA

5. JUSTIFICACION ECONOMICA DE LA ESTACION DE TRANSFERENCIA.

Para la evaluación técnico-económica de la estación de transferencia que atenderá a la "Z.M.S.S.", es necesario determinar los siguientes costos:

- Costo de operación del equipo de recolección que incluye los cargos fijos de consumo y de personal.
- Costo de operación del equipo de transporte y transferencia, que considere los cargos fijos, de consumo y de personal.
- Costos fijos de la estación de transferencia, que sólo tomen en cuenta, los costos de inversión de la instalación.
- Costos variables de la estación de transferencia, que incluyen exclusivamente al personal que la opera.

5.1. INFORMACION EMPLEADA PARA EL CALCULO DE LOS COSTOS NECESARIOS PARA EL ANALISIS.

Para el cálculo de los costos antes mencionados, se considerará la siguiente información:

- Costos de los Equipos de Recolección y Transferencia, (a):

Equipo de Recolección

Chasis	\$ U.S.	47,600.00
Carrocería	\$ U.S.	30,200.00
Costo Total	\$ U.S.	77,800.00

Equipo de Transporte y Transferencia

Chasis	\$ U.S.	110,200.00
Carrocería	\$ U.S.	74,200.00
Costo Total	\$ U.S.	184,400.00

- Capacidad de carga de los equipos de recolección y transferencia:

- Equipo de recolección 5.5 Ton. (b)
- Equipo de transporte y transferencia 20 Ton. (c)

- Sueldos del personal operario de los equipos de recolección y transporte, (d):

- Motorista \$ U.S./día 5.90
- Peón \$ U.S./día 5.15

- Costos de combustibles, (d):

- Gasolina \$ U.S./galón 1.20
- Diesel \$ U.S./galón 0.80

- Personal que compone las flotillas de los equipos de recolección y transferencia, (d):

- Equipo de recolección
 - 1 Motorista
 - 4 Peones

- Equipo de transferencia y transporte
 - 1 Motorista
 - 1 Peón

- Otra : Información complementaria considerada (e):
 - Vida económica de los equipos 7 años
 - Valor residual de los equipos 10 % costo de adquisición.
 - Horas de trabajo anuales de los equipos 2,400 horas
 - Tasa de interés anual 12%
 - Prima de seguros 2%
 - Coeficiente de mantenimiento para los equipos de recolección y - transferencia 60% del cargo por adquisición
 - Horas de operación de neumáticos 2,400 horas
 - Horas de operación de batería 3,000 horas
 - Coeficiente de prestaciones legales para el personal 1.00

5.2. REFERENCIAS DE LA INFORMACION ANTES LISTADA.

- a). Precios actuales (Sept. 1992) para la Ciudad de México.
- b). Valor promedio reportado por la Gerencia de Saneamiento Ambiental de la H. Alcaldía Municipal de San Salvador, para

vehículos compactadores de carga trasera de 12 metros cúbicos de capacidad.

- c). Valor promedio registrado en la ciudad de México para unidades de transferencia y transporte de 50 y 60 m³ de capacidad.
- d). Información reportada por la Gerencia de Saneamiento Ambiental de la H. Alcaldía Municipal de San Salvador.
- e). Valores promedio típicos para la Ciudad de México.

Una vez definida la información básica para este análisis, a continuación se presenta el cálculo de los costos mencionados al inicio de este capítulo.

5.3. CALCULO DE LOS COSTOS DE OPERACION DE LOS EQUIPOS DE RECOLECCION Y TRANSFERENCIA.

Este cálculo, se realizó empleando un programa de computadora cuyas hojas de resultados se presentan en el anexo No. 4 de este documento. Los resultados obtenidos con dicho programa se reportan a continuación:

• Costo del equipo de transferencia	\$ U.S./hr	42.30
• Costo del equipo de recolección	\$ U.S./hr	21.60

Expresando estos costos en \$ U.S./Ton-min, tenemos:

$$42.30/60 * 20 = \$ \text{ U.S./Ton-min} \quad 0.0353$$

$$21.60/60 * 5.5 = \$ \text{ U.S./Ton-min} \quad 0.0654$$

5.4. CALCULO DEL COSTO FIJO DE LA ESTACION DE TRANSFERENCIA.

Para este cálculo, se consideraron los costos de construcción estimados para una estación de transferencia, los cuales se reportan a continuación y se detallan en el capítulo No. 11 de este documento.

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	\$ U.S. P. UNITARIO	\$ U.S. IMPORTE
CASSETAS DE CONTROL	10.00	M ²	142.00	1,420.00
CASETA DE PESAJE	30.00	M ²	77.00	2,310.00
TANQUE ELEVADO AGUA POTABLE (10m ³)	14.00	M ²	290.00	4,060.00
TOLVA DE LAMINA Y PERFILES ESTRU.	3	PZA	1,110.00	3,330.00
DRENAJE PLUVIAL	340.00	M ²	13.00	4,420.00
ALUMBRADO EXTERIOR	25	PZA	1,238.00	30,950.00
INST. ELECTRICA	INSTALACION GENERAL	--	--	355.00
VIALIDADES DE ACCESO	4,000	M ²	9.00	36,000.00
CIMENTACION	800	M ²	150.00	120,000.00
ESTRUCTURA EDIFICIO ADMINISTRATIVO	30	M ²	3,200.00	96,000.00
ESTRUCTURA RAMPAS	600	M ²	135.00	81,000.00
ESTRUCTURA TRANSFERENCIA	1,800	M ²	320.00	576,000.00
ACABADOS Y OTROS				
CONCEPTOS GENERALES	LOTE GRAL.	--	--	35,000.00
S U M A	--	--	--	990,845.00

Cabe aclarar que estos costos son actualmente válidos en la Ciudad de México, para una estación de transferencia de residuos sólidos municipales de descarga directa, sin techumbre, sin equipos de purificación de aire, y diseñada para ser construida con materiales de construcción austeros y sin sofisticaciones.

De acuerdo con las cifras anteriores, el costo estimado de la estación de transferencia es de: \$ U.S. 990,845.00.

Para calcular los cargos fijos por inversión y depreciación de la estación de transferencia, para el caso anterior, se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- Capacidad de transbordo = 800 Ton/Día (100% de la basura generada actualmente en la "Z.M.S.S").
- Turno de operación de la estación..... = 10 horas
- Tasa de interés mensual = 1%
- Valor de rescate = 0
- Vida útil = 20 años
- Periodo hábil de trabajo..... = 52 semanas al año, 27 días al mes y 6 días por semana.

De acuerdo con lo anterior, los cargos fijos serán:

• Cargo por Inversión

$$Ci = \frac{\text{Costo estación} * \text{tasa interés al mes}}{\text{Días de operación al mes}}$$

$$Ci = \frac{990,845 * 0.01}{27} = \text{U.S./día } 366.98$$

• Cargo por Depreciación

$$Cd = \frac{\text{Costo estación}}{\text{vida útil en días}} = \frac{990,845}{20*12*27} = 152.90 \text{ \$ U.S./día}$$

Por tanto, el costo fijo debido a la estación de transferencia, será:

$$Cf = Ci + Cd = 366.93 + 152.90 = 419.83 \text{ \$ U.S./día}$$

Expresando este costo en términos del tonelaje de basura que podrá manejar la estación, se tiene:

$$Cf = (519.89) / (800) = 0.65 \text{ \$ U.S./ton.}$$

5.5. CALCULO DEL COSTO VARIABLE DE LA ESTACION DE TRANSFERENCIA.

Este costo se refiere principalmente al personal que operará la instalación de interés, amén de algunos otros gastos de tipo administrativo. Con base en la experiencia, se estima que el costo diario por tal concepto, es de alrededor de: 400 \$ U.S./día.

Expresando este costo, en función del tonelaje de basura a manejar en la estación, se tiene:

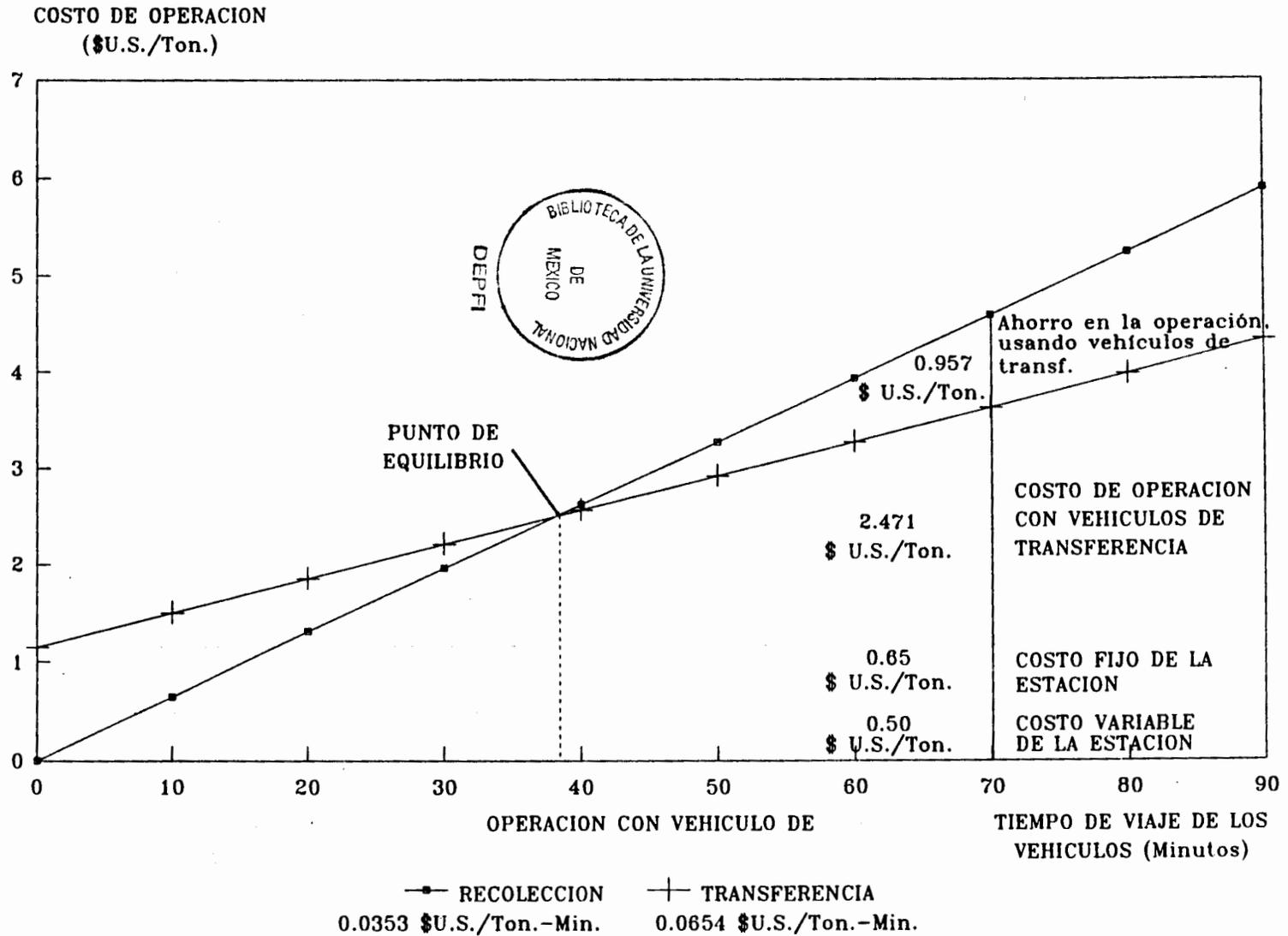
$$Cu = (400) / (800) = 0.50 \text{ \$ U.S./Ton.}$$

Los costos agrupados antes calculados se reportan a continuación:

- Costo de operación del equipo de recolección 0.0654 \$ U.S./Ton.-min.
- Costo de operación del equipo de transferencia 0.0353 \$ U.S./Ton.-min.
- Costo de operación fijo de la estación de transferencia 0.65 \$ U.S./Ton.
- Costo de operación variable de la estación de transferencia 0.50 \$ U.S./Ton.

Con estos valores se construyó el gráfico que se presenta en la Fig. No. 5.1

FIG. No. 5.1: GRAFICO PARA DETERMINAR LA NECESIDAD DE CONTAR CON UNA ESTACION DE TRANSFERENCIA



Del gráfico No. 5.1, es posible concluir lo siguiente:

- El punto de equilibrio del gráfico, el cual establece el tiempo de transporte a partir del cual debe considerarse la posibilidad de contar con una estación de transferencia, se ubicó sobre los 37 minutos, tiempo máximo aceptable para que un vehículo recolector realice un viaje de "ida-vuelta" hasta el Relleno Sanitario. Por otro lado, según estimaciones promedio registradas por la Gerencia de Saneamiento Ambiental de la H. Alcaldía Municipal de San Salvador; un vehículo recolector emplea entre 1 Hr y 1 Hr 20 minutos dependiendo de la ruta de recolección que tenga asignada, para realizar un viaje completo de "ida-vuelta" hasta el Relleno Sanitario, esto sin considerar el tiempo que pierde en dicho sitio para descargar los residuos sólidos. Considerando lo anterior, queda plenamente justificada la necesidad de contar con una estación de transferencia de residuos sólidos municipales, para la "Z.M.S.S."

Ahora bien, tomando un valor promedio de 1 Hr y 10 minutos para un viaje de "ida-vuelta" de cualquier vehículo recolector; es importante mencionar que según el gráfico de la Fig. No. 5.1, sin la estación de transferencia, la operación con vehículos de recolección está costando actualmente alrededor de 4.58 \$ U.S./Ton.; valor que se vería reducido en 0.96 \$ U.S./Ton. mediante el empleo de la multicitada estación, ya que su operación costaría 3.62 \$ U.S./Ton.; lo cual significa un ahorro de 545 \$ U.S. por día para la situación actual que implica un manejo de 568 Ton/día.

Este ahorro puede llegar a 864 \$ U.S./día, si la cobertura en el manejo de los residuos sólidos alcanza la cifra de 800 Ton/día. Para estas condiciones, los costos de operación con el sistema de transferencia estarían compuestos de la siguiente manera:

- 0.50 \$ U.S./Ton. - Costo variable por la operación de la -- estación
- 0.65 \$ U.S./Ton. - Costo fijo debido a la inversión y depreciación de la instalación
- 2.47 \$ U.S./Ton. - Costo de operación del equipo de transferencia y transporte.

3.62 \$ U.S./Ton.

Finalmente, se debe mencionar que no solamente debe dársele importancia a la reducción en costo y tiempo que se puede lograr con una estación de transferencia, ya que este tipo de instalaciones cuando son bien planeadas y operadas generan una serie de bondades complementarias, de entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

- El tiempo no-productivo de los vehículos de recolección se reduce, ya que estos vehículos no transitan de ida y vuelta al sitio de disposición final.
- Cualquier reducción en el kilometraje recorrido por los vehículos de recolección, origina un ahorro en los costos de operación.

C O N T E N I D O

- PLANEACION Y SELECCION DEL METODO DE OPERACION.
- SISTEMAS DE CONTROL.
- GENERACION DE LIXIVIADOS Y EVALUACION Y ANALISIS DE LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO DE LA ZONA.
- GENERACION DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



CURSO SOBRE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS ACTUALIZADOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS.

TEMA: OPERACION Y CONTROL DE RELLENOS SANITARIOS

PROFESOR: ING. FELIPE LOPEZ SANCHEZ

Junio 3, 4 y 5, 1993

- El costo de mantenimiento que se aplique a los vehículos de recolección, puede reducirse cuando estos vehículos no transiten más al sitio de disposición final, ya que muchos de los daños a suspensiones, ejes y llantas ocurren en los sitios de disposición final.

- El periodo de vida útil de los vehículos se incrementa, puesto que la flotilla de recolección estará transitando por calles y caminos por lo regular en buenas condiciones, amén de efectuar un trabajo más ligero al no transitar con carga hasta el sitio de disposición final.

PLANEACION Y SELECCION DEL METODO DE OPERACION.

Un relleno sanitario puede ser ejecutado en casi cualquier tipo de terreno, pero la selección del mismo debe hacerse considerando ciertas características topográficas y geológicas del predio donde se pretende implantar esta obra de ingeniería, así como la posibilidad de contar con material suficiente para la cobertura diaria de los residuos sólidos.

De esta manera, los terrenos ubicados en zonas planas o ligeramente onduladas, resultan ser muy atractivos para el establecimiento de un relleno sanitario; estando limitada su posibilidad de uso, cuando el nivel freático está muy próximo, o bien por la existencia de corrientes superficiales y/o la falta de material de cubierta. Por otro lado, las depresiones naturales o generadas por el ser humano como pueden ser las minas abandonadas y los bancos de material agotados, son recomendables para la implantación de un relleno sanitario, más aún si están relativamente cerca de la localidad por servir, ya que tales sitios pueden ser incorporados al equipamiento urbano de dicha localidad, como una zona recreacional o con fines deportivos.

El relleno sanitario, consiste en esparcir y acomodar los residuos sólidos en capas no mayores de 40 cms., para después compactarlos con equipos mecánicos sobre el talud inclinado de la celda, y finalmente cubrirlos al término de las actividades diarias con una capa de tierra compactada de 15 a 30 cms. de

espesor, dependiendo de las características del material. Esta forma de trabajo, se ajustará a las condiciones específicas que presente cada lugar.

De acuerdo con lo anterior, un relleno sanitario será un conjunto de celdas conteniendo los residuos sólidos confinados, celdas que podran ser construidas en depresiones naturales o artificiales, en terrenos planos o semi-ondulados con o sin previo excavación, o bien en cualquier otro tipo de terreno.

Considerando lo antes descrito, se podrán tener las siguientes variantes en la aplicación del método del relleno sanitario.

a). Método de Area

En aquellas zonas donde no sea posible o no se requiera la excavación de zanjas para la disposición de los residuos sólidos, estos podran ser acomodados, esparcidos y compactados sobre el terreno natural.

Cuando haya existencia de ciertas ondulaciones y depresiones en el terreno, deberán ser utilizadas para sobre ellas realizar la compactación de tales residuos, cuando se esten conformando las primeras celdas de una determianda capa constructiva.

b). Método de Trinchera

En aquellos sitios donde exista la factibilidad técnica y económica de realizar excavaciones en el terreno natural, se podran construir zanjas de sección trapezoidal, cuyas dimensiones dependerán básicamente de las características del terreno en cuestión. El material producto de la excavación se empleará para la cobertura de los residuos. Los taludes de las zanjas, deberán conformarse con una inclinación tal, que no haya problemas de deslizamientos que pongan en peligro la estabilidad de dichos taludes. La operación del método podrá efectuarse de dos maneras:

- Depositando la basura en el frente de trabajo, desde el borde superior de la zanja, para después compactarla con el equipo mecánico sobre el talud inclinado de dicho frente de trabajo, efectuando movimientos de avance y retroceso entre la parte inferior y superior del mismo talud.

- Se construye una rampa de acceso a la parte inferior de la zanja, que posibilite la entrada y salida de los vehículos de recolección a la misma, depositando los residuos sólidos al pie del talud inclinado del frente de trabajo, los cuales serán compactados con el equipo mecánico, empleando la misma técnica de operación mencionada en el párrafo anterior.

miento y ejecución de maniobras del equipo mecánico de compactación, así como de los equipos de recolección. Esta dimensión estará en función de las siguientes recomendaciones.

- El ancho de la celda deberá definirse, tomando en consideración el número de vehículos recolectores que ingresarán al relleno sanitario en la hora pico.
- El frente de trabajo, deberá ser de fácil acceso para las unidades de recolección.
- La dimensión del ancho de la celda, deberá ser tal que tanto los equipos de recolección como los equipos mecánicos de compactación del relleno, puedan operar libre y ordenadamente.
- El ancho mínimo del frente de trabajo previsto para cada máquina, debe ser igual al doble del ancho de la hoja topadora, con el fin de asegurar la fácil maniobra del equipo.
- El ancho máximo del frente de trabajo, deberá ser igual a cuatro veces el ancho de la hoja topadora, a fin de no extenderlo en demasía.

a). Definición de la Celda Diaria de Basura.

a.1. Celda Diaria de Basura Compactada.

Las celdas de basura donde se confinarán los residuos sólidos, tendrán las mismas características constructivas en todos los tipos de rellenos sanitarios. Cada celda de basura, es en esencia un bloque de basura compactada, cubierto con una capa de tierra. Sus dimensiones y volumen varían en cada caso y dependen del área total de relleno, del volumen diario de residuos recibidos, del equipo mecánico empleado y del material de cubierta. Las dimensiones de una celda de basura, deberán regirse por las siguientes especificaciones:

- Altura de la Celda. Podrá variar de 2.00 m. a 5.00 m. incluyendo el espesor de cubierta; recomendándose alturas promedio de 3 mts. para el medio Mexicano, aunque no debe perderse de vista que a mayor altura de la celda, mayor ahorro de material de cobertura.
- Profundidad o Largo de la Celda. Es optativo y dependerá de las necesidades del proyecto y operación de cada sitio, aunque estará limitada por el volumen diario de residuos a disponer.
- Ancho de la Celda o Frente de Trabajo. Estará condicionado por el frente necesario para el buen funciona-

ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL DE DESPLANTE.

El nivel de desplante debe establecerse tomando en consideración los siguientes criterios:

a). Constructivo

b). Protección ambiental

a). El nivel de desplante ideal, desde el punto de vista constructivo, es aquel que produzca un volumen de corte igual al volumen de material de cubierta necesaria. (Si se dispone en el sitio del material de cubierta adecuado).

b). Desde el punto de vista ambiental, el nivel de desplante debe estar definido, por el cálculo de la interfase de suelo necesario para la remoción de la contaminación orgánica expresada en términos de DBO y de la contaminación inorgánica, expresada en términos de concentración catiónica. Es decir, el nivel de desplante debe considerar la existencia de un espesor de suelo hasta el acuífero, que garantice la remoción de la contaminación contenida en los lixiviados.

DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA.

Prácticamente se refiere al diseño del relleno sanitario. En términos generales, el diseño de un relleno sanitario comprenderá los siguientes puntos:

Este mismo método podrá desarrollarse en hondonadas naturales y minas o bancos de préstamo abandonados, solo que en este caso, el material de cubierta se obtendrá de la superficie del sitio, de las paredes del mismo, o bien de algún banco de préstamo lo más cercano posible.

c). Método Combinado

Es una combinación de los métodos antes descritos, aplicándose en aquellas zonas o terrenos donde no pueda llevarse a cabo de manera cabal, ni el método de área ni el de trinchera.

d). Método en Zonas Pantanosas

Estas zonas tienen como característica principal la nula o escasa capacidad de soporte del terreno, por lo que se hace necesario, conformar una buena superficie de sustentación que permita resistir el peso de los equipos mecánicos y de los vehículos recolectores; la cual puede lograrse con materiales de demolición, restos de pavimento o troncos de madera alineados a manera de "balsa". Con la superficie de sustentación perfectamente definida, se depositarán los residuos sobre esta base para luego toparlos hacia abajo, con el fin de formar un declive que permita compactarlos, hasta alcanzar el nivel deseado en el relleno sanitario.

- Talud del Frente de Trabajo.. Podrá variar desde 2:1 hasta 4:1, dependiendo tanto de la altura de la celda y del tipo de residuos por disponer, como del equipo mecánico de compactación y de la destreza y experiencia del operador de la máquina. Conservadoramente, se recomienda un talud de 3:1 para el frente de trabajo.

a.2. Cobertura de la Celda Diaria.

La celda diaria de basura compactada, se deberá cubrir con tierra compactada al final del día. Este recubrimiento, deberá poseer un espesor suficiente para topa totalmente los residuos y corregir las irregularidades de las basuras compactadas, de manera que las superficies terminadas, queden limpias y con las pendientes necesarias para prevenir la erosión y permitir un drenaje controlado de los escurrimientos pluviales superficiales. La cubierta diaria tendrá un espesor mínimo 0.15 m. de material compactado, elevandose a 0.30 m. cuando quede expuesta a los agentes erosivos por tiempos prolongados (un año o más). La cubierta o sello final del relleno tendrá un espesor mínimo de 0.60 m.

a.3. Peso Volumétrico de los Residuos Sólidos Compactados.

El peso volumétrico de los residuos sólidos confinados dentro de la celda diaria, normalmente varía de 650 a

950 Kg/m³ en el medio mexicano, recomendándose para diseño, valores de 750 a 850 Kg/m³; aunque más bien dependerán del peso total de operación del equipo mecánico con que se operará el relleno.

b). Proyección de la Generación de los Residuos Sólidos.

Esta se realizará para todo el horizonte de diseño del relleno sanitario a partir de la proyección de población correspondiente y de la generación per-cápita de residuos sólidos municipales; considerando además, una tasa incremento anual para este último parámetro, el cual varía de 0 a 1.5%. Se deberá presentar el reporte diario, mensual y anual de la proyección de la generación, indicando los valores parciales y acumulados de todo el periodo de diseño, para el caso del reporte anual.

c). Requerimientos Volumétricos del Relleno Sanitario.

Se obtendrán también para todos y cada uno de los años del horizonte de diseño, los volúmenes totales diarios y mensuales, así como los volúmenes anuales totales y mensuales, tanto de los residuos sólidos como del material de cubierta; empleando para ello el peso volumétrico de ambos materiales que se haya considerado para diseño.

d). Cálculo de la Capacidad Volumétrica del Sitio.

Se realizará considerando la configuración topográfica que presente el predio donde se alojará el relleno sanitario, así como los niveles de desplante o de arranque de dicha obra de ingeniería; reportando para cada curva de nivel, la capacidad volumétrica parcial y acumulada del sitio en cuestión.

e). Cálculo de la Vida Util del Sitio.

Este requerimiento quedará satisfecho al cruzar y comparar los resultados obtenidos en los incisos "c" y "d", con lo cual se determinará hasta que año del horizonte de diseño, se tendrán cubiertas las demandas para la disposición de la basura.

f). Calendarización del Relleno Sanitario.

Se refiere a la programación y definición del No. de celdas diarias por cada capa constructiva del relleno sanitario o por cada etapa operativa del mismo incluyendo el año en que se ocuparán, así como su nivel de desplante y de piso terminado.

SELECCION DEL EQUIPO REQUERIDO PARA LA OPERACION DEL RELLENO SANITARIO.

El equipo requerido en la operación del relleno sanitario deberá tener una vida útil de al menos 5 años y tener capacidad para realizar las diferentes actividades que demanda el relleno sanitario siendo los principales:

- Colocación y esparcido de residuos sólidos en el frente de trabajo.
- Colocación de los residuos sólidos en el talúd inclinado del frente de trabajo.
- Extracción, colocación, esparcido y compactación del material de cubierta de las celdas de basura.
- Actividades de acondicionamiento del sitio tales, como:
 - Auxilio en la conformación de caminos temporales.
 - Ajuste de taludes.
 - Excavación de material tipo I.
 - Movimiento de material aflojado y/o excavado, a distancias menores de 150 m.

El equipo requerido para la operación de un relleno sanitario, dependerá del tipo y cantidad de basura por manejar diariamente, así como de las características topográficas del predio donde se

implantaré dicho relleno, sin olvidar el material de cubierta a emplear y el método de operación que se pretenda utilizar. Además, es necesario considerar la disponibilidad del equipo, su costo la facilidad de conseguir repuestos, refacciones y servicios de atención mecánica para su reparación y mantenimiento.

Las distancias por recorrer dentro del relleno sanitario por parte de los equipos mecánicos de compactación, varían según se trate de operar con los residuos sólidos o con el material de cubierta. De esta manera, durante el proceso de esparcido, acomodo y compactación de tales residuos, la maquinaria se desplaza a distancias que en muy pocos casos superan los 30 mts., mismas que tienden a crecer en épocas de lluvia o cuando se presenta algún percance extraordinario en el relleno sanitario; no así cuando se requiere mover el material de cubierta, ya que en la mayoría de los casos debe ser trasladado a distancias que fácilmente superan los 30 mts.

Considerando los sistemas de sustentación y tracción de los equipos mecánicos de compactación, estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Con sustentación de Orugas o Carriles.
- Con sustentación de Llantas Neumáticas.
- Con sustentación de Ruedas Compactadoras Metálicas con Dientes.

a). Equipos con Sustentación de Orugas o Carriles.

Pueden usarse sin ningún problema y con relativa facilidad, en todas las tareas del relleno sanitario, así como trabajar continuamente en condiciones variables de tiempo y de difícil tracción.

Estos equipos, no deben usarse para transportar o empujar materiales a distancias mayores de 50 metros para topadoras y de 80 a 100 metros para cargadores frontales.

b). Equipos con Sustentación de Llantas Neumáticas.

Se utilizan preferentemente cuando se requiere un traslado rápido y constante entre diferentes puntos del relleno sanitario, para transportar materiales a distancias mayores de 50 metros.

Estos equipos son los menos recomendables para la operación del relleno sanitario, debido al desgaste y deterioro que sufren los neumáticos al entrar en contacto con la basura. Por lo tanto, no está por demás, para este tipo de trabajos, reforzarlas con mallas de acero.

c). Equipos con Sustentación de Ruedas Compactadoras Metálicas.

Los equipos con este tipo de sistemas de sustentación, se

denominan por lo regular como COMPACTADORES ESPECIALES PARA RELLENOS SANITARIOS. Normalmente sus ruedas son diseñadas para alcanzar elevadas compactaciones en los residuos sólidos, por lo que son rígidas y con dientes adecuados para cumplir con tal función.

Estos equipos, no deben ser usados sobre caminos asfaltados, mejorados o pavimentados, ya que los dientes metálicos de las ruedas, pueden dañar dichas superficies a su paso.

En el siguiente cuadro, se presentan algunas ayudas y recomendaciones de tipo práctico, tendientes a lograr una buena selección del equipo mecánico requerido para la operación de un relleno sanitario.

TIPOS, FUNCIONES Y USOS DE EQUIPOS MAS EMPLEADOS EN RELLENO SANITARIO

	BASURAS		MATERIAL DE COBERTURA			
	COLOCACION	COMPACTACION	EXCAVACION	COLOCACION	COMPACTACION	TRANSPORTE
Tractor de oruga con topadora	E	B	E	E	B	NA
Tractor de oruga con cargador frontal	B	B	E	B	B	B
Tractor de ruedas neumáticas con topadora	E	B	L	B	B	NA
Tractor de ruedas neumáticas con cargador frontal	B	B	L	B	B	E
Tractor con ruedas compactadoras de acero y topadora	E	E	B	B	E	NA
Retroexcavadora sobre orugas	NA	NA	E	L	NA	L

REFERENCIAS : E: Exelente B: Bueno L: Limitado
M: Malo NA: No aplicable

SISTEMAS DE CONTROL

Sistemas de Control de Biogás.

Una parte importante en el diseño de un relleno sanitario es el control del movimiento de los gases producto de la descomposición anaerobia de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos municipales.

Existen dos métodos principales para su control, el primero mediante materiales permeables y el segundo con la utilización de materiales impermeables.

a). Métodos Permeables

El movimiento lateral de los gases puede ser controlado con el uso de materiales que bajo cualquier circunstancia son más permeables que el suelo circunvecino, como son las zanjas rellenas de grava. Preferentemente, las zanjas deben ser un poco más profundas que el relleno para asegurar que con ellas se intercepte todo el flujo de gas lateral. La superficie de las zanjas de grava deben estar libres de vegetación o tierra, ya que estos retienen humedad y dificultan la ventilación. Este método deja de ser práctico por lo costoso para rellenos de considerable profundidad.

El método más recomendable y económico es la instalación de

estructuras cuadradas de 0.60 m. formadas por cuatro varillas de acero, envueltas en malla rellenas de piedra y grava; estas estructuras se profundizan 30 cm. bajo la base del relleno y su crecimiento va paralelo al del relleno sanitario.

Asimismo para los sitios clausurados , se recomienda la instalación de pozos de venteo, extracción y monitoreo de biogás, según se muestran en las figuras anexas. Con la infraestructura anterior es posible el aprovechamiento de este energético.

b). Métodos Impermeables

El movimiento de los gases a través de los suelos pueden ser controlados con el uso de materiales que son más impermeables que los utilizados en la cubierta final.

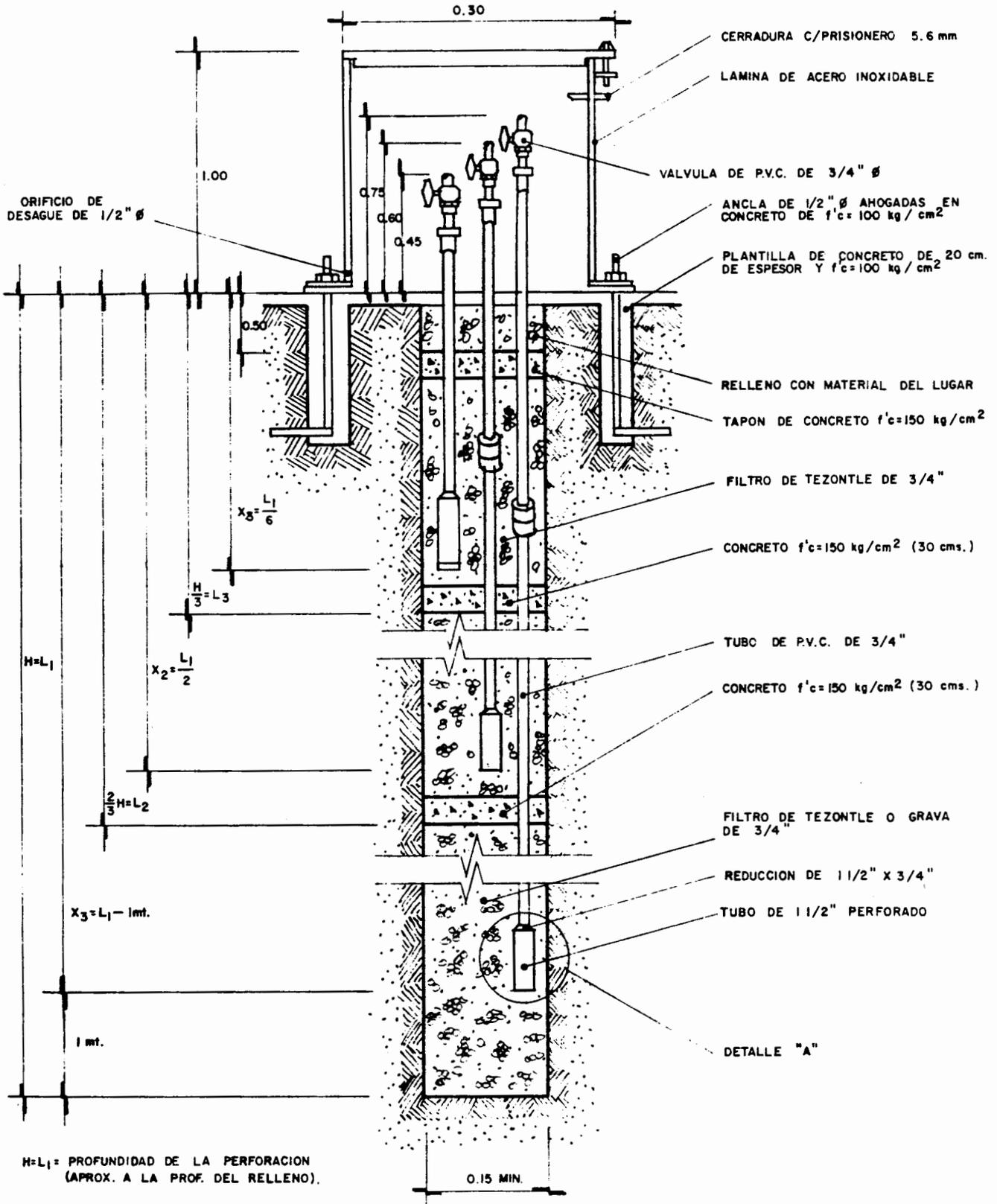
Una alternativa es la utilización de arcilla compactada. Esta arcilla puede ser colocada en la base y laterales del relleno o en zanjas en los laterales de relleno.

En el caso de la colocación de este tipo de barrera en la base de relleno, ésta deberá ser construída a medida que avance el relleno, ya que si es expuesta en forma prolongada al aire, puede secarse y agrietarse.

POZO DE MONITOREO DE BIOGAS

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE: U D D F



$H=L_1$ = PROFUNDIDAD DE LA PERFORACION (APROX. A LA PROF. DEL RELLENO).

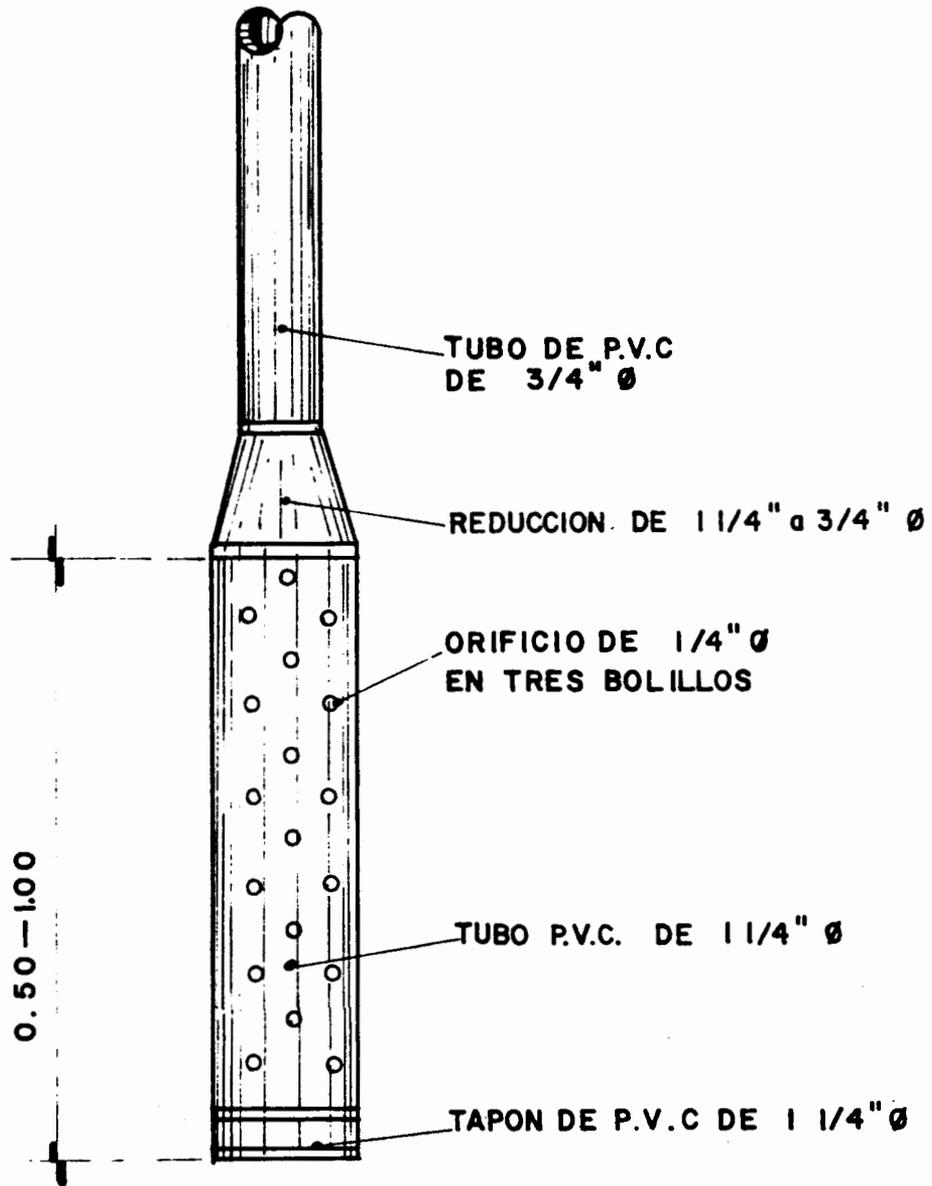
ESC	S / E	ACOT mts.	VERSION	FECHA	ABRIL 93	FIG	1 - 2
-----	-------	-----------	---------	-------	----------	-----	-------

DETALLE DE CONEXION EN TUBOS

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE

U D D F



DETALLE A

ESC.

S/E

ACOT.

mts.

VERSION

FECHA

ABRIL 93

FIG

2 - 2

En la actualidad se ha extendido el uso de material sintético, conocidos como geomembranas elaborados a base de polietileno de alta y baja densidad y PVC, para el control de la migración del biogás.

Sistemas de Control de los Lixiviados.

El agua subterránea es quizá la fuente más valiosa de abastecimiento, por lo que es necesario evitar alterar sus características físicas, químicas y biológicas.

Si el espesor de suelo entre la base del relleno y las aguas subterráneas no logra atenuar el alto poder contaminante del lixiviado, éste contaminará las aguas subterráneas.

Debido a lo anterior es necesario proteger las aguas subterráneas. Su protección se puede efectuar por dos métodos: natural y artificial.

- Método Natural.

Este consiste en aprovechar las propiedades fisico-químicas del suelo donde se ubica el relleno, y evitar la contaminación de las aguas subterráneas por el lixiviado.

- Método Artificial.

Consiste en colocar materiales naturales o artificiales con el

fin de evitar la entrada del lixiviado a las aguas subterráneas o bien minimizar su poder contaminante.

El material natural empleado más perfectamente es la arcilla, mejorada en algunos casos con bentonita. Los materiales artificiales o sintéticos utilizados para la impermeabilización son el hule, polietileno y PVC (Cloruro de Polivinilo). Si se utilizan éstos, se debe supervisar que no existan dobleces y/o perforaciones al colocarlos. Los materiales se asientan sobre una base de arena nivelada inferior y otra superior.

POZOS DE MONITOREO

Para evaluar la calidad del lixiviado y sus posibles efectos en las aguas subterráneas se realiza un monitoreo de ambas. El monitoreo consiste en una serie de programas que incluyen la toma de muestra, su análisis fisicoquímico y biológico en un laboratorio y la evaluación de los resultados obtenidos.

El sistema de monitoreo del lixiviado debe contar por lo menos con 3 pozos de muestreo, que se sitúan uno en la dirección del flujo de las aguas subterráneas antes de llegar al sitio del relleno sanitario, otro aguas abajo del sitio y el último en el sitio del relleno. Los dos primeros pozos profundizarán 2 m. dentro del acuífero y el último en el nivel o base del relleno.

Asimismo es conveniente contar con pozos que indistintamente

puedan servir para el monitoreo en el fondo del relleno así como para la extracción de estos lixiviados, como se muestra en la figura anexa.

Sistemas de Control de los Esguerrimientos Pluviales.

Las obras de drenaje para un relleno sanitario, tendrán como finalidad la captación, conducción y evacuación de los esguerrimientos superficiales que fluyan hacia el sitio ocasionados por las precipitaciones pluviales.

Estas obras pueden clasificarse de acuerdo a sus funciones en obras de drenaje exterior e interior.

Obras de Drenaje Exterior.

Tienen como finalidad impedir que el agua de lluvia proveniente del exterior penetre al sitio de construcción del relleno.

De acuerdo a la topografía del sitio, estas obras pueden ser a base de canales abiertos, canales cerrados (tuberías), cárcamo u equipo de bombeo, diques o muros de contención.

Cuando el sitio se ubique sobre una barranca, cañada o cañon, el drenaje de las áreas aguas arriba del sitio, puede hacerse usando tuberías enterradas que conduzcan las corrientes superficial, a través del relleno para desalojar aguas abajo del sitio.

Para condiciones topográficas más suaves, deberán usarse canales abiertos para el desvío de las corrientes provenientes de las áreas circundantes.

Si el sitio de construcción del relleno es una trinchera o una depresión, puede usarse cárcamos y equipos de bombeo para mantener al sitio libre de inundaciones.

Finalmente cuando el confinamiento se ubique en un terreno plano inundable, deberá estar protegido contra inundaciones mediante diques o muros de contención.

A continuación se presentan los lineamientos de diseño tanto para los canales abiertos como para las tuberías, que serán empleados en el drenaje exterior.

a). Drenajes mediante canales abiertos.

Para el cálculo de canales, las secciones empleadas son la trapecial, la rectangular y la semicircular. Aunque la más económica es la semicircular, la más común por sus ventajas constructivas es la trapecial.

En general los canales exteriores deberán revestirse con mortero cemento-arena en proporción de 1:3 o mediante un zampeado de piedra junteada con mortero cemento-arena en proporción de 1:5 y espesor máximo de 10 cms.

Para el diseño de estos canales se recomienda la sección trapecial, cuyas dimensiones deberán determinarse mediante la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

donde:

V = velocidad de escurrimiento en M./seg

n = coef. de rugosidad

R = radio hidráulico en M.

S = pendiente geométrica o hidráulica del conducto, expresada en forma decimal.

Para el diseño del canal trapecial, se deberá partir de establecimientos de los siguientes parámetros.

Ancho de plantilla : b

Talúd : t

Pendiente : S

Gasto : Q

Con los cuales se calculará el tirante normal "Y" para flujo uniforme de tal manera que el canal pueda conducir el gasto "Q".

Para lo anterior primeramente se calcula el área de la sección transversal del canal trapecial mediante la expresión:

$$A = by + ty^2 \dots\dots\dots (1)$$

En seguida se determina el perímetro mojado con la siguiente relación:

$$P = b + 2 \sqrt{1 + 2y^2} \dots\dots\dots (2)$$

Con lo que puede calcularse el radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (3)$$

De la fórmula de Manning y por continuidad, puede escribirse:

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

De tal manera que empleando gráficas diseñadas exprofeso para este cálculo o mediante aproximaciones sucesivas proponiendo valores para el tirante normal "Y" en las ecuaciones (1), (2) y (3), encontramos el valor buscado para este parámetro que satisfaga la ecuación de Manning (4).

Una vez dimensionado el canal deberá verificarse que la velocidad no sea menor de 0.50 M/s, para evitar azolves, ni

exceda del máximo permisible de acuerdo al material del canal para no causar erosiones.

Las velocidades recomendadas para evitar erosiones, de acuerdo al material que constituye la superficie de escurrimiento del canal son las siguientes:

Tierra arcillosa	:	1.0 - 1.5 M./seg.	
Mampostería	:	1.5 - 2.5	"
Concreto	:	2.5 - 3.5	"
Arena	:	< 0.60	"
Limo	:	< 0.60	"
Grava	:	< 1.50	"

b). Drenajes mediante tuberías.

Se empleará también la fórmula de Manning para calcular la velocidad del agua en las tuberías cuando trabajen llenas y además las relaciones hidráulicas y geométricas de esos conductos al operar parcialmente llenos.

El diámetro teórico lo dará la fórmula:

$$D = \frac{3.21 Q_n^{3/8}}{S^{1/2}}$$

donde:

D = diámetro del tubo en M.

Q = gasto en M³/seg.

n = coeficiente de rugosidad

S = pendiente hidráulica

La selección en cuanto a resistencia y material del tubo estará en función de las presiones, de las características corrosivas o incrustantes del agua y del grado de resistividad del suelo.

El diámetro mínimo que deben tener las tuberías para evitar obstrucciones es de 20 centímetros y el máximo estará regido por la capacidad necesaria del conducto.

Las pendientes de las tuberías deberán seguir hasta donde sea posible, la inclinación del terreno con objeto de tener excavaciones mínimas. En terrenos muy inclinados se construirán pozos de visita o cajas de caída a fin de absorber los desniveles y no sobrepasar las especificaciones relativas a pendientes.

Cuando se disponga del desnivel topográfico necesario y a fin de obtener un más eficiente funcionamiento hidráulico del conducto, se aceptará como pendiente mínima, aquella que escurre con un tirante igual al 25% del diámetro del tubo.

Cuando se cuente con un pobre desnivel topográfico que oca-

sione una pérdida de eficiencia hidráulica, se aceptará una pendiente mínima que haga escurrir el tirante nunca menor a 1.5 cms.

Las pendientes máximas admisibles en las tuberías, serán aquellas que produzcan una velocidad máxima de caudal de 3.00 M./seg.

El rango de velocidades, así como las variaciones de dirección o pendientes en las tuberías cuando sean enterradas, se hará mediante el empleo de pozos de visitas o cajas especiales. La separación máxima entre pozos de visita o cajas especiales en tramos rectos y pendiente uniforme será de 125 M. en tuberías hasta de 76 cms., de diámetro; de 175 M. para diámetros entre 76 y 122 cms., y para conductos con diámetros mayores de 122 cms., puede ser hasta de 250 M.

Obras de Drenaje Interior.

Se diseñarán considerando secciones triangulares con taludes 3:1, para permitir drenar el agua pluvial precipitada sobre el sitio, que podría en un momento dado impedir la correcta operación del relleno.

El dimensionamiento del canal triangular para conducir un caudal "Q" de diseño, partirá de las siguientes relaciones:

$$A = \frac{Q}{V}$$

A = área de la sección del canal

V = velocidad establecida de diseño

Si llamamos "t" al talúd, el tirante "Y" será:

$$Y = \sqrt{\frac{A}{t}}$$

Para la determinación de la pendiente necesaria para hacer escurrir el agua a la velocidad establecida, será necesario el cálculo del radio hidráulico "R", el cual vendrá dado por:

$$R = \frac{ty}{2 \sqrt{t^2 + 1}}$$

Con lo que finalmente determinamos el valor de la pendiente "S", en decimales, mediante la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{nv}{R^{2/3}} \right]^2$$

Estos canales requerirán un recubrimiento con grava de 1" (25.4 mm.) de tamaño máximo al centro para evitar socavaciones y permi-

tir el tráfico de vehículos sobre ellos, pudiendo descargar al sistema exterior de drenajes.

Para todos los casos sean drenajes exteriores o interiores, el gasto de diseño se obtendrá empleando el Método Racional Americano, cuando el área a drenar sea menor o igual a 5.0 hectáreas y utilizando la fórmula de Burkli-Ziegler cuando el área sea mayor a estas 5.0 hectáreas.

La formulación de ambos procedimientos se presenta a continuación:

- Método Racional Americano

$$Q = \frac{CiA}{3600}$$

donde :

Q = gasto máximo en M./seg.

C = coeficiente de escurrimiento

i = intensidad de lluvia M./Hr.

A = área por drenar en M²

- Fórmula de Burkli-Ziegler

$$Q = 27.73 Ci^{1/4} A^{3/4}$$

donde :

Q = gasto máximo en l.p.s.

C = coeficiente de escurrimiento (adimensional)

i = intensidad de lluvia cm./Hr.

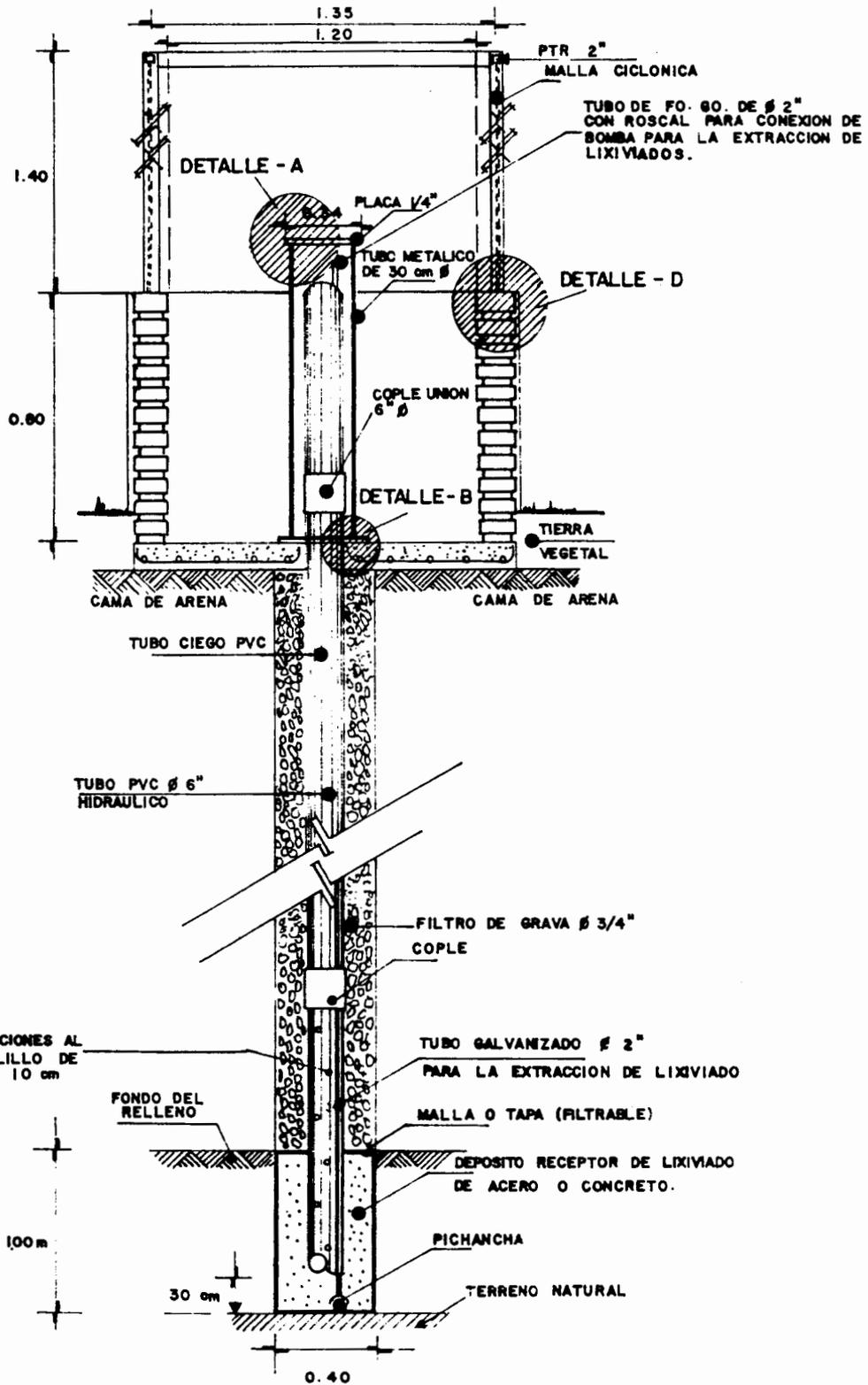
S = pendiente en milésimas

A = área por drenar en hectáreas.

POZO PARA MONITOREO Y EXTRACCION DE LIXIVIADO

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE U D D F



ESC. S / E

ACOT mts

VERSION

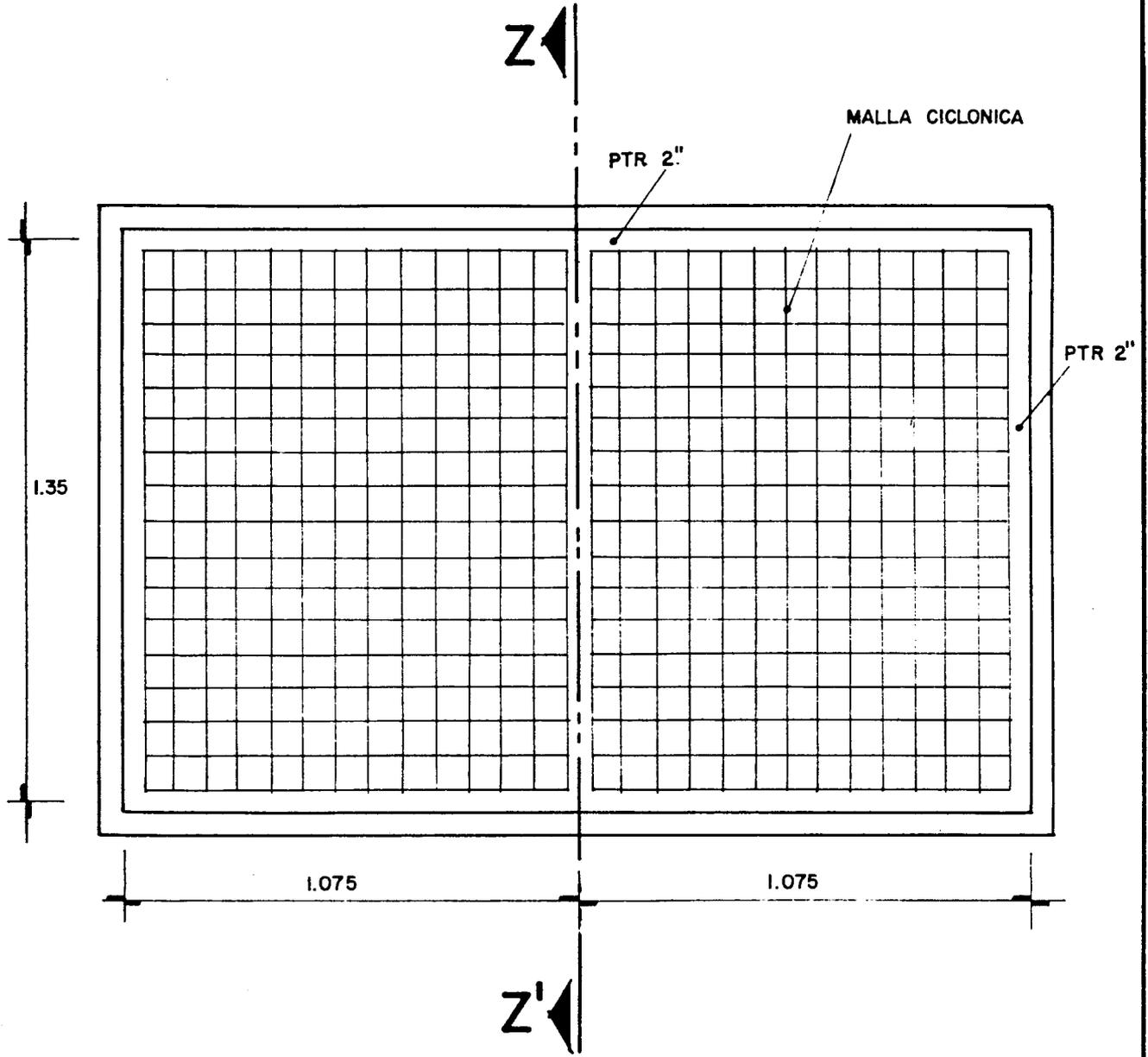
FECHA ABRIL 93

FIG 1-6

PLANTA AZOTEA
POZO DE MONITOREO Y
EXTRACCION DE LIXIVIADOS

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE U D D F



ESC S / E

ACOT mts.

VERSION

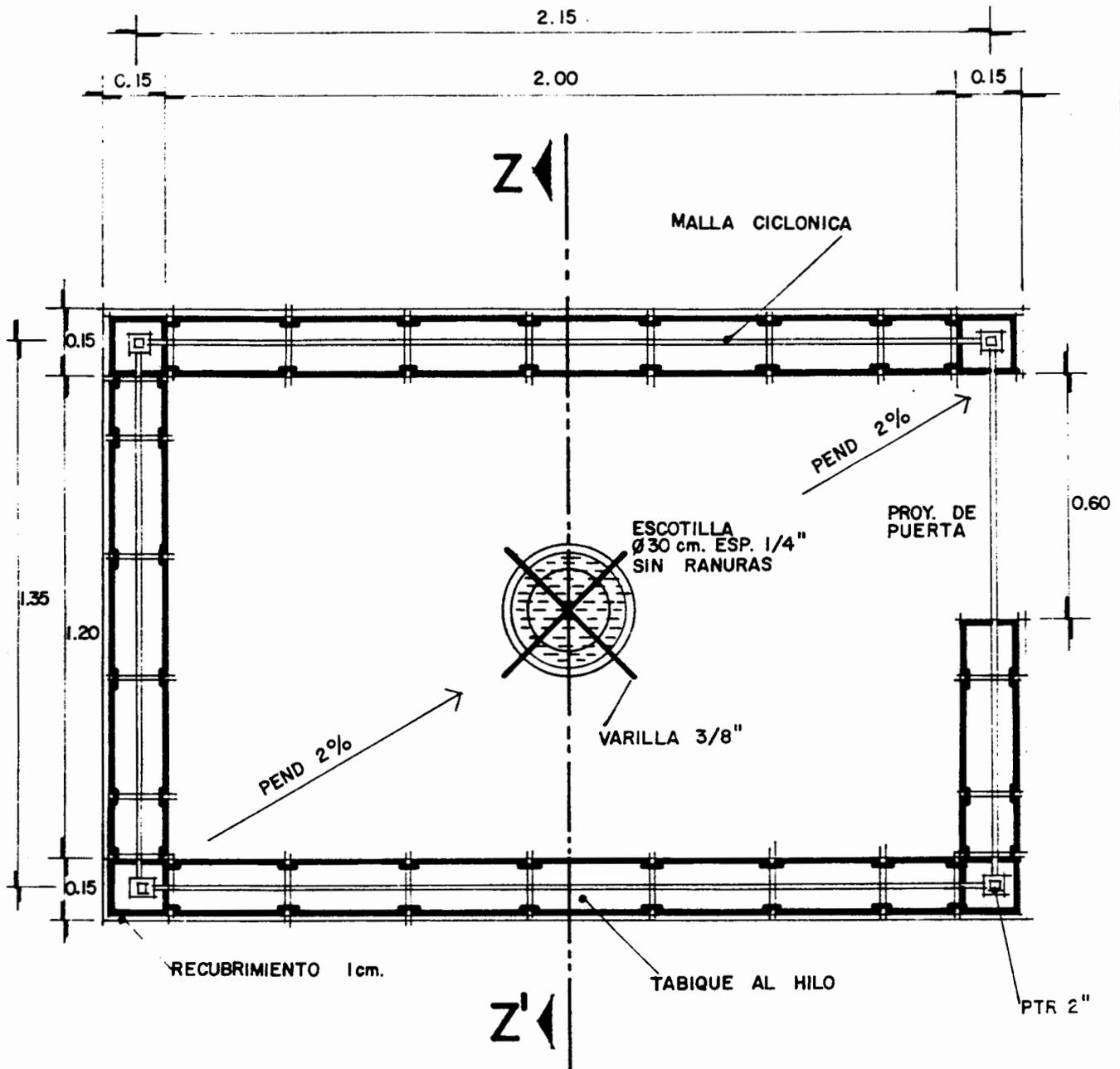
FECHA ABRIL 93

FIG 2 - 6

**PLANTA ARQUITECTONICA
POZO DE MONITOREO
EXTRACCION DE LIXIVIADOS**

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE U D D F



ESC S / E

ACOT mts.

VERSION

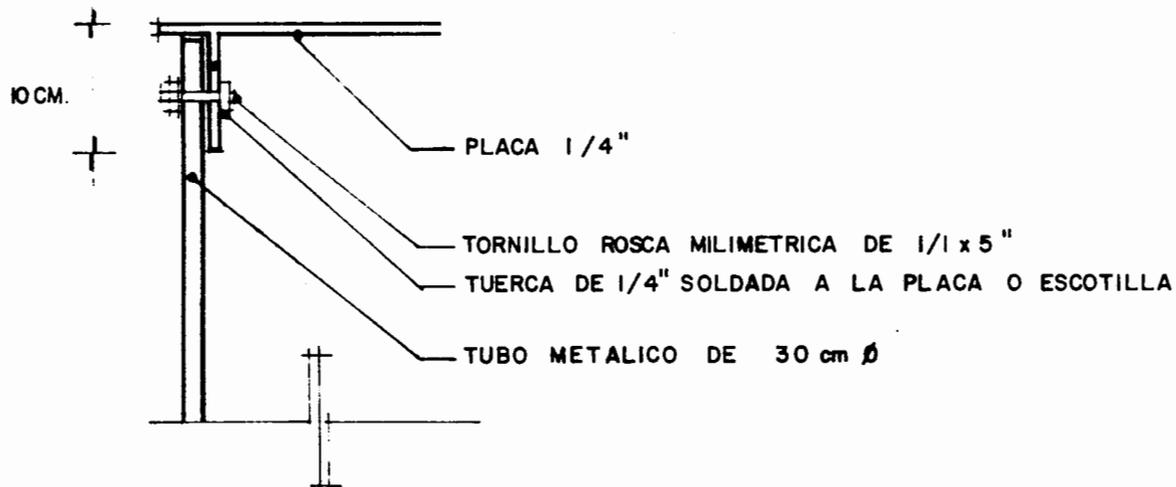
FECHA ABRIL 93

FIG 3 - 6

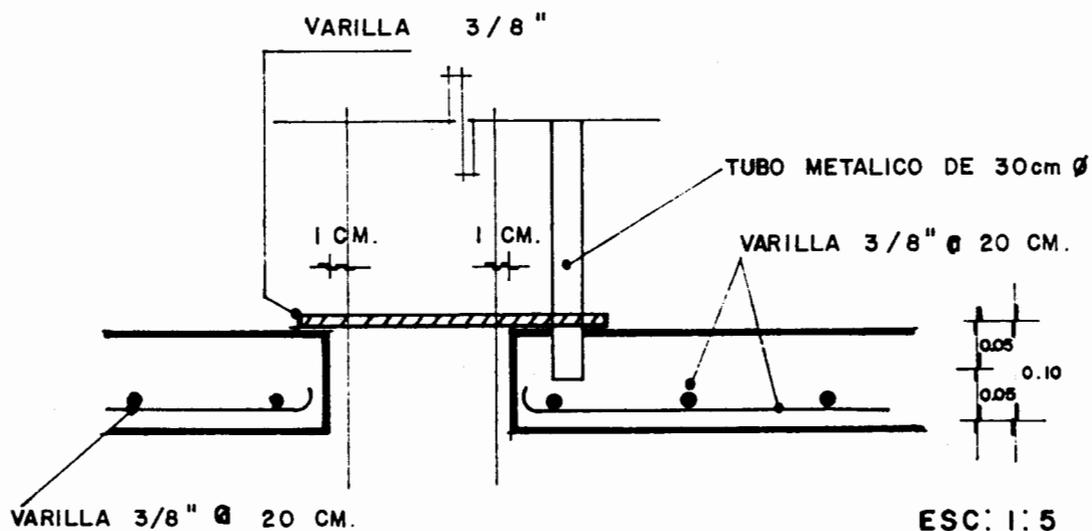
DETALLES POZO DE MONITOREO Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE U D D F



DETALLE - A



DETALLE - B

ESC S / E

ACOT mts

VERSION

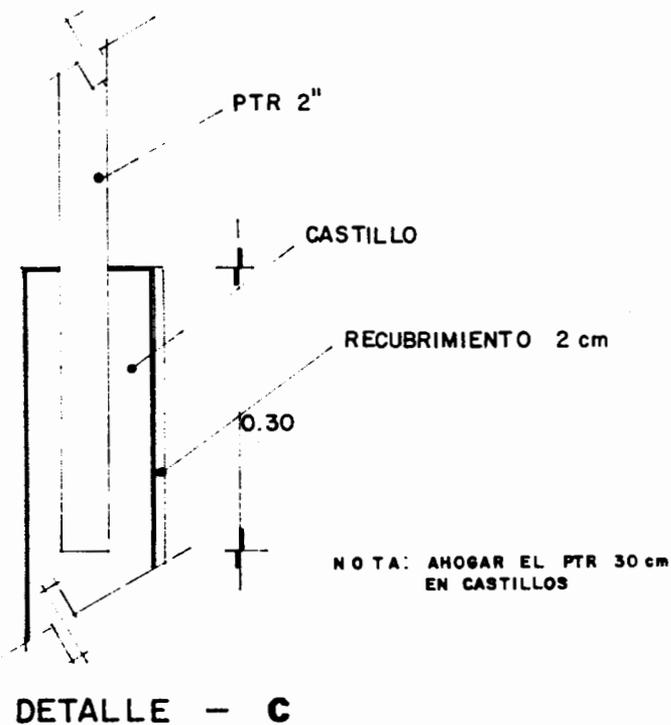
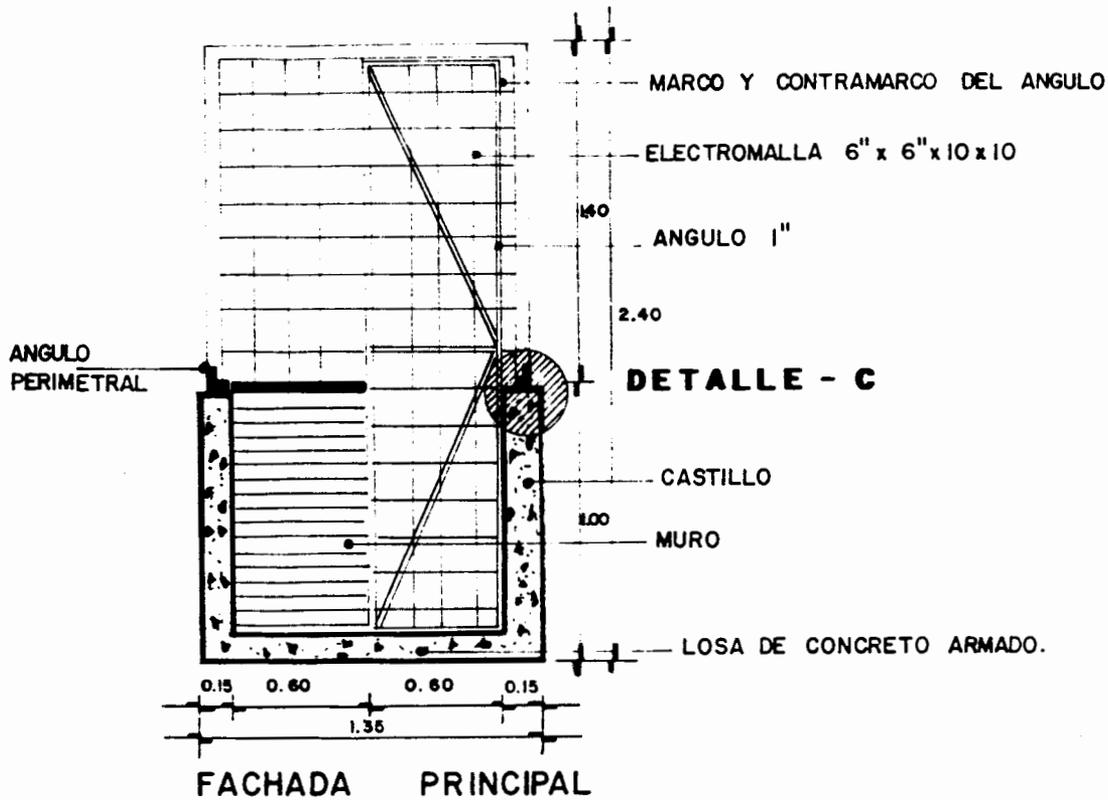
FECHA ABRIL 93

FIG 4 - 6

DETALLES POZO DE MONITOREO Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE U D D F



ESC

S / E

ACOT mts

VERSION

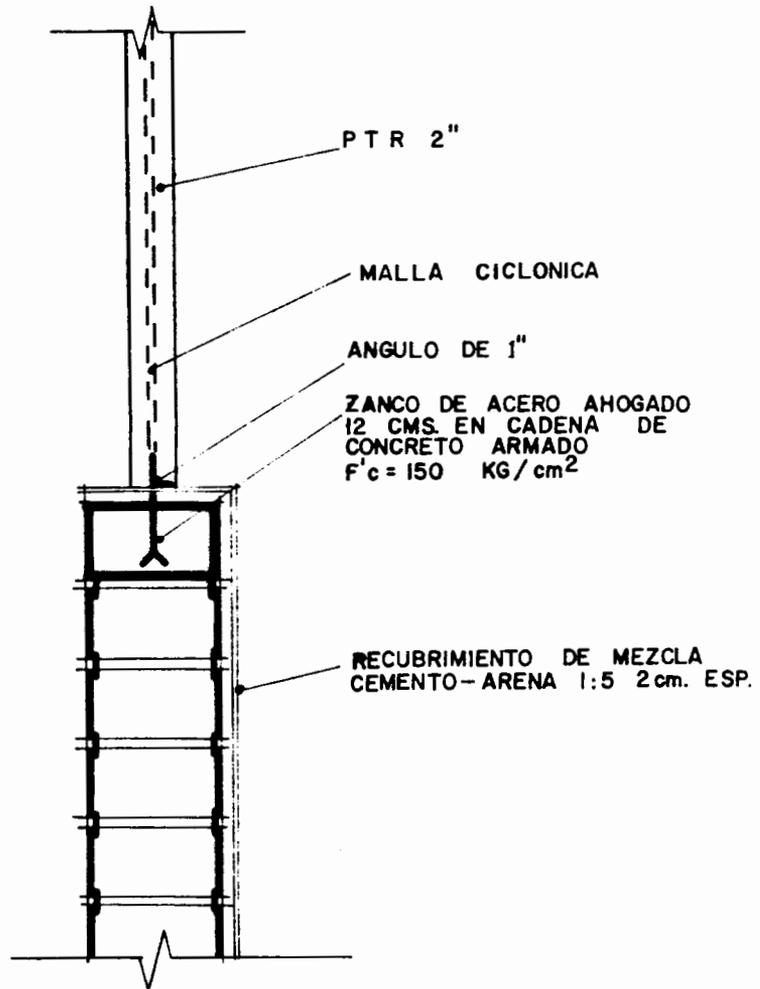
FECHA ABRIL 93

FIG 5 - 6

DETALLES POZO DE MONITOREO Y EXTRACCION DE LIXIVIADOS

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE U D D F



DETALLE - D

ESC

S/E

ACOT

mts.

VERSION

FECHA

ABRIL 93

FIG

6-6

TABLA 3

BALANCE DE AGUA PARA UN ESPESOR DE CUBIERTA DE 0.50 m.

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P	7.90	6.40	9.91	30.78	46.19	110.78	120.43	107.09	88.07	44.17	5.78	5.76	583.26
ES	1.03	0.83	1.29	4.00	6.00	18.83	20.47	18.21	14.97	5.74	0.75	0.75	92.87
I=(P-ES)	6.87	5.57	8.62	26.78	40.19	91.95	99.96	88.88	73.10	38.43	5.03	5.01	490.39
ET	40.96	44.37	67.34	73.52	85.59	75.64	74.14	71.77	66.50	59.59	47.93	41.17	748.52
I-ET	-34.09	-38.8	-58.72	-46.74	-45.4	16.31	25.82	17.11	6.60	-21.16	-42.36	-36.16	
HS	0	0	0	0	0	16.31	42.13	59.24	100	78.84	36.48	0.32	
HS	-0.32	0	0	0	0	16.31	25.82	17.11	6.60	-21.16	-42.36	-36.16	
ETA	7.19	5.57	8.62	26.78	40.19	75.64	74.14	71.77	66.50	59.59	47.39	41.17	524.55
PERC.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLA 4

BALANCE DE AGUA PARA UN ESPESOR DE CUBIERTA DE 0.20 m.

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P	7.90	6.40	9.91	30.78	46.19	110.78	120.43	107.09	88.07	44.17	5.78	5.76	583.26
ES	1.03	0.83	1.29	4.00	6.00	18.83	20.41	18.21	14.97	5.71	0.75	0.75	92.87
I=(P-ES)	6.87	5.57	8.62	26.78	40.19	91.95	99.96	88.88	73.10	38.43	5.03	5.01	490.39
ET	40.96	44.37	67.34	73.52	85.59	75.64	74.14	71.77	66.50	59.59	47.93	41.17	748.52
I-ET	-34.09	-38.8	-58.72	-46.74	-45.4	16.31	25.82	17.11	6.60	-21.16	-42.36	-36.16	
HS	0	0	0	0	0	16.31	40.00	40.00	40.00	18.84	0	0	
HS	0	0	0	0	0	16.31	23.69	0	0	-21.16	-18.84	0	
ETA	6.87	5.57	8.62	26.78	40.19	75.64	74.14	71.77	66.50	59.59	23.87	5.01	464.55
PERC.	0	0	0	0	0	0	2.13	17.11	6.60	0	0	0	25.84

TABLA 2

CALCULO DE LA HUMEDAD DE INFILTRACION

MES	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL mm	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	ESCURRIMIENTO	INFILTRACION
ENERO	7.90	0.13	1.03	6.87
FEBRERO	6.40	0.13	0.83	5.57
MARZO	9.91	0.13	1.29	8.62
ABRIL	30.78	0.13	4.00	26.78
MAYO	46.19	0.13	6.00	40.19
JUNIO	110.78	0.17	18.83	91.95
JULIO	120.43	0.17	20.47	99.96
AGOSTO	107.09	0.17	18.21	88.88
SEPTIEMBRE	88.07	0.17	14.97	73.10
OCTUBRE	44.17	0.13	5.74	38.43
NOVIEMBRE	5.78	0.13	0.75	5.03
DICIEMBRE	5.76	0.13	0.75	5.01

TABLA 1

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL AJUSTADA

MES	TEMPERATURA °C	INDICE	EVAPOTRANSP. POT. MENSUAL mm	FACTOR DE CORRECCION	EVAPOTRANSP. POT. AJUSTADA mm
ENERO	12.94	4.22	42.94	0.954	40.96
FEBRERO	14.09	4.80	49.19	0.902	44.37
MARZO	16.84	6.29	65.38	1.030	67.34
ABRIL	17.60	6.72	70.15	1.048	73.52
MAYO	18.59	7.30	76.56	1.118	85.59
JUNIO	17.34	6.57	68.51	1.104	75.64
JULIO	16.84	6.28	65.26	1.136	74.14
AGOSTO	16.78	6.25	65.01	1.104	71.77
SEPTIEMBRE	16.81	6.27	65.20	1.020	66.50
OCTUBRE	15.87	5.75	59.47	1.002	59.59
NOVIEMBRE	14.47	5.00	51.32	0.934	47.93
DICIEMBRE	13.05	4.27	43.52	0.946	41.17

PARA: $I = 69.72$
 $\alpha = 1.59624$

Para demostrar la importancia de la cubierta final de un relleno sanitario, se efectuó ahora un nuevo cálculo para una cubierta diaria de 0.20 m. de espesor, con lo cual se determinó una percolación de 25.84 mm/año, lo que arroja para un total de 104 Has. aprovechables del relleno sanitario, una percolación anual de 26,873.6 m³ equivalente a un caudal de 0.85 l.p.s.

En la Tabla 4, se presentan los cálculos para la consideración anteriormente señalada y en la Fig. 1, se muestra la esquematización de estos cálculos.

(*) ESTUDIO DE ESTABILIZACION DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE Y DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN LA ZONA FEDERAL DEL LAGO DE TEXCOCO. Proyectos y Construcciones PISCIS, S.A., 1989.

- El cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada (ET), se presenta en la Tabla 1.
- Se consideró un coeficiente de escurrimiento superficial de 0.13 en temporada de secas y de 0.17 en temporada de lluvias^(*), con lo cual pudo estimarse a partir de la precipitación (P), el escurrimiento superficial (ES) y la infiltración (I); estos cálculos se presentan en la Tabla 2.
- La evapotranspiración real (ETA), y la percolación se calcularon mediante las siguientes relaciones:

$$ETA = ET \quad \text{si } I - ET > 0$$

$$ETA = I - HS \quad \text{si } I - ET < 0$$

$$PERC = I - HS - ETA$$

Estableciendo lo anterior, se realizó el balance de agua para determinar la cantidad de percolación de agua pluvial anual al relleno sanitario, es decir, la cantidad potencial de lixivios a generarse en el relleno sanitario.

Estos cálculos se presentan en la Tabla 3, donde puede observarse que no existe percolación del agua pluvial.

(*) USE OF THE WATER BALANCE METHOD FOR PREDICTING LEACHATE GENERATION FROM SOLID WASTE DISPOSAL SITES.
Dennis G. Fenn et. Al. U.S. Environmental Protection Agency, 1975.

agua almacenada por el mismo suelo.

c.2. Si la altura de precipitación mensual es inferior a la evapotranspiración potencial mensual, sucederá que la evapotranspiración real consumirá totalmente la precipitación, generándose por tanto un cierto déficit el cual es cubierto con las reservas de agua del suelo, hasta su agotamiento. Si la reserva de suelo es suficiente para satisfacer dicho déficit, la evapotranspiración real será igual a la evapotranspiración potencial, por lo que se cae dentro de la consideración anterior; mientras que si por el contrario, la reserva del suelo resulta ser insuficiente, la evapotranspiración real queda ligada a las precipitaciones mensuales, agotándose las reservas de suelo y generándose por tanto, un déficit en el almacenamiento de agua en el suelo.

Con la metodología antes descrita, se procederá a efectuar un balance de agua con la siguiente información:

- Cubierta Final: Material limoso, con una capacidad de campo de 300 mm/m, punto de marchitamiento de 100 mm/m, capacidad de absorción de humedad del suelo (HS) de 200 mm/m^(*), y un espesor de 50 cms.

(*) USE OF THE WATER BALANCE METHOD FOR PREDICTING LEACHATE GENERATION FROM SOLID WASTE DISPOSAL SITES.
Dennis G. Fenn et. Al. U.S. Environmental Protection Agency, 1975.

Además los valores de "EPj" calculados para cada mes, se corrigen por medio de un coeficiente mensual "K", que toma en cuenta el número de días y el número real de horas entre la salida y la puesta del sol.

- b). Cálculo de la humedad potencial de infiltración mensual, realizando el siguiente balance para cada uno de los meses del año:

$$IPj = (Pj - (CEj * Pj)) - EPj \dots\dots\dots(7.2.5.)$$

donde:

IPj : Humedad potencial de infiltración mensual, en mm.

Pj : Precipitación media mensual, en mm.

CEj : Coeficiente de escurrimiento mensual, (adimensional).

- c). Realización para cada uno de los meses del año, de un balance de agua en la cubierta diaria y final del relleno sanitario, tomando en cuenta para tal fin, las siguientes consideraciones:

c.1. Cuando la precipitación mensual es igual o superior a la evapotranspiración potencial mensual, se producirá un exceso en el aporte de agua a la cubierta de suelo; exceso que al ser absorbido alimentará la reserva de

La secuencia a seguir para efectuar el cálculo del Balance de Agua, se presenta a continuación:

a). Determinación de las evapotranspiraciones mensuales potenciales corregidas, a partir de las temperaturas promedio mensuales; empleando para ello, la siguiente formulación:

$$EP_j = 1.6(10 T_j/I)^\alpha \dots\dots\dots(7.2.1.)$$

$$ij = (T_j/5)^{1.514} \dots\dots\dots(7.2.2.)$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} ij \dots\dots\dots(7.2.3.)$$

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \times 10E-05 (I) - 771 \times 10E-07 (I^2) + 675 \times 10E-09 (I^3) \dots\dots(7.2.4.)$$

donde:

EP_j : Evapotranspiración potencial mensual sin corregir, en cm.

T_j : Temperatura media mensual, en °C.

I : Sumatoria de los índices mensuales de calor, (adimensional).

ij : Índice mensual de calor, (adimensional).

α : Coeficiente adimensional que está en función de la sumatoria de los índices mensuales de calor.

j : No. del mes considerado.

Debido a lo pequeño de este valor, y para estar dentro de la seguridad, esta lámina mensual no será considerada en el cálculo del Balance de Agua a infiltrarse en el relleno sanitario.

BALANCE DEL AGUA A INFILTRARSE EN EL RELLENO SANITARIO.

Para determinar la cantidad de agua a infiltrarse en el suelo como lixiviado o líquido percolado contaminante, después de haberse percolado a través de todas las capas de basura que conformarán el relleno sanitario, se aplicará el Método del Balance de Agua desarrollado por C.W. Thornthwaite, según es descrito por Castany^(*).

El método anterior se basa en la evaluación empírica de la evapotranspiración potencial mensual. Después se calcula la evapotranspiración real mensual, elemento desconocido del balance, partiendo de algunas estimaciones, la principal de las cuales concierne a la evaluación de la cantidad máxima de agua almacenada en el suelo antes de su percolación.

La información requerida para la aplicación del método, tiene que ver con las precipitaciones y temperaturas promedios mensuales, de la estación climatológica más próxima, durante un periodo de observación mínimo de 25 años.

^(*) TRATADO PRACTICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS. Castany G. Ed. Omega, 1971.

En términos de lámina de agua, la humedad requerida para estabilizar la basura contenida en una capa de 1 metro de espesor será igual a:

43.13 mm. de H₂O/mt. de basura.

Ahora bien, este análisis como puede observarse, hace la consideración de que todo el proceso tanto aerobio como anaerobio se completa en un año, lo cual definitivamente no es totalmente válido. De acuerdo con Tchobanoglous, la reacción aerobia se completa totalmente en 3 meses aproximadamente, después de depositada la basura; mientras que la reacción anaerobia, aunque en algunos casos puede durar más de 25 años, en general el 70% de la reacción se efectúa en los primeros 5 años, valor este último que se tomará para diseño.

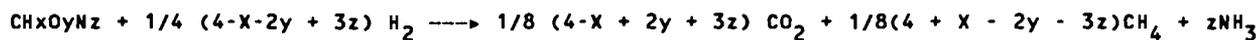
Por tanto, la lámina anual requerida para la estabilización de la fracción orgánica presente en los residuos sólidos, será de:

$$\text{Lámina Anual} = \frac{43.13 \text{ mm./mt. basura}}{5} = 8.626 \text{ mm./mt. basura}$$

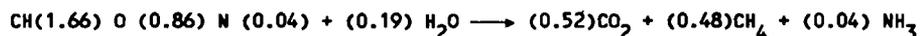
Por consiguiente, la lámina mensual será:

$$\text{Lámina Mensual} = \frac{8.626 \text{ mm./mt. basura}}{12} = 0.719 \text{ mm./mt. basura}$$

La reacción química estequiométrica que gobierna la descomposición anaerobia de la parte orgánica de la basura doméstica viene dada por la siguiente ecuación.



Sustituyendo los valores de los subíndices encontrados para la fórmula mínima se tiene:



De lo anterior se ve que para transformar un gramo de basura anaeróbicamente, se requieren 0.12 gr. de agua, por lo que 1 m³ de basura, el cual contiene 359.885 Kg. de materia degradable demandará:

$$359.885 \text{ Kg} \times 0.12 = 43.186 \text{ Kg de H}_2\text{O}$$

De aquí, en total, el balance entre la producción de humedad y la demanda de la misma en los procesos aerobio y anaerobio respectivamente, arroja una diferencia a favor de la demanda de agua por m³ de basura debida al proceso anaerobio de:

$$43.186 \text{ Kg} - 0.058 \text{ Kg} = 43.128 \text{ Kg de H}_2\text{O demandada por m}^3 \text{ de basura degradada.}$$

Aceptando un 36 % de materia orgánica en la basura y una porosidad de 53% se tienen que:

En un m³ de basura hay = 0.530 m³ de aire

Peso del aire = 0.99 kg./m³

Por lo que en 1 m³ de basura hay = 0.530 kg. de aire

Como sabemos, el oxígeno representa aproximadamente el 24 % en peso del aire, por lo cual es un metro cúbico de basura habrá 126 gr. de oxígeno.

Con esta cantidad de oxígeno, es posible estabilizar aeróbicamente la siguiente cantidad de materia orgánica:

$$\frac{126 \text{ gr. O}_2}{1.10 \text{ gr. O}_2/\text{gr. basura}} = 115 \text{ gr. de basura}$$

liberándose durante esta estabilización, 58 gr. de H₂O.

CALCULO DE LA DEMANDA DE HUMEDAD DURANTE LA FASE ANAEROBIA

Siguiendo con el análisis de 1 m³. de basura, el cual pesará 1000 Kg., tendremos que a partir del 36 % de materia orgánica considerado, se tendrá 360 kg. de materia degradable por m³. de basura, de los cuales, de acuerdo al análisis hasta aquí efectuado, 115 gr. se descompondrán aeróbicamente antes de consumir todo el O₂ presente, descomponiéndose mediante el proceso anaerobio los 359.885 kg, restantes.

$$O = 49.09 \%$$

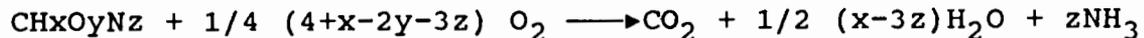
$$N = 1.94 \%$$

Con lo cual, tomando al carbono como base, es posible obtener la siguiente fórmula mínima.

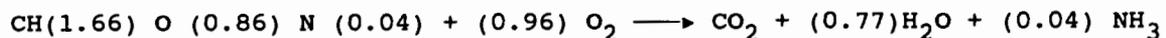


CALCULO DE LA HUMEDAD LIBERADA EN LA FASE AEROBIA

Se obtendrá a partir de la reacción química estequiométrica que gobierna la oxidación de la materia orgánica^(*).



de tal manera que por sustitución se tiene que:



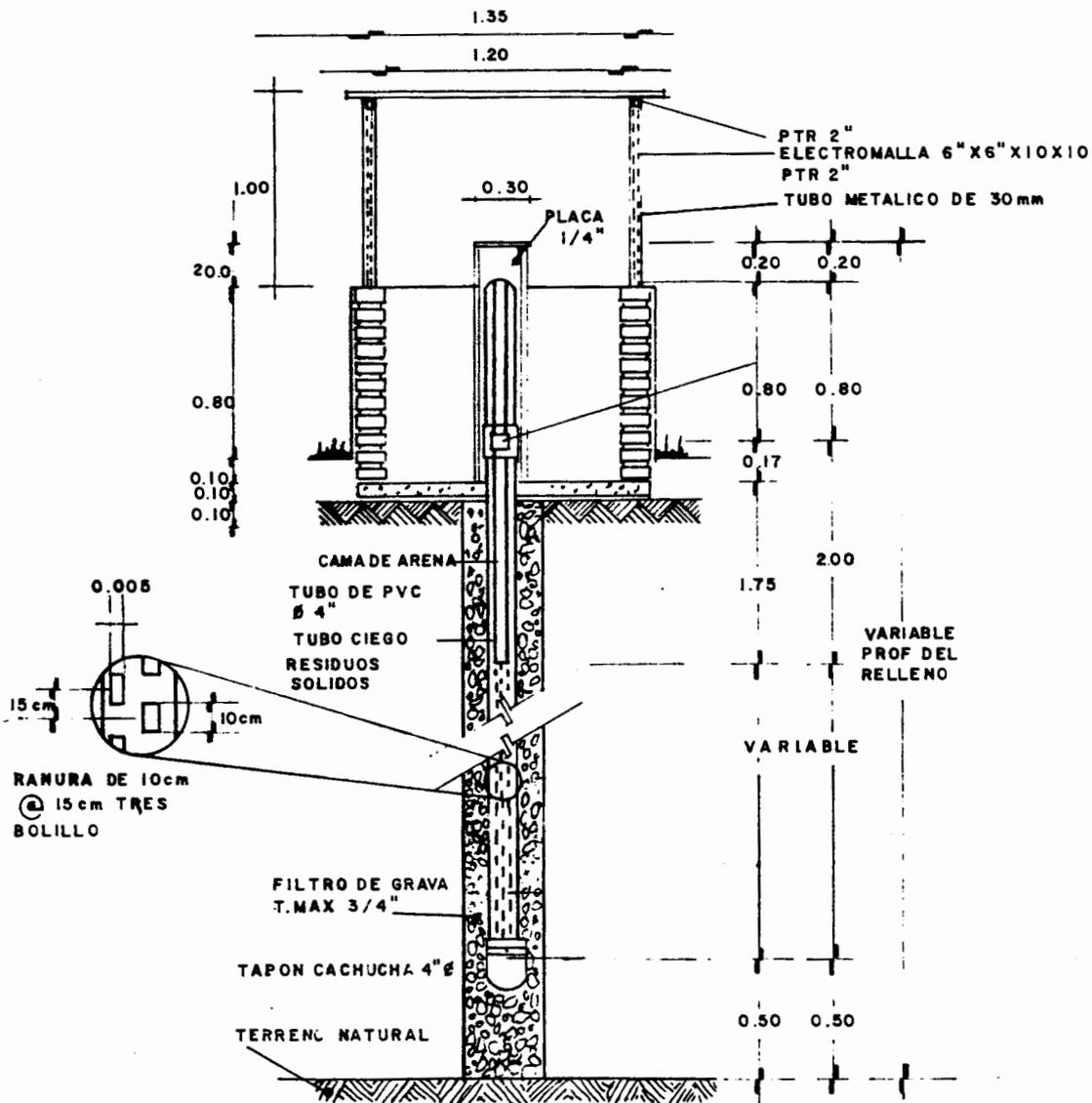
De lo anterior se observa que la DBO teórica para la oxidación de la materia orgánica contenida en la basura, es decir los gramos de oxígeno necesario para oxidar un gramo de basura es de 1.10 gr. de O_2 /gr. basura; generandose durante esta reacción una humedad de 0.77 átomo-gramo de H_2O , equivalente a 0.5 gr. de H_2O por gramo de basura.

^(*) SOLID WASTES. Tchobanoglous G. et al. Mc Graw Hill, 1977.

POZO DE EXTRACCION DE BIOGAS VENTEO

ESTANDAR DEL DDF

CLAVE: U D D F



ESC

S / E

ACOT

mts.

VERSION

FECHA ABRIL 93

FIG 1-1

GENERACION DE LIXIVIADOS Y EVALUACION Y ANALISIS DE LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO DE LA ZONA.

Antes de desarrollar la ingeniería básica y de detalle para el relleno sanitario en cuestión, es de capital importancia, evaluar y analizar la posibilidad de afectar la calidad del manto acuífero de la zona donde se enclava el sitio que alojará dicha obra de ingeniería, para lo cual, el primer paso es calcular la producción de lixiviados contaminantes durante su operación, así como al término de la misma cuando su vida útil haya sido totalmente agotada, para después determinar por un lado, su capacidad de infiltración y por otro, la disminución de su carga contaminante debido a la capacidad diluyente o atenuante del suelo a todo lo largo de su recorrido a través de él, antes de penetrar en el manto acuífero, con lo cual se estará en condiciones de conocer en realidad, si existe el riesgo de efectarlo, para que en dado caso de que así fuese, se tomen las medidas a que haya lugar para evitar la ocurrencia de dicha problemática.

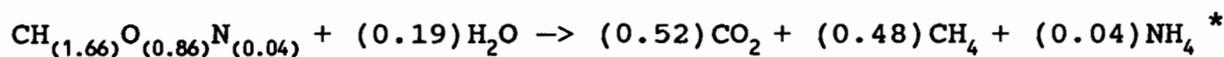
BALANCE DEL AGUA EN LOS PROCESOS DE ESTABILIZACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

Para la basura municipal típica de la Ciudad de México, se ha determinado para la materia degradable contenida en la misma, la composición porcentual en peso promedio siguiente:

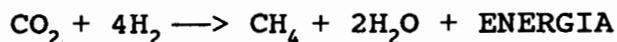
C = 43.02 %

H = 5.96 %

de carbono y 50% metano aproximadamente. El gas es saturado con vapor de agua. También se presentan pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H₂S) y nitrógeno (N₂). Las bacterias metanogénicas son también capaces de generar metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, cuando ambos están presentes.



* Fórmula válida sólo para México



5. Una pequeña cantidad de energía es perdida en el proceso de conversión de los residuos sólidos a metano, permaneciendo el 90% de la energía de los residuos sólidos en éste. Por lo tanto, se genera menos calor que cuando la descomposición aeróbica se concluye.

f). Fase Metanogénica Anaeróbica en Estado Estable.

1. Durante esta fase, las condiciones de producción y composición del gas se acercan a un estado estable.
2. Las concentraciones de gas metano se estabilizan en un rango de 50 - 60% por volumen.

3. Los rangos de concentración de bióxido de carbono están entre 40 y 50% por volumen.
4. También están presentes trazas de otros gases (por ejemplo, ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.). Estos gases son las fuentes de olor de los rellenos sanitarios.
5. El tiempo requerido para la estabilización del metano, varía de pocos meses a varios años, dependiendo de los factores que afectan la producción del metano.

Factores que afectan la producción del metano.

- a). Es esencial una total condición anaeróbica.

Una pequeña cantidad de oxígeno, inhibe a la bacteria formadora de metano.

- b). Contenido de Humedad.

1. Para la producción óptima de metano se requiere del 60 al 80% de humedad.
2. Algunos rellenos sanitarios con el 20% todavía generan biogás.

8. La glucosa puede ser degradada bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

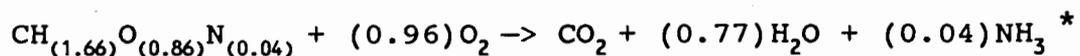
9. Se forma una variedad de productos derivados de la celulosa y otros materiales orgánicos.

c). Fase de Descomposición Aeróbica.

1. Cuando los residuos sólidos están compactados y cubiertos en el relleno sanitario, el medio es muy poroso. Los huecos existentes están llenos de aire, en el cual el 78% es nitrógeno, 21% oxígeno y 1% de trazas de otros gases.

2. La fase inicial de la descomposición microbiana de un residuo sólido en un relleno sanitario toma lugar en una atmósfera aeróbica, por lo que solamente microbios aeróbicos y facultativos son activos.

3. Bajo condiciones aeróbicas, los residuos sólidos son oxidados a bióxido de carbono y agua, con liberación de energía (calor).



* Fórmula válida sólo para México

- 4: La reacción genera grandes cantidades de calor, elevando la temperatura en el relleno sanitario a más de 154°F (68°C).
5. Se forman grandes cantidades de bióxido de carbono, aumentando a concentraciones del 90%.
6. El oxígeno es consumido durante el proceso de descomposición aeróbica y si no entra más aire (O₂) al relleno sanitario, el proceso de digestión aeróbica cesará eventualmente y la digestión anaeróbica iniciará.
7. La transición de la digestión aeróbica a la anaeróbica en un relleno sanitario es gradual, ocasionada por cierta cantidad de oxígeno que es suministrado a través del material de cubierta.
8. La fase aeróbica puede tomar unos cuantos meses al año, dependiendo de cierto número de factores. Es relativamente rápida comparada con las diferentes fases anaeróbicas que se efectúan posteriormente.

d). Fase de Descomposición Anaeróbica No-Metanogénica.

1. La digestión anaeróbica es llevada a cabo por muchas clases de bacterias.

2. Durante esta fase, la materia orgánica con altos pesos moleculares insolubles, es transformada en materiales muy simples y solubles en agua.

- a). Celulosa ———> Glucosa
- b). Proteínas ———> Aminoácidos
- c). Grasas ———> Glicerol y Acidos Grasos

3. Se producen cantidades significativas de bióxido de carbono y algo de nitrógeno e hidrógeno.

e). Fase Anaeróbica Metanogénica Inestable.

1. Esta fase toma lugar simultaneamente con la fase anterior.
2. La producción de metano comienza después de que todo el oxígeno ha sido consumido.
3. Las bacterias que forman metano son necesariamente anaeróbicas. El oxígeno en cualquier cantidad inhibe su actividad, sin embargo, éstas forman esporas y cuando regresan las condiciones anaeróbicas iniciales, recuperan nuevamente su actividad normal.
4. En ausencia del oxígeno, las bacterias que forman metano convierten a los ácidos orgánicos en 50% bióxido

De lo descrito en párrafos anteriores:

$B = 0.25$ m (espesor promedio de las celdillas de mezclado).

$A = 1.00$ m² (área transversal para el análisis).

$n = 0.50$

$K = 0.013$ día⁻¹

$K_1 = 0.05$

GENERACION DE BIOGAS EN RELLENOS SANITARIOS (*)

Que sucede cuando se descomponen los Residuos Sólidos.

a). Existen tres tipos de descomposición de residuos sólidos dependientes entre sí en un relleno sanitario:

1. BIOLÓGICA:

Consiste en mecanismos complejos que transforman biológicamente el material orgánico en material parcial o totalmente descompuesto, así como en productos finales gaseosos.

2. QUÍMICA:

La descomposición se efectúa a través de la hidrólisis, disolución-precipitación, absorción-desorción, o intercambio iónico de los componentes, dando como resultado cambios en sus características y un gran movimiento de los diferentes constituyentes, formados a través de los estratos de los residuos sólidos.

3. FÍSICA:

En adición a los cambios físicos, precipitación, etc., incluye la caída o movimiento de los componentes residuales por la acción de la percolación del agua a través del relleno sanitario y a la difusión debida a

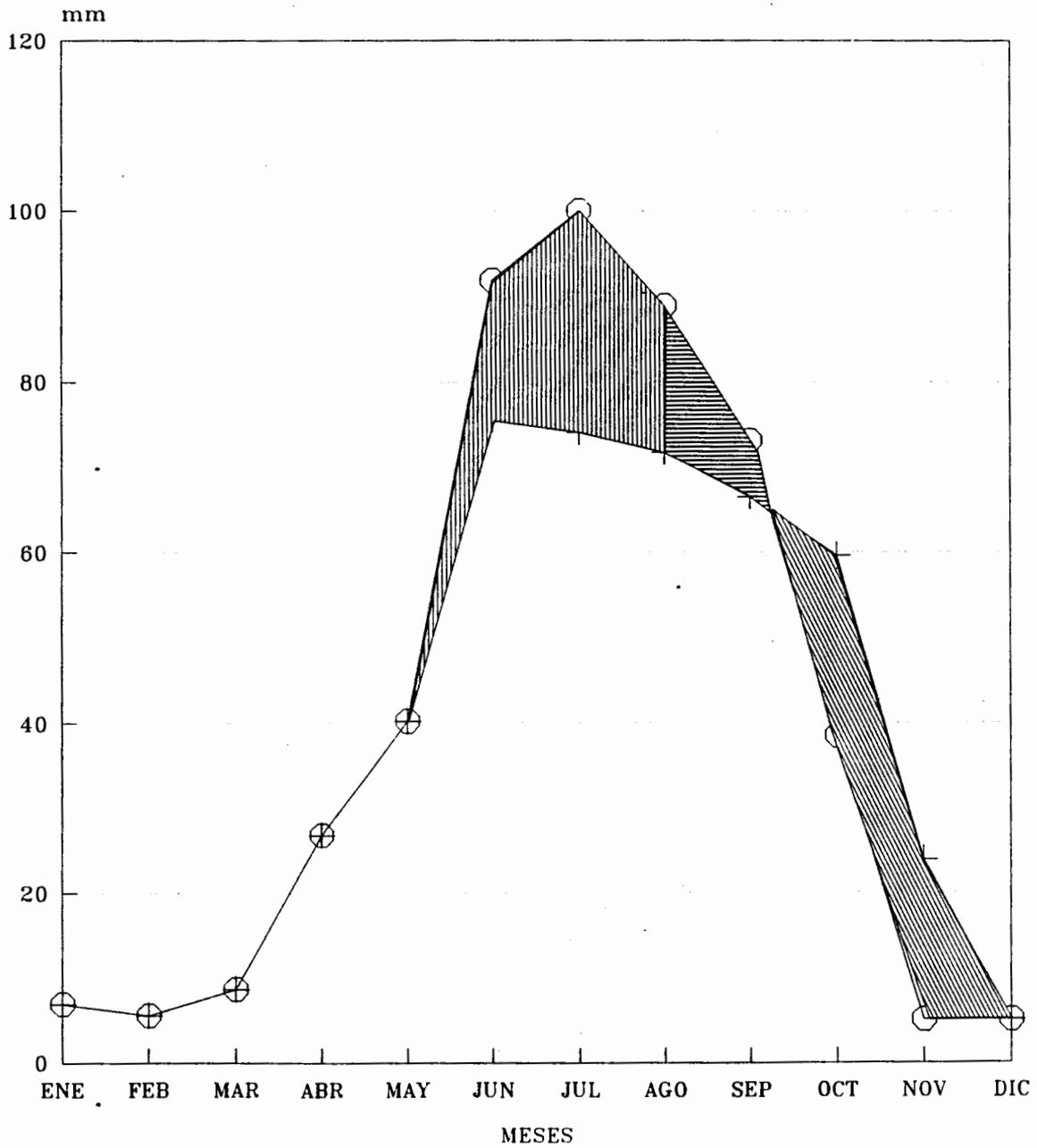
(*) RECOPIACION DE LA DIRECCION TECNICA DE DESECHOS SOLIDOS, D.G.S.U. - D.D.F.

los gradientes de concentración y al flujo, como resultado de los gradientes de presión.

b). Antecedentes Relativos a la Generación del Metano.

1. El gas metano es producido por la descomposición bacteriana de los residuos sólidos en rellenos sanitarios.
2. La fracción orgánica contenida en los residuos es degradada por microorganismos, hongos, etc. a materiales orgánicos simples.
3. Los residuos sólidos municipales contienen materia orgánica húmeda y toda clase de microorganismos.
4. Aproximadamente la mitad del total del peso seco de los residuos sólidos municipales es papel, el cual es casi celulosa pura.
5. La celulosa es una fibra polímera insoluble de glucosa.
6. La celulosa es un nutriente para diversas especies de hongos y bacterias, la cual degradan en azúcar-glucosa soluble.
7. La glucosa es un excelente nutriente y fuente de energía que puede ser utilizado por un rango muy amplio de microorganismos que utilizan celulosa.

FIG. 1. BALANCE DE AGUA PARA 20 CMS. DE CUBIERTA



○ INFILTRACION
 + EVAPOTRANSPIRACION REAL

▨ PERCOLACION
 ▨ RECARGA DE HUMEDAD DEL SUELO
 ▨ UTILIZACION DE HUMEDAD DEL SUELO

CALCULO DE LA INTERFASE DE SUELO REQUERIDA

Este análisis se efectúa en dos partes, una para determinar el espesor de suelo requerido para remover la contaminación inorgánica (catiónica), y la otra para conocer la contaminación orgánica que se presentará a diversas profundidades del suelo, y la concentración de llegada en términos de DBO del lixiviado al acuífero.

El análisis por carga catiónica considerará básicamente la capacidad del suelo para aceptar los cationes transportados por el lixiviado y se apoyará en la formulación presentada para tal fin en el documento : MANUAL DE RELLENOS SANITARIOS, editado por la Subsecretaría de Ecología de la SEDUE en 1984; mientras que para el análisis por carga orgánica, se emplea el modelo de celdillas de mezclado, el cual considera los mecanismos de dispersión, advección, adsorción y degradabilidad del contaminante orgánico.

La información requerida para el análisis que nos ocupa, se presenta a continuación:

- Permeabilidad en cm/seg.
- Porosidad
- Capacidad de Intercambio Catiónico en m.e.q./100 gr
- Peso Volumétrico en Kg/m³
- Precipitación Pluvial Total en mm/año
- Infiltración de Lixiviado en m/m² año

- Coeficiente de Decaimiento del Contaminante
- Coeficiente de Transferencia del Contaminante de Fase Líquida a Fase Sólida (adimensional).
- Pendiente de la Distribución de Concentración para el Modelo de FREUNDLICH (adimensional).
- Concentración Catiónica Inicial del Lixiviado Contaminante Antes de Penetrar en el Suelo en m.e.q./lt.
- Concentración Orgánica Admisible para Evitar la Contaminación del Acuífero en mg./l.
- Concentración Orgánica Inicial del Lixiviado Contaminante Antes de Penetrar en el Suelo en mg./l. de DBO.
- Area Transversal del Suelo para el Análisis de Contaminación Orgánica del Suelo.
- Espesor Promedio de las Celdillas de Mezclado para el Análisis de Contaminación Orgánica.

a). Análisis de Contaminación Inorgánica (Catiónica).

Se empleará la expresión que para el cálculo de la interfase por carga catiónica para un periodo de 20 años, se presenta en el Manual de Rellenos Sanitarios de la SEDUE.

$$I = 4 \frac{c}{CIC (Pv)} i$$

dondé :

I : Interfase en metros.

C : Concentración Catiónica del Lixiviado.

CIC : Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo.

Pv : Peso Volumétrico del Suelo.

i : Infiltración anual en m/m² año.

b). Análisis de Contaminación por Carga Orgánica.

Para este análisis se tomará la "DBO", como indicador de contaminación orgánica y el modelo de celdillas de mezclado para analizar el comportamiento del contaminante durante su paso a través del suelo. La formulación es la siguiente:

$$C_j = \frac{1}{1 + \frac{BAnGK}{Q}} C_{j-1}$$

$$G = i + \frac{1 - n}{n} K_1$$

donde:

C_j : Concentración del contaminante en la celdilla analizada em mg./l.

C_{j-1} : Concentración del contaminante en la celdilla anterior a la analizada.

Q : Infiltración diaria en m³/día x m²

4. Vidrio, plásticos, lignina --- no degradables.
- e). Variación de la composición de residuos en diversas áreas del relleno sanitario.
- f). El intervalo óptimo del pH para la producción del metano es de 6.8 a 7.2
El rango tolerable es de 6.0 a 8.0
- g). Los materiales tóxicos (metales pesados, etc.) pueden inhibir la acción bacteriana.

Propiedades de los Componentes del Biogás.

- a). Metano 45 - 65%
1. Incoloro.
 2. Más ligero que el aire.
 3. Baja solubilidad en el agua.
 4. Altamente explosivo en concentraciones entre 5 - 15% por volumen en el aire.
 5. Una chispa o destello de una fuente de calor que exceda los 1,100°F, puede originar una explosión.

b). Bióxido de Carbono 30 - 60%

1. Incoloro.
2. Más pesado que el aire.
3. Altamente soluble en agua (forma soluciones de ácidos débiles corrosivos).
4. No flamable.
5. Potencialmente peligroso (una concentración del 10% de CO_2 en una atmósfera pura de oxígeno, puede causar un envenenamiento involuntario).

c). Trazas de Gases (fuente de olores, etc.)

1. Nitrógeno < 1 --- 20%
2. Acido sulfhídrico - trazas
 - a). Mayor fuente de olores - rango de olor 0.0047 ppm
 - b). Producido por sulfatos en rellenos sanitarios bajo condiciones anaeróbicas.
 - c). Los sulfatos pueden provenir de:
 - i). Residuos animales o vegetales.
 - ii). Placas de yeso - sulfato de calcio.
 - iii). Infiltración de agua salobre en los residuos.

3. Oxígeno y Argón trazas - 3%

4. Etano, Etileno, Propileno, Propano y otros productos de digestión anaeróbica de la materia orgánica - Trazas.

Generación de Biogás en un Relleno Sanitario.

1. CANTIDADES DE BIOGAS EN EL RELLENO.

a). Es compleja, variable y difícil de estimar o medir con exactitud.

b). El metano únicamente corresponde a la mitad del total del biogás.

c). Generación Teórica del Metano.

La estimación del metano y bióxido de carbono producidos del total de la descomposición anaeróbica es:

	Metano	Bióxido de Carbono
1 lb. Carbohidrato	7.3 ft ³	7.5 ft ³
1 lb. Proteínas	8.8 ft ³	7.5 ft ³
1 lb. Grasas	17.6 ft ³	7.5 ft ³

Para residuos sólidos municipales típicos.

a). 7.2 ft³/lb en condiciones standard.

b). 54% metano, 46% bióxido de carbono (por volumen).

Las cantidades teóricas estimadas normalmente son más altas que los volúmenes reales producidos en los rellenos sanitarios, esto debido a que en las ecuaciones químicas que muestran los procesos de descomposición, se considera una reacción completa de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

d). Generación Actual de Metano.

1. Se generan 0.1 - 0.6 ft³/lb/año en condiciones standard durante el periodo más activo de la formación del metano (asumiendo que ocurre durante los primeros cinco años después de saturado el relleno sanitario).
2. Se estima una generación de 0.13 ft³/lb/año en condiciones standard, después de 5 años del relleno sanitario.

e). Periodo de Generación del Metano.

1. Se asume que la tasa de generación más alta de metano ocurre dentro de los primeros 5 años después de saturado el relleno sanitario.
2. El biogás será producido a una tasa alta por un mínimo de 6 a 10 años, muchos investigadores creen que el periodo económicamente productivo de la generación de

metano puede ser en dado caso de 15 a 25 años.

3. Se estima que el biogás se continuará generando en .
tasas menores entre 30 y 100 años.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



CURSO SOBRE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS ACTUALIZADOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS.

TEMA: EL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

PROFESOR: M. EN I. GUSTAVO SOLORZANO OCHOA

Junio 3, 4 y 5, 1993

EL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.

1. INTRODUCCION.

Una de las etapas del ciclo de los residuos sólidos municipales (RSM) se encuentra constituido por el **tratamiento** de éstos, como se muestra en la figura No. 1. El tratamiento de los RSM puede definirse como el conjunto de técnicas o métodos de procesamiento, físicos, químicos o biológicos, que se aplican a los desechos sólidos con la finalidad de modificar sus características. Los objetivos últimos del tratamiento de los residuos sólidos pueden ser varios, contándose entre los más comunes a los siguientes:

- **reciclaje y reuso de subproductos**
- reducción de volumen
- recuperación de energía
- eliminación de agresividad de los residuos
- facilidad de manejo

El tratamiento de los RSM se presenta como una alternativa frente a la disposición final de éstos, ya sea en tiraderos a cielo abierto o bien en rellenos sanitarios. Lo interesante de esta alternativa puede deberse a varias razones. Primeramente, se tiene la elevación en los costos de disposición final de los RSM dada la cada vez mayor dificultad para obtener terrenos aptos para ello cercanos a las ciudades, lo que ocasiona que se tengan que recorrer grandes distancias para transportar la basura a los sitios de disposición final. Se tiene también, la oposición de ciertos sectores de la población hacia esta práctica, ya que si bien un relleno sanitario considera en su diseño todas las medidas necesarias para prevenir los impactos en la salud y en el medio ambiente, en la práctica es frecuente que durante su operación no se observe la metodología adecuada, aunado al hecho de que los RSM enterrados provocan una desconfianza ya que podría representar un riesgo con el paso de los años y en la eventualidad de una inundación, terremoto, etc.

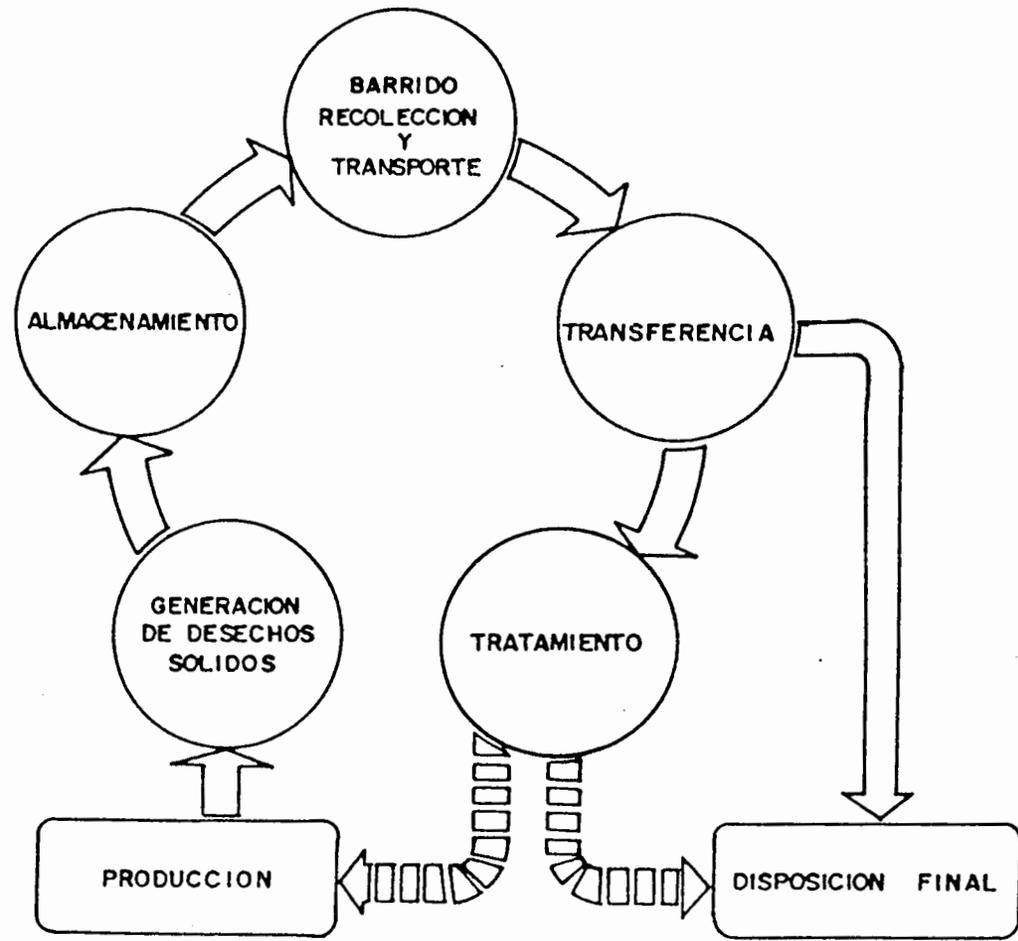
Asimismo, debido a la degradación y escasez de los recursos naturales, y a la elevación en los costos de ciertas materias primas y energéticos necesarios para la fabricación de productos diversos, se considera a los RSM como una fuente alterna de materia prima para algunos procesos de fabricación, alternativa que se cancela cuando los subproductos factibles de ser recuperados son dispuestos permanentemente en los rellenos sanitarios.

Como consecuencia de lo anterior se presenta a nivel mundial una tendencia que, si bien ha existido de manera informal en los países en vías de desarrollo, ha tomado especial énfasis en los países industrializados, hacia el tratamiento de los RSM, buscando con ello la racionalización y protección de los recursos así como minimizar los posibles efectos negativos en el medio ambiente.

El reciclaje consiste en la recuperación de ciertos subproductos

CICLO DE MANEJO DE LOS DESECHOS SOLIDOS

FIG. N° 1



contenidos en los RSM, para su posterior reintegración como materia prima en el mismo proceso productivo que los generó. Mediante la práctica del reciclaje se racionaliza la utilización de recursos naturales y el consumo de energía en la producción de ciertos bienes, además del beneficio de reducir la corriente de RSM que sería necesario disponer en un relleno sanitario, aumentando su vida útil.

El reciclaje no debe confundirse con el reuso; este último se refiere a la reutilización de subproductos en aplicaciones diferentes a las que fueron originalmente destinados.

En la bibliografía especializada es posible encontrar datos interesantes en relación al ahorro de energía que se consigue cuando se utiliza el material recuperado como materia prima de un proceso industrial, así como el ahorro en recursos naturales. Estos datos pueden variar dependiendo de la fuente consultada, pero pueden dar una idea aproximada de ciertos beneficios derivados del reciclaje:

- cada tonelada de papel reciclado ahorra 28,000 litros de agua, salva 17 árboles y da suficiente energía para una casa durante seis meses
- se ahorra de un 25 a un 30% de energía cuando se produce vidrio a partir de material reciclado
- la energía consumida en la fabricación de una lata a partir de materia prima mineral, produciría hasta veinte latas usando materia prima reciclada
- reciclar la chatarra de acero y de fierro significa reducir el consumo de energía en un 70%

Las cifras anteriores son aproximadas y pueden variar significativamente con el tipo de proceso, calidad de materia prima, etc.

2. METODOS DE RECICLAJE.

Como se mencionó, el reciclaje se compone de dos etapas básicas: la primera consiste en la separación de los materiales o subproductos reciclables contenidos en los RSM. La segunda está conformada por la integración de un subproducto determinado en el proceso productivo de una planta industrial en particular. Desde el punto de vista del manejo de los RSM, es la primera etapa la que reviste una mayor importancia.

Los residuos sólidos que se desechan en los hogares, comercios, parques, etc., se convierten en basura propiamente dicha al ser mezclados con otro tipo de residuos. Este mezclado se lleva a cabo en los recipientes domésticos, contenedores, en los vehículos recolectores o de transferencia, así como en los sitios de disposición final. Desde este punto de vista, la separación de

subproductos puede darse desde el inicio del ciclo de los residuos sólidos, es decir, en la fuente generadora, con lo cual se evita el mezclado de residuos de diferentes tipos. Posteriormente, el material separado en la fuente es dispuesto en contenedores colocados en sitios estratégicos, llevados a centros de acopio, o bien recolectados en camiones especiales o en días específicos mediante recolectores convencionales.

La separación de subproductos en la fuente es llevada a cabo por todo tipo de generadores. Sin embargo, es en los establecimientos comerciales, de servicios, etc. donde se realiza en mayor grado. Esto se debe fundamentalmente al alto volumen de generación en este tipo de fuentes, que garantizan la concentración de forma puntual para uno o más subproductos, y por lo general se puede contar además con la infraestructura y el espacio para ello requerido. Por el contrario, la separación en fuentes domésticas actualmente no es intensiva, dado que existen limitaciones de espacio, el volumen de generación es pequeño y por lo tanto la separación se vuelve comercialmente poco atractiva; por otra parte, existe la idea de que se realiza en la casa un trabajo que otros aprovechan.

La alternativa frente a esta forma de separación es la que se efectúa de manera posterior a la recolección y transporte de los residuos, y antes de la disposición final. En realidad, la separación de subproductos a partir de los RSM fuera de la fuente generadora, es una práctica que comunmente se da desde la etapa de recolección de dichos residuos y hasta su disposición final. En efecto, la separación de subproductos es efectuada por los barrenderos, la tripulación de los vehículos, y los "pepenadores" que operan en los sitios de disposición final. Sin embargo, dicha separación se lleva a cabo de manera informal, y frecuentemente en condiciones de insalubridad y de alto riesgo para las personas que llevan a cabo esta tarea, así como con muchas molestias para la población expuesta a este tipo de actividades.

Por otro lado, en la actualidad existen disponibles en el mercado tecnologías y equipos cuyo objetivo es la separación mecánica de los subproductos contenidos en los residuos sólidos. Esta separación puede ser completamente mecanizada o bien una combinación de equipo mecánico y separación manual.

El método de separación combinado utiliza fundamentalmente bandas transportadoras de rodillos accionadas por motores y sobre las cuales los residuos se desplazan a cierta velocidad y con un espesor determinado. A ambos lados de las bandas se colocan operadores que se dedican a separar manualmente un tipo preestablecido de material, el cual van depositando en contenedores o tolvas que se encuentran ubicadas próximas a los operadores. Sobre la banda permanece el material de rechazo que se envía a algún tipo de tratamiento o bien a disposición final.

La separación mecanizada utiliza principios de tipo balístico, neumático, magnético y otros para separar los subproductos contenidos en la basura, aprovechando sus características físicas.

Las figuras 2, 3 y 4 muestran algunos de los principios comunmente utilizados en los equipos de separación mecánica de subproductos.

3. EL RECICLAJE EN MEXICO Y EL MUNDO.

La etapa del reciclaje correspondiente a la separación de subproductos se lleva a cabo en México de manera formal e informal. La separación formal a escala comercial se realiza fundamentalmente en las plantas de producción de composta, de las que existen 6 en el país: Acapulco, Guadalajara, Distrito Federal, Monterrey, Toluca y Oaxaca (y en proyecto, Mérida y Villahermosa). Sin embargo, por razones diversas, actualmente operan dos plantas solamente, y a una fracción de su capacidad instalada.

Por otra parte, la separación informal se realiza en las etapas de barrido, recolección y transferencia, y especialmente en los sitios de disposición final. En todos estos casos no existen controles que permitan llegar a una estimación confiable con respecto al porcentaje del volumen que se recicla en el país a partir de los RSM. Sin embargo, se tiene una aproximación que establece una cifra del 6 al 10% en peso para el total reciclado en México. Esta cifra puede variar, como es de esperarse, para cada uno de los subproductos en particular. Sin embargo, y como una referencia interesante, la extinta SEDUE estableció en 1988 los porcentajes de recuperación para diversos subproductos, los cuales se muestran en el cuadro No. 1.

Por otra parte, el cuadro No. 2 muestra los porcentajes en peso de los RSM y su destino para diversos países industrializados. Se observa que, a pesar del grado de industrialización de algunos de ellos, un alto porcentaje de los RSM son destinados a rellenos sanitarios (EEUU, Reino Unido). Por otra parte, países como Japón y Suiza utilizan poco esta última metodología, lo cual se debe fundamentalmente a la carencia de espacio para ello.

4. CONCLUSIONES.

Si bien el reciclaje de los RSM presenta importantes beneficios en lo general, en lo particular debe prestarse especial atención a cualquier proyecto o programa de reciclaje en su etapa de planeación a efecto de que no se convierta en un fracaso. En este sentido, es posible efectuar las siguientes consideraciones:

- Algunas industrias tienen un límite máximo para incorporar material reciclado en un producto nuevo, lo cual limita a su vez la demanda para un subproducto determinado.

- A la fecha, ninguna de las plantas de compostaje existentes en México (y que incluyen la separación de subproductos) han resultado ser el negocio que se esperaba, y más que eso, en general han constituido un fracaso. Deben estudiarse a fondo las ofertas que de este tipo de plantas se hacen frecuentemente, prestando muy especial atención al esquema de operación de las mismas, ya que de ahí puede depender el éxito

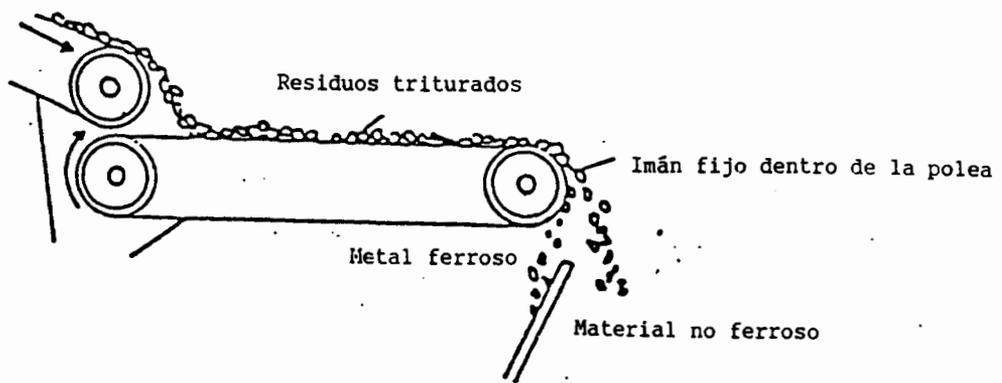
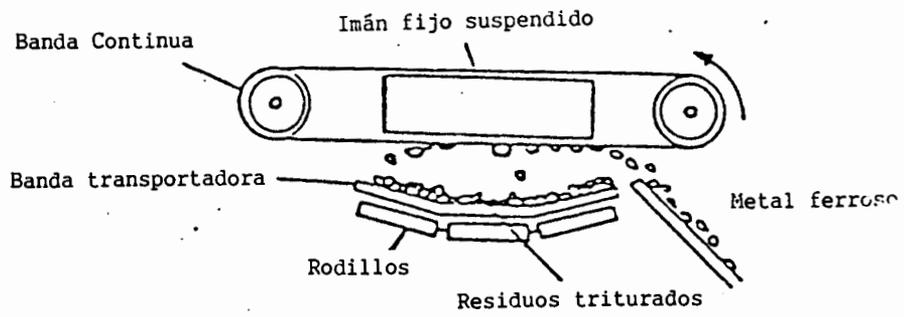


Fig. 2 Separadores magnéticos típicos

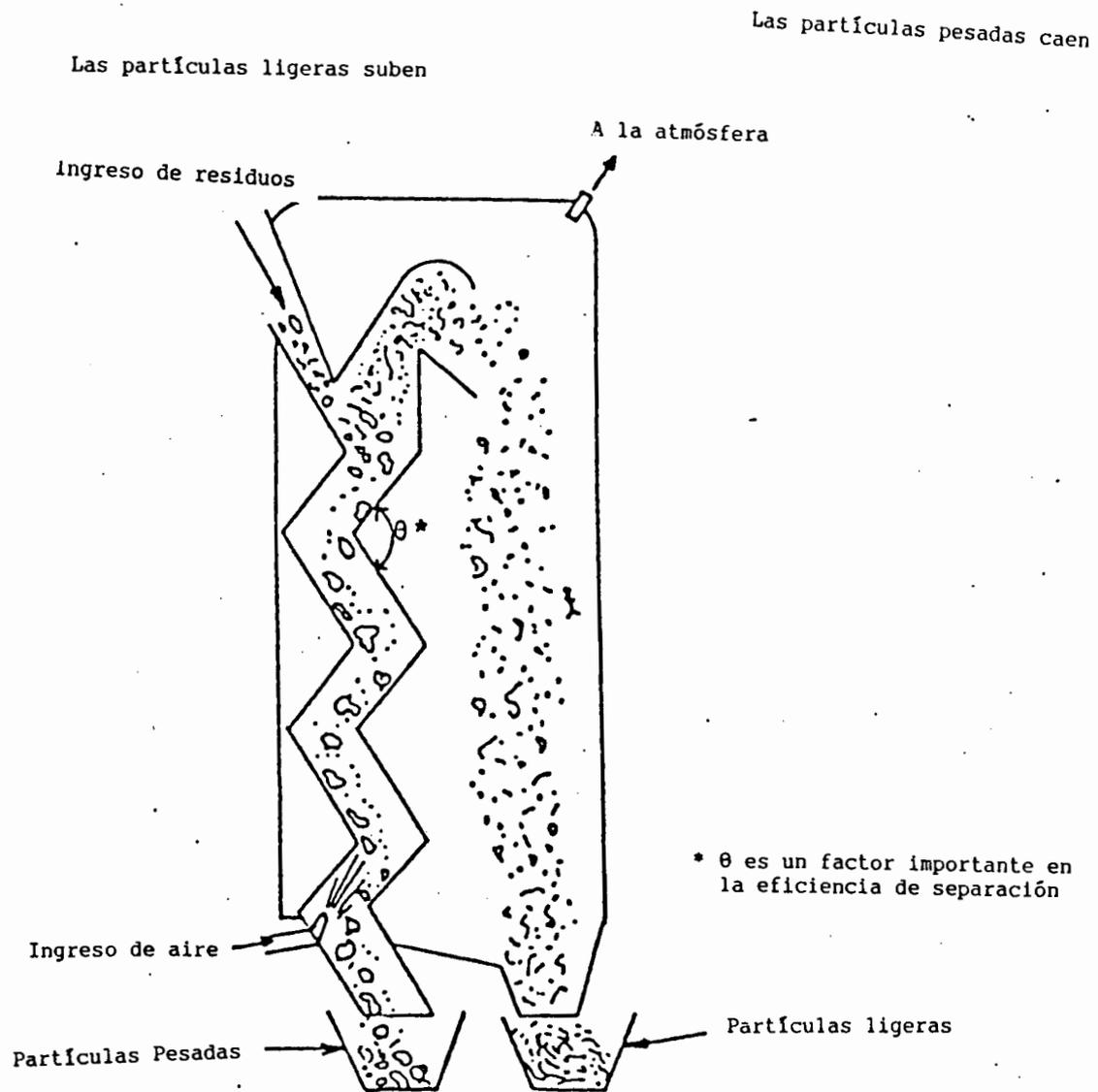
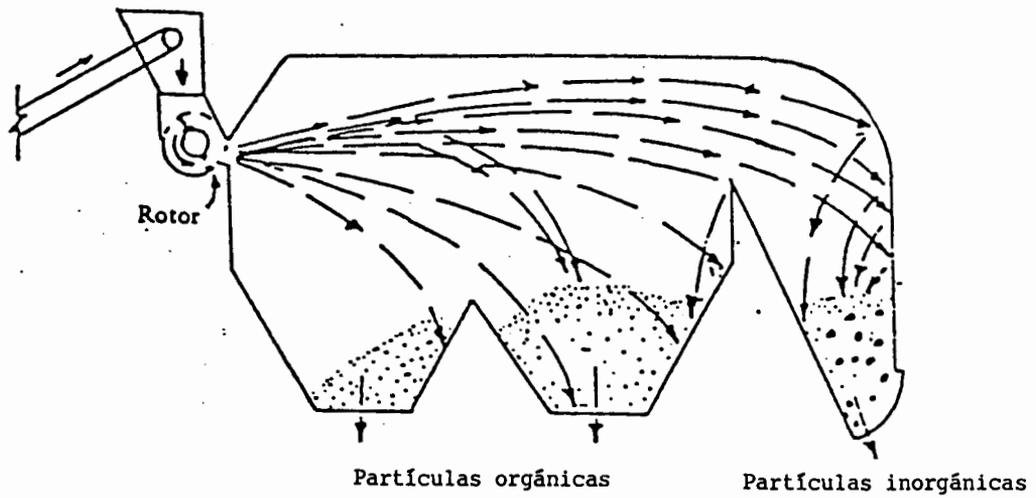
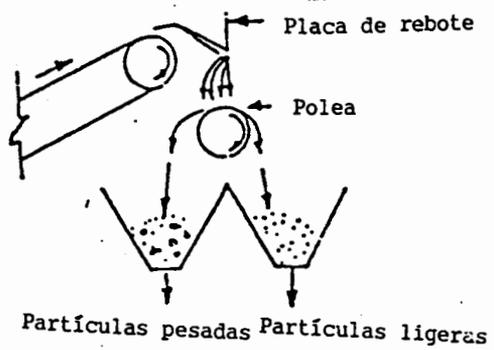


Fig. 3 Separador zig-zag

Separador balístico



Separador de rebote



Transportador inclinado

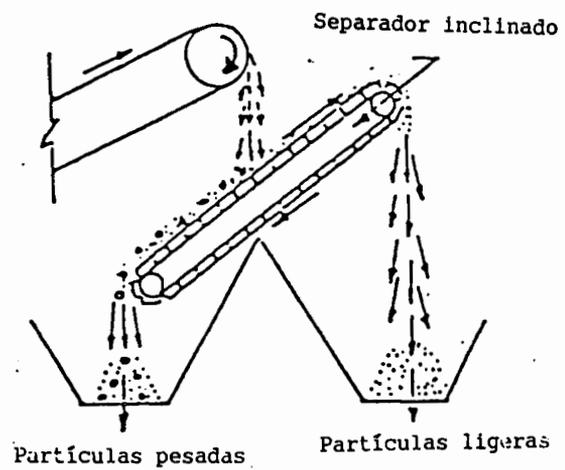


Fig.4 Separadores inerciales

Subproducto	% En peso	% Recuperable	Subproductos Reciclables
CARTON	4.10	70	2.87
TETRAPACK	1.66	50	0.83
HUESO	0.80	50	0.40
LATA	2.52	60	1.51
M. FERROSO	0.76	60	0.46
M. NO FERROSO	0.60	40	0.24
PAPEL	9.63	45	4.33
PAÑAL DES.	3.66		
PLASTICO PELICULA	3.42	55	1.88
PLASTICO RIGIDO	2.28	55	1.25
RES. ALIMENTICIOS	34.70		
TRAPO	1.94	60	1.16
VIDRIO COLOR	3.44	75	2.58
VIDRIO TRANSP.	4.25	75	3.19

FUENTE: POLITICAS Y Y ESTRATEGIAS EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES E INDUSTRIALES EN MEXICO. SEDUE (SIN FECHA)
 CUADRO 1. LOS SUBPRODUCTOS RECICLABLES.

DESTINO \ PAIS	EEUU	REINO UNIDO	CANADA	DINAMARCA	SUIZA	JAPON	RFA	ESPAÑA	FRANCIA	ITALIA
INCINERACION	8	2	6	32	80	72	28	5	36	18.5
RELLENO SANITARIO	82	98	93	64	16	24.5	69	76	47	35
COMPOSTA	-	-	-	4	2	1.5	2	19	8	5.5
OTROS	10	-	1	-	2	2	1	-	9	41

CUARDO 2. DESTINO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES EN DIVERSOS PAISES.
(PORCIENTO)

de las mismas.

- Los precios de los subproductos recuperados pueden sufrir variaciones significativas, lo cual puede a su vez afectar directamente los programas de reciclaje. Por ejemplo, las nuevas políticas de comercio exterior de México han permitido que importantes volúmenes de cartón, y en menor escala papel, penetren en el mercado mexicano de materiales reciclados, de manera que el incremento en el precio del cartón se ha mantenido por abajo en comparación con otros materiales.

- Para ciertos materiales cuya presencia en los RSM va en aumento, se desconoce en buena parte su potencial de reciclaje, como es el caso de los plásticos. Se hace necesario por lo tanto, apoyar programas de investigación y lograr índices importantes de reciclaje para esos subproductos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



CURSO SOBRE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS ACTUALIZADOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS.

TEMA: MINIMIZACION DE RESIDUOS, UNA ESTRATEGIA CLAVE EN EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS.

PROFESOR: DRA. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ

Junio 3, 4 y 5, 1993

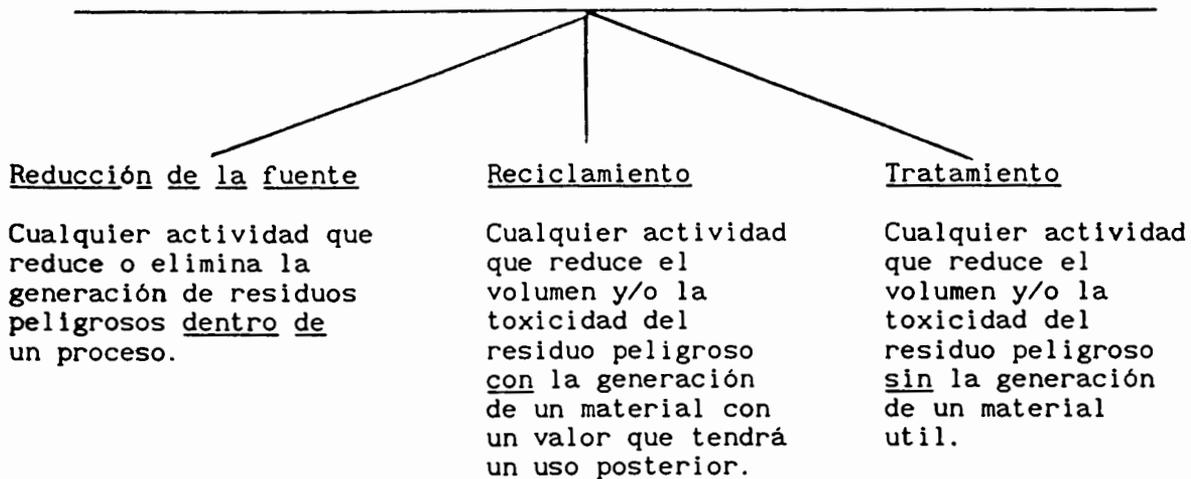
MINIMIZACION DE RESIDUOS, UNA ESTRATEGIA CLAVE EN EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Dra. Ing. Georgina Fernández Villagómez

La minimización de residuos, es una estrategia muy importante dentro del manejo de los residuos peligrosos en los países desarrollados. La Fig. 1, tiene una definición del concepto de minimización.

FIGURA 1. Definición del concepto de minimización del residuo.

Cualquier reducción de la fuente, reciclamiento o tratamiento que disminuya el volumen^(a) y/o la toxicidad^(b) del residuo peligroso



^(a) Reducción del volumen acompañado preferentemente de una reducción de la toxicidad.

^(b) Reducción de la toxicidad acompañado preferentemente por otros medios que no incluyan dilución.

Fuente: Turman, C.E. 1986. Hazardous Waste Control Through Reduction

Reducción de la Fuente.

- La reducción de la fuente es el componente más importante de la minimización de residuos, consiste en la sustitución del producto y en el control de la fuente. La sustitución del producto significa el reemplazamiento de un producto original por otro igualmente conveniente para el mismo uso; o la alteración de un producto original, que dé como resultado una disminución o eliminación de la generación del residuo peligroso asociado con la fabricación del producto original.

- Control de la fuente, significa la reducción o eliminación de la generación del residuo dentro del proceso a través de la alteración de las materias primas, cambio de tecnologías o procesos así como cambios institucionales (prácticas eficientes de operación o buenas técnicas de administración).

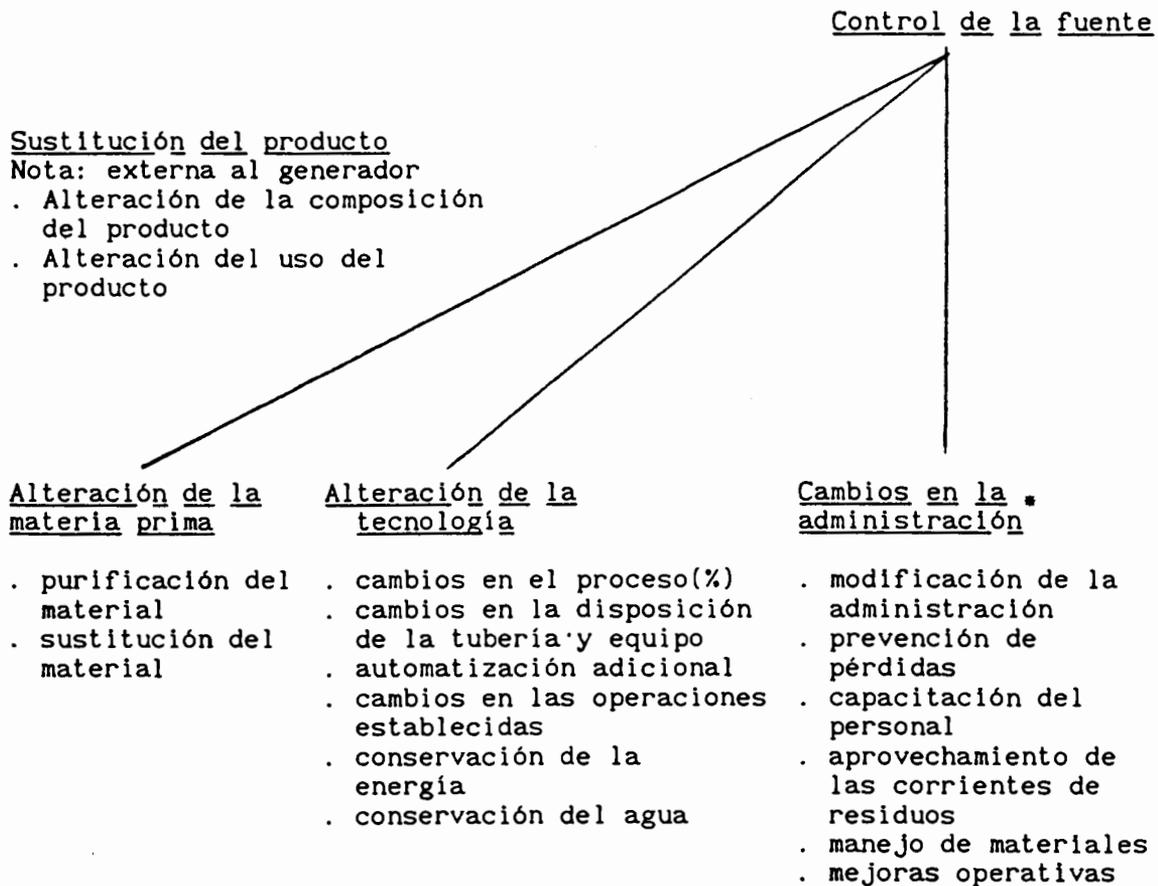
c). Temperatura.

1. Para la producción óptima del metano, se requiere una temperatura de 86-158°F (30-70°C).
2. Temperaturas abajo de los 59°F (15°C) retardan seriamente la actividad bacteriana metanogénica.
3. Normalmente las temperaturas máximas del relleno sanitario son de 86-104°F (30-40°C) pero dependiendo del clima, caen típicamente a rangos de 68°F (20°C) dependiendo de la edad del relleno sanitario.
4. Con frecuencia las temperaturas de los rellenos sanitarios son más bajas que las óptimas para las bacterias que forman metano, por lo que la generación total de metano y la composición del biogás se ven afectadas.

d). Grado de descomposición por tipo de residuo.

1. "Basura", lodos, materia orgánica, azúcares, grasas, almidones, etc. --- fácilmente degradables.
2. Residuos de madera, celulosa, maleza, etc. --- moderadamente degradables.
3. Residuos de demolición, troncos, etc. --- lentamente degradables.

FIGURA 2. Concepto de reducción de la fuente como un componente de la minimización del residuo.



* también referidos a buenas prácticas de operación o buenos trabajos en la administración

Fuente: Turman, C.E. 1986. Hazardous Waste Control Through Reduction

Reciclamiento.

El reciclamiento se caracteriza por tres prácticas principales: (1) uso directo o reuso de un residuo en un proceso, (2) recuperación de un material secundario para una separación y uso, como es el caso de la recuperación de los metales a partir de los lodos, y (3) remoción de impurezas a partir de un residuo para obtener una sustancia relativamente pura y reutilizable.

Tratamiento.

Dentro de los tratamientos que se pueden utilizar para estabilizar un residuo peligroso, se encuentran los de tipo físico, químico, térmico y los biológicos. La combinación de ellos entre sí, permite una mayor eficiencia de la separación o en algunos casos, de la recuperación de los materiales antes de disponerlos definitivamente en los sitios de confinamiento controlado.

DEFINICIONES PARA TRABAJAR EN LA MINIMIZACION DE RESIDUOS Y TERMINOS RELACIONADOS

Minimización de residuos: La reducción de los residuos peligrosos que se generan o posteriormente se tratan, se almacenan o disponen. Se incluye cualquier reducción de fuente o actividad de reciclamiento comprometida por un generador que resulta en: (1) la reducción del volumen total o cantidad de residuo peligroso o (2) la reducción de la toxicidad del residuo peligroso, o ambos, mientras que la reducción sea consistente con la meta de minimización presente y futura que amenace a la salud humana y al ambiente.

Reducción de volumen total o de cantidad: La reducción en la cantidad total de residuos peligrosos generados, tratados, almacenados o dispuestos, como se definió por volumen peso, masa o alguna otra medida apropiada.

Reducción de toxicidad: La reducción o eliminación de la toxicidad de un residuo peligroso por: (1) alteración del constituyente tóxico del residuo a formas menos tóxicas o no tóxicas o (2) disminución de la concentración de los constituyentes tóxicos en el residuo a través de otros medios diferentes a la dilución.

Reducción de la fuente: Cualquier actividad que reduce o elimina la generación de residuos peligrosos dentro de un proceso.

Control de la fuente: Cualquier actividad clasificable bajo reducción de fuente, con la excepción notable de sustitución del producto.

Sustitución del producto: El reemplazamiento de cualquier producto comprometido para un uso intermedio o final con otro producto comprometido y conveniente para el mismo uso intermedio o final.

Reciclado: Un material es "reciclado" si se usa, reusa o recupera (40CFR 261.1 [b][7])

Usado o reusado: Un material "usado o reusado" si: (1) se emplea como un ingrediente (incluyendo su uso como un intermediario) en un proceso industrial para fabricar un producto; sin embargo, un material no satisfecerá esta condición si los componentes distintos del material se recuperan como productos finales separados (como cuando los metales se recuperan de materiales secundarios que contienen metales) o (2) empleados en una función particular o aplicación como un sustituto efectivo para un producto comercial (40 CFR 261.1 [c][5]).

Recuperar: Un material se "recupera" si se procesa para recobrar un producto útil o si se regenera.

Tratamiento: (como parte de la minimización). Cualquier actividad o serie de actividades que disminuya el volumen y/o la toxicidad de residuos peligrosos sin recuperación de un material con valor que se utilice posteriormente en la fabricación de un producto comercial.

Fuente: U.S. Environmental Protection Office. 1986. Minimization of Hazardous Waste No. 530-5w-86-033 (October). Washington, D. C.

INCENTIVOS Y SANCIONES PARA MINIMIZACION DE RESIDUOS EN PAISES DESARROLLADOS

Los costos asociados con la disposición de residuos peligrosos en países desarrollados tienden a ser despreciables debido a los esfuerzos gubernamentales muy limitados de las normas de control de la contaminación del aire y del agua. Si los residuos se transportan fuera del sitio, el costo de disposición puede simplemente ser la oferta más baja que se reciba del transportista local, quien arroja el material a un sitio no controlado o dentro de pantanos, corrientes o lagos tan cerca como sea posible del generador de residuos. Por lo que, hay generalmente poco o ningún incentivo económico para que el generador de residuos se integre a la práctica de minimización a menos que dicho residuo, contenga un material con valor comercial y que pueda recuperarlo rápidamente, por ejemplo: oro y plata.

El requisito más importante para minimización de los residuos, es el esfuerzo activo de la reglamentación para el control de la contaminación del aire y del agua, así como del manejo de residuos peligrosos. Aún sin reglamentación específica requerida para disminuir los residuos y utilización de tecnologías para la disposición de residuos y las limitaciones sobre ciertas prácticas de disposición no aceptables proverán algún incentivo para dicha minimización.

Otras barreras para un programa efectivo de minimización en un plan particular puede incluir (Turman, 1986):

- falta de conocimiento de los beneficios de la minimización de los residuos.
- falta de personal técnico
- "manejo-fuera del proceso" una actitud causada por el miedo de establecer una calidad de un producto;
- inercia organizacional, por ejemplo, una actitud de: "si no está roto no lo unas";
- políticas internas de la organización, por ejemplo, un inovador puede sentirse inhibido por miedo a la falta de apoyo del superior;
- una actitud de "no puede hacerse"-- la gente puede rechazar una propuesta ciertamente inovativa debido a que está fuera de su ámbito de experiencia.

AUDITORIAS PARA MINIMIZACION DE RESIDUOS

Un que procedimiento que puede ayudar a salvar algunas de las barreras anteriores para identificar e implementar los planes de reducción de residuos, son las revisiones o auditorias ambientales (Fromm y Callahan, 1986). Los objetivos de las auditorias son:

- generar una lista comprensible de medidas de minimización de residuos o de opciones aplicables para especificar los procesos industriales, y
- jerarquizar todas las opciones identificadas para reducción de residuos y tener en cuenta una administración para dirigirla sobre opciones merecedoras de condiciones adicionales más profundas.

Una auditoria de minimización de residuos típica puede involucrar alguna o todos los siguientes pasos:

- selección del equipo de auditores
- recopilación por parte del equipo de auditores de una lista de corrientes residuales para las instalaciones con los diagramas de flujo asociados,
- generación por el equipo de auditores de las opciones de reducción de riesgos para corrientes residuales,
- establecimiento de prioridades, por parte del grupo de auditores de cada opción recopilada en tres categorías: efectividad, alcance de uso corriente y aplicación potencial,
- preparación por parte del grupo auditor de la documentación de apoyo para las opciones seleccionadas,
- presentación, discusión y revisión conjunta con el personal de planta de las opciones y sus prioridades,
- análisis por parte del grupo de auditores de las prioridades, y
- preparación del informe final.

El procedimiento anterior se aplica a las tres categorías de minimización de residuos (reciclado, tratamiento y reducción de la fuente). Sin embargo, originalmente se desarrolló y probó para las opciones de reducción de la fuente. Las medidas de reducción de la fuente deberían considerarse aún cuando las opciones de reciclado y tratamiento se les haya dado prioridad, debido a que reducir las cantidades de residuo que se reciclan o tratan, frecuentemente significa un incremento en ingresos (por ejemplo, debido a un aumento de la producción y unos costos de tratamiento más bajos). La siguiente tabla contiene una lista de verificación de las medidas de reducción de agua basadas en varios análisis de procesos y en experiencias acumuladas con las auditorias de minimización de residuos en diversas industrias.

TABLA 1. METODOLOGIA DE VERIFICACION DE REDUCCION DE RIESGOS
PARA TODOS LOS PROCESOS

Todas las corrientes residuales	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizar materiales de alta pureza. 2. Utilizar materias primas menos tóxicas. 3. Utilizar materiales no corrosivos. 4. Convertir los procesos discontinuos a continuos 5. Inspeccionar y dar mantenimiento al equipo cerrado herméticamente. 6. Entrenar mejor a los operadores. 7. Estrechar la supervisión. 8. Practicar una buena administración. 9. Eliminar o reducir el uso del agua para limpiar fugas. 10. Implementar equipo apropiado para "tecnologías limpias". 11. Usar sistemas de monitoreo perfeccionados. 12. Usar bombas con doble sello mecánico. 	
Mercancías producidas.	
Ejemplos contidianos: Acrilonitrilo; Epiclorofidrina; refineries de petróleo; 1,1,1-Tricloroetano, Tricloroetileno/ Percloroetileno, monómero de Cloruro de Vinilo	
Residuos pesados y ligeros:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar catalizadores más selectivos 2. Optimizar las variables de la reacción/ diseño del reactor. 3. Usar rutas alternas del proceso. 4. Quemar con calor recuperado.
Catalizadores gastados o derramados:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar un soporte resistente del catalizador. 2. Usar un filtro dentro del reactor. 3. Regenerar y reciclar el catalizador gastado.
Limpieza del residuo en el equipo.	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Incrementar el tiempo de drenado en el equipo. 2. Usar materiales resistentes a la corrosión. 3. Agitar y/o aislar el tanque de almacenamiento. 4. Revisar las necesidades para la limpieza de sustancias químicas. 5. Usar una capa de nitrógeno para reducir la oxidación. 6. Usar un proceso de limpieza a base de HX. 	
Fugas y derrames.	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Usar válvulas de fuelle serrado. 2. Usar bombas selladas. 3. Maximizar el uso de tubos soldados vs juntas con reborde. 	

Fuente: World Bank Technical Paper No. 93. 1989.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



CURSO SOBRE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS ACTUALIZADOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS.

TEMA: LOS RESIDUOS SOLIDOS HOSPITALARIOS:
RECOLECCION, ALMACENAMIENTO INTERNO Y TRANSPORTE.

PROFESOR: ING. PILAR TELLO ESPINOZA

Junio 3, 4 y 5, 1993

LOS RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS RECOLECCION,ALMACENAMIENTO INTERNO Y TRANSPORTE

Preparado por:
Ing. Pilar Tello Espinoza

1. INTRODUCCION

Los residuos sólidos generados en hospitales y establecimientos de salud presentan riesgos y dificultades especiales en su manejo debido, fundamentalmente, al carácter infeccioso de algunos de sus componentes, la existencia de objetos punzantes, y la presencia eventual de cantidades menores de sustancias tóxicas, inflamables y radiactivas de baja intensidad.

No obstante lo anterior, la mayor parte de los residuos que produce un hospital no ofrece mayores peligros que los asociados a los residuos municipales comunes.

Los riesgos antes mencionados involucran al personal que maneja los residuos sólidos tanto dentro como fuera del establecimiento; al resto de la población hospitalaria especialmente a los que se encuentran con defensas disminuidas; sino tambien puede ser causa de deterioro ambiental que trascienda los límites del recinto hospitalario, que directa o indirectamente pueden verse expuestos al contacto con material infeccioso o contaminado cuando los residuos son trasladados fuera del hospital para su tratamiento o disposición final.

Es de gran importancia que para abordar cualquier programa de control de las situaciones de riesgo derivadas del manejo inadecuado de los residuos de hospital es el caracterizar cualitativa y cuantitativamente el problema. Esto permite dimensionar los espacios físicos necesarios para manejar los diferentes tipos de desechos, decidir acertadamente acerca de que alternativas técnicas a utilizar para el tratamiento de cada una de los componentes y seleccionar los equipos y dispositivos mas convenientes para tal propósito.

El documento presenta un panorama de la situación actual del manejo de los residuos sólidos de hospital en América Latina, así como mostrar algunas técnicas para el almacenamiento, recolección y transporte de los mismos.

2. ANTECEDENTES

Apartir de los años setenta en adelante los países Latinoamericanos han evidenciado un creciente interés sobre la materia, lo que tuvo como resultado la realización de diversos estudios tendientes a conocer la tasa de generación de residuos sólidos en los establecimientos de salud.

En América Latina se han realizado diagnósticos en países como Chile(1973), Brasil(1978), Argentina(1988), Venezuela(1976), Paraguay (1989), Perú (1985 y 1991), México y Guatemala (1990), en los cuales se ha observado la grave situación en la que se encontraban estos residuos.

Las cifras promedio obtenidas en diversos países Latinoamericanos para la generación de residuos sólidos en hospitales fluctúan entre 1.0 y 4.5 Kg/cama/día, pudiéndose apreciar que dichas tasas de generación tienden a aumentar en el tiempo. En Estados Unidos de Norteamérica se registran cifras del orden de 3.5 Kg/cama/día para fines de la década del cuarenta, alcanzando cifras superiores a los 6 u 8 Kg/cama/día para los años ochenta. En México D.F, se producen 210 tm/día de éstos residuos. Las causas principales de este progresivo aumento de la tasa de generación de residuos sólidos hospitalarios son el incremento de la complejidad de la atención médica y el uso creciente de material desechable, y esto debido a enfermedades como el SIDA y otras que ponen en riesgo la salud de los que de una manera u otra están expuestos a los pacientes.

3. TERMINOLOGIA

3.1 Residuos médicos

Es cualquier residuo sólido que se genera durante el diagnóstico, tratamiento (ejemplo las consultas médicas), o en la inmunización de seres humanos o animales o en las investigaciones con ellas relacionadas, o en la producción y prueba de biológicos. Esta definición no incluye los residuos peligrosos.

3.2 Residuos infecciosos

Está comprendido por los equipos, instrumentos, utensilios, los fósiles de carácter desechable provenientes de cuartos de pacientes que tienen, o se sospecha que tienen, enfermedades transmisibles y que han sido aislados como disponen las autoridades de salud.

Los residuos de laboratorio tales como especímenes patológicos (ejemplo: tejidos , elementos sanguíneos, excretas y secreciones de pacientes o animales de laboratorios) y cualquier sustancia o material que pueda albergar o transmitir organismos patógenos . Especímenes patológicos y sustancias o

materiales que provengan de salas de cirugía, y cualesquiera materiales similares provenientes de servicios de consulta externa y salas de emergencia.

3.3 Residuos biomédicos

Se refieren a los residuos que incluyen residuos anatómicos, residuos patológicos, residuos infecciosos, residuos peligrosos, y otros residuos generados en instalaciones de cuidados de salud y laboratorios médicos que requieren especial manipuleo. Anteriormente se usaron los términos residuos patológicos ó residuos institucionales para referirse a lo que ahora se llama residuos biomédicos.

4. CLASIFICACION DE RESIDUOS SOLIDOS DE HOSPITAL

A nivel mundial se estan empleando diferentes tipos de clasificación de residuos sólidos de hospital, y muchos países aun no cuentan con clasificación alguna. En el caso de los Estados Unidos se viene probando una legislación que involucra una clasificación de residuos, que se espera para 1992 sea aceptada oficialmente. Esta legislación preparada por la EPA, ya es asumida por varios países como Brasil y Chile , mientras que otros esperan la posibilidad de adoptar una clasificación similar a la Alemana (LAGA) que es la tendencia mas aceptada en Europa y que esta propuesta para ser reconocida a nivel del Mercado Común Europeo. A continuación se mencionaran las características de estas dos clasificaciones, y la clasificación Canadiense .

4.1 Clasificación de EPA - USA

Debe notarse que el Reglamento de residuos sólidos de la EPA se encuentra en el volumen 40 del Federal Register en la parte 259. En éste documento los residuos sólidos médicos, solo incluyen los residuos infecciosos o susceptibles de serlo, y aquellos que pueden producir lesiones . Es decir que se excluyen los residuos de oficinas, cafeterias y otros que no estan contemplados en la siguientes 7 clases:

CLASE 1 : CULTIVOS Y MUESTRAS ALMACENADAS : Se incluyen aqui los desechos de cultivos y muestras almacenadas de agentes infecciosos, incluyendo los de laboratorios médicos patológicos, de investigación y de la industria. Se contemplan tambien desechos de la producción biológica como vacunas, placas de cultivos y los utensilios usados para su manipulación.

CLASE 2 : RESIDUOS PATOLOGICOS : Desechos patológicos humanos, incluyendo tejidos, órganos, partes y fluidos corporales, que se remuevan durante las autopsias, las cirugias u otros, incluyendo las muestras para análisis.

CLASE 3 : SANGRE HUMANA Y PRODUCTOS DERIVADOS : Se incluyen aquí: La sangre, productos derivados de la sangre, materiales empapados o saturados con sangre, materiales como los anteriores aún cuando se hayan secado, incluyendo el plasma , el suero y otros, así como los recipientes que los contienen o contuvieron como bolsas plásticas y mangueras intravenosas, etc.

CLASE 4 : PUNZOCORTANTES : Elementos punzocortantes que estuvieron en contacto con pacientes humanos o animales durante el diagnóstico, tratamiento, investigación. Productos industriales, incluyendo agujas hipodérmicas, jeringas, pipetas de pasteur, agujas, bisturís, y mangueras, placas de cultivos, cristalería entera o rota, etc., que hayan estado en contacto con agentes infecciosos.

CLASE 5 : RESIDUOS DE ANIMALES : Se incluyen aquí los cadáveres o parte de animales infectados, así como las camas, cajas usadas; provenientes de los laboratorios de investigación médica, veterinaria o industrial.

CLASE 6 : RESIDUOS DE AISLAMIENTO : Residuos biológicos , excreciones, exudados o materiales de desecho provenientes de salas de aislamiento con enfermedades altamente transmisibles. Se incluyen también a los animales aislados.

CLASE 7 : PUNZOCORTANTES NO USADOS : Cualquier punzocortante desechado aún cuando no haya sido usado.

Nota:

- a.- Se considera también residuo sólido médico a las mezclas de los anteriores.
- b.- Los residuos médicos de casas particulares no se incluyen en el reglamento .
- c.- Las cenizas producto de la incineración de residuos médicos no se consideran ya como residuos médicos .
- d.- Se excluyen los residuos peligrosos.
- e.- Los residuos de procesos de tratamiento de los desechos sólidos médicos tampoco se consideran ya como tales.
- f.- Los cadáveres y restos de partes anatómicas tampoco se consideran incluidos cuando van a quemarse o enterrarse.

4.2 Clasificación Alemana

Esta compuesta de 5 clases, las cuales son :

CLASE A : RESIDUOS COMUNES : comprende áreas administrativas y limpieza en general; residuos de preparación de alimentos; embalaje y cenizas.

CLASE B : RESIDUOS POTENCIALMENTE PELIGROSOS DENTRO DEL HOSPITAL: Área de hospitalización; consulta externa y emergencias.

CLASE C : RESIDUOS PELIGROSOS Y RESIDUOS INFECCIOSOS: Area de aislamiento (enfermos infectocontagiosos); laboratorio de microbiología; residuos cortantes y punzantes (equipo de hemodiálisis, quirófanos y salas de parto); cuerpos y excrementos de animales de experimentación con enfermedades infecciosas.

CLASE D : RESIDUOS PELIGROSOS Y RESIDUOS ORGANICOS HUMANOS: Quirófano y salas de parto; autopsias, anatomia patológica.

CLASE E : RESIDUOS PELIGROSOS / RESIDUOS ESPECIALES : Residuos químicos, farmacéuticos, inflamables; residuos radiactivos y de radioterapia.

4.3 Clasificación Canadiense

Es la clasificación propuesta por el Ministerio de salud del Canada, que presenta código de colores para su mejor identificación.

TIPO A - CLASE 1 : Anatomia humana.
Código de color : ROJO.

TIPO A - CLASE 2 : Piezas anatómicas de animales infectados
Código de color : NARANJA.

TIPO A - CLASE 3 : a) Piezas no anatómicas, infectadas. AMARILLO
b) Residuos de laboratorio. AMARILLO
c) Residuos de trabajo con ADN. AMARILLO

TIPO B - CLASE 1 : Anatomia animal no infectada. AZUL.

5. ALMACENAMIENTO Y RECOLECCION INTERNA DE RESIDUOS SOLIDOS DE HOSPITAL

5.1 Almacenamiento

Es preferible tratar los residuos hospitalarios que constituyen un riesgo lo mas pronto posible despues de su generación, pero esto no siempre es posible por lo cual es conveniente un almacenamiento adecuado. Existen 4 factores importantes que se deben considerar cuando se almacenan desechos infecciosos :

- . La integridad del empaque .
- . La temperatura del almacenamiento
- . Duración del almacenamiento
- . Ubicación y diseño del área de almacenamiento.

El empaque debe proporcionar confinamiento del desecho a través de todo el proceso de manejo. Además, el empaque debe impedir la presencia de roedores e insectos, que pueden ser transmisores de enfermedades contagiosas.

La temperatura y duración del almacenamiento son consideraciones importantes. Cuando aumenta la temperatura, las tasas de crecimiento microbiano y putrefacción también aumentan.

Esto trae como consecuencia el olor desagradable típicos de materia orgánica en descomposición.

Sobre el tiempo de almacenamiento aún no hay consenso, sin embargo algunas ciudades como California permite como máximo 4 días a 32.F ó 0.C.

El área de almacenamiento debe ser especialmente diseñada y ubicada cerca al lugar de tratamiento o al lugar de salida del centro hospitalario. Por razones de seguridad, el área de almacenamiento debe tener acceso limitado a personas no autorizadas, además que debe colocarse el símbolo universal de peligro biológico.

5.2. Empaques

Los residuos sólidos de hospitales deben empacarse para proteger a las personas que manejan el desecho y al público en general de posibles daños y enfermedades que pueden resultar de la exposición de los mismos. El residuo hospitalario debe estar desde el punto de origen hasta el punto de disposición final confinado.

Por consiguiente la integridad del empaque debe preservarse a través del manejo, almacenamiento, transporte y tratamiento.

Los siguientes factores deben considerarse al seleccionar el empaque apropiado:

- . Tipo de desecho
- . Manejo y transporte del desecho empacado (antes del tratamiento)
- . Técnica de tratamiento
- . Consideraciones especiales para bolsas plásticas
- . Identificación del empaque.

5.2.1 Consideraciones importantes para bolsas plásticas

La calidad de una bolsa plástica y su conveniencia para su utilización en el confinamiento de residuos infecciosos están determinadas por las materias primas usadas en su

manufactura y las especificaciones del producto .

Generalmente se utilizan dos tipos de criterios para juzgar la conveniencia de una bolsa plástica: su grosor y su durabilidad .

Una consideración importante es la selección de bolsas plásticas irrompibles que mantengan su integridad (al menos hasta que el residuo sea tratado o dispuesto), y así prevenir la dispersión de agentes infecciosos en el medio ambiente.

La incidencia de ruptura de bolsas puede reducirse en algo si :

- . No se colocan materiales con bordes punzantes o cortantes
- . No sobrecargar una bolsa mas alla de de su capacidad de peso y volumen,
- . Evitar que la bolsa se ponga en contacto con objetos punzantes o cortantes.

Una técnica útil es el uso de dobles bolsas, en vez de utilizar una sola.

Por razones estéticas, es preferible el plástico opaco, especialmente cuando estas van a contener residuos patológicos

5.2.2 Identificación del empaque

El desecho infeccioso debe ser facilmente identificado, esto es mediante un color, que generalmente es rojo o anaranjado lo que indica que es un material de peligro. Otra opción es el uso del símbolo universal de peligro biologico , así como tambien el uso de etiquetas que indiquen el tipo de residuo, la fecha y la procedencia.

5.2.3 Tipos de empaques

El tipo de empaque ser de acuerdo a las características del desecho. Para residuos infecciosos líquidos debe colocarse botellas o frascos cerrados y con buenas tapas. Los desechos sólidos o semi-sólidos tales como desechos patológicos , carcasas de animales y desechos de laboratorio pueden colocarse en bolsas plásticas .

Los materiales puntiagudos deben colocarse directamente en contenedores impermeables, rígidos y resistentes a las punzaciones, para eliminar el peligro a daños físicos. No se recomienda recortar las agujas a menos que el aparato que se utilice para cortar contenga efectivamente las partes de las agujas.

El vidrio, el metal, el plástico rígido, la madera y el cartón pesado son contenedores apropiados para los materiales punteagudos, además los contenedores deben ser compatibles con

los procesos de tratamiento seleccionados. Los contenedores con objetos punzantes deben estar además de identificados, sellados antes de su manejo y preservarse a través del manejo, almacenamiento, transporte y tratamiento.

5.3 Recolección

Para optimizar la actividad de recolección de residuos y transporte interno, se deberá contar con equipos necesarios para no exponer a los pacientes, empleados y público en general al peligro de contaminarse. Tomando en cuenta que los residuos hospitalarios son generados en forma continua durante 24 horas, debe recolectarse generalmente en 3 turnos. La frecuencia de recolección varía de acuerdo con el área a recoger, dependiendo de sus actividades y tipo de residuo que genera.

Existen consideraciones importantes a tener en cuenta en la etapa de recolección como es:

- . Planear la localización de los contenedores en lugares estratégicos. Esto es en número y características.
- . Considerar que las bolsas no son suficientemente fuertes para el transporte interno por eso se usarán contenedores rígidos o semi-rígidos .
- . Los contenedores de materiales puntiagudos y líquidos pueden colocarse dentro de otros contenedores , y deben tener tapa
- . No se debe utilizar equipos mecánicos para transportar o cargar las bolsas de plástico que contienen estos desechos
- . Los contenedores que llevan a su vez bolsas con residuos pueden ser reutilizados, previo lavado y desinfección .
- . No debe usarse equipos de compactación en la recolección de residuos peligrosos de hospital, así como puede destruir la integridad del empaque.
- . Diseñando de manera adecuada las rutas de recolección, optimizando el ciclo de movimiento, minimizando las distancias de recorrido ,reduciendo la exposición a las personas que se encuentran en el hospital .

6. TRANSPORTE

Hay dos factores que deben considerarse para asegurar un transporte adecuado de los residuos sólidos de hospital , los cuales son :

- . Un empaque apropiado para asegurar un confinamiento seguro
- . El equipo adecuado de transporte.

Los residuos se deben transportar en camiones herméticos con volteo hidráulico, para prevenir que el desecho se derrame, o se esparza .

El camión tendrá un dispositivo para almacenar los lixiviados generados durante el transporte, de tal manera que cuando se llegue a la planta de tratamiento o al lugar de disposición final donde éste sea descargado.

El camión podrá tener un equipo de compactación mínima, aunque muchas veces no es recomendable, ya que los residuos sólidos de hospital tienen una humedad mayor que los residuos sólidos domésticos, esto es aproximadamente 70 y 80 %.

El transportista deberá tener una guía de transporte que consiste en un documento que especifique :

- . Datos del generador.
- . Datos del transportista .
- . Datos del destinatario.
- . Datos del residuo: volumen , cantidad, número de recipientes o bolsas, y características especiales en el caso que así lo requiera.

Es importante que exista un proceso de seguimiento o rastreo así como sigue :

- El generador deber llenar la GUIA con todos los datos solicitados, y entregarla al transportista al momento de entregarle los residuos médicos.
- El transportista deber verificar que los datos, cantidades etc., están correctos y firmar el recibo dejando una copia de la GUIA al generador para su archivo .
- Durante el transporte, la GUIA deber acompañar a la carga en todo momento.
- Al momento de entregar la carga al destinatario, el transportista deber anotar en la GUIA la fecha y recabar la firma de éste, guardar la copia para su archivo y entregar una copia al destinatario, y remitir una copia al generador.
- El destinatario deber verificar los datos con la carga de residuos y anotar en la GUIA cualquier discrepancia .

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Tello , Carmen del Pilar; Diagnóstico Preliminar de la situación de los residuos sólidos hospitalarios en la ciudad de Lima Metropolitana. Documento técnico del CEPIS/OPS/OMS. Perú. 1991.
2. Monreal, Julio; Consideraciones sobre el manejo de los residuos de hospitales en America Latina. Programa Salud Ambiental. OPS/OMS.1991.
3. EPA ; Parte 259 de la Norma para la localización y el manejo de residuos médicos. USA. 1989.

4. De la Torre, M.; Los residuos sólidos en un hospital del servicio Nacional de Salud. Informe técnico del servicio Nacional de Salud. Santiago, Chile. 1973.
5. Genatios, E.; Manejo y transporte de desechos sólidos en Institutos hospitalarios y formas de determinar las cantidades producidas. Caracas, Venezuela. 1976.
6. Machado, M.C. y Oliveira, G.M.; Residuos sólidos hospitalares, Companhia de Tecnología de Saneamento Ambiental, CETESB. Sao Paulo, Brasil . 1978.
7. Batstone , R y Smith, J.; The safe disposal of hazardous wastes. The special needs and problems of developing countries. Documento del Banco Mundial, OPS/OMS, PNUD. Volumen III. 1989.
8. Estrada,R y Gutierrez, M. ; Manejo de los residuos sólidos en unidades médicas. Memorias del Congreso de Ingenieria Sanitaria y Ambiental de Mexico. Mexico . 1991.
9. EPA ; Guia para el manejo de los desechos infecciosos. USA. 1986.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



CURSO SOBRE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS ACTUALIZADOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS.

TEMA: PROCESOS DE ESTABILIZACION PARA RESIDUOS PELIGROSOS

PROFESOR: DRA. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ

Junio 3, 4 y 5, 1993

PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN PARA RESIDUOS PELIGROSOS

Dra.-Ing. Georgina Fernández Villagómez

Introducción

El área de riesgos químicos se inició en febrero de 1991 y concentra básicamente, la atención al riesgo industrial, en lo relativo no tanto a los problemas internos para el personal e instalaciones de las plantas, sino a los problemas que puedan causarse al entorno de la planta, por escape de gases y líquidos tóxicos, incendio y explosiones. Se consideran también los riesgos asociados al transporte de los productos industriales peligrosos y a la estabilización de los residuos peligrosos (sólidos, líquidos y gaseosos).

Actualmente se colabora con las dependencias gubernamentales encargadas de la revisión de las Normas Técnicas Ecológicas (NTE), para el manejo, disposición, transporte e identificación de residuos peligrosos. Se ha elaborado ya un folleto que contiene información sobre las características de los constituyentes que hacen a un residuo peligroso. Además de investigar sobre las diferentes tecnologías para el tratamiento de residuos peligrosos, basadas en procesos fisicoquímicos, biológicos y térmicos. El manejo y la disposición segura de los residuos estabilizados, se ha empezado a estudiar.

Problemática del tratamiento de residuos peligrosos

Las Leyes y reglamentos de varios países, limitan la introducción de residuos químicos peligrosos a la biósfera y prohíben que los seres humanos se expongan a estos residuos a través de las diferentes rutas: ingestión directa o indirecta de alimentos y bebidas contaminadas, del contacto físico, por inhalación de polvos o vapores contaminados. El cumplimiento de estas leyes y la disposición adecuada de los residuos peligrosos resulta costosa, sin embargo es necesaria para la preservación del ambiente y de la salud humana (Fig. 1).

En todo el mundo hay cada vez más grupos de personas que rechazan ubicar las instalaciones de tratamiento y disposición de residuos peligrosos en sus comunidades. A pesar que la mayor parte de la gente reconoce que estos residuos deben de recibir un tratamiento y disposición adecuados, temen que ocurra un accidente o que las emisiones continuas de bajo nivel de agentes contaminantes al aire, agua o suelo puedan, eventualmente, perjudicar su salud.

Las empresas que estabilizan los residuos peligrosos, no consiguen lugares adecuados para los sitios de disposición, los incineradores y plantas de tratamiento. En algunos casos, les es más barato embarcar sus residuos peligrosos hacia un país en el que los reglamentos de control sobre almacenamiento, tratamiento y disposición de tales residuos no sean tan estrictos. Es más, un país menos industrializado todavía puede no estar consciente de los posibles peligros causados por los residuos peligrosos.

Los pagos por aceptar los residuos también pueden ser atractivos. A menudo se presentan los siguientes beneficios: nuevos empleos, creación de industrias locales afines que utilizan los materiales recuperados, y tratamiento de los residuos generados en la misma localidad. Por esto, pueden ser grandes las motivaciones económicas, tanto para los exportadores como para los importadores, para llevar a cabo el transporte internacional.

Un gran volumen de residuos peligrosos se ha generado durante las últimas décadas, como resultado de diversos procesos químicos, los sitios previstos para su almacenamiento y disposición controlada, se han saturando paulatinamente y como consecuencia, se encuentran clausurados la mayoría de ellos.

La industria, por su parte, ha tomado medidas para tratar de solucionar el problema, considerando diferentes estrategias y medidas para procesos futuros. Las llamadas "tecnologías limpias" resuelven en gran medida la reducción de riesgos, ya que emplean tratamientos para la estabilización de las sustancias que no se pueden integrar nuevamente al proceso.

La modificación de los procesos o la sustitución de materias primas por otras, cuyos subproductos no resulten nocivos a la salud y al ambiente, es una estrategia a considerar. La comercialización de los productos y subproductos así como la utilización y conversión de los mismos, contribuye a la minimización de su presencia en el planeta. El control, tratamiento y disposición adecuada de los residuos peligrosos generados, constituyen una medida de mitigación adicional para la preservación de la calidad del ambiente (Fig. 2).

Definiciones de algunos términos

Todas las sociedades producen desperdicios (es decir, desechos domésticos, aguas negras, residuos sólidos municipales, subproductos de manufacturas, residuos y descargas industriales). La minimización de los residuos constituye una meta tecnológica adecuada, pero su logro no significa que se elimine el problema de su disposición.

Debido al crecimiento económico, en muchos países, ha aumentado rápidamente el uso de sustancias químicas para diversos fines. Algunas de estas sustancias químicas pueden afectar a la salud humana, de animales y plantas, si se liberan al medio ambiente. Estos compuestos químicos toman el nombre de *peligrosos* y cuando ya no se pueden aprovechar o se desechan, se les denomina *residuos peligrosos*.

Los residuos se pueden encontrar en forma líquida, sólida, gaseosa, emulsiones, suspensiones o lodos y casi siempre constituyen mezclas complejas de diversos compuestos químicos.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América, un residuo peligroso se define como "Un residuo sólido o una combinación de residuos, los cuales debido a su cantidad, concentración, sus características físicas, químicas o infecciosas pueden:

1. Causar o contribuir significativamente a incrementar la mortalidad o las enfermedades serias, irreversibles o que produzcan incapacitación.
2. Poseer un peligro substancial o potencial para la salud humana o el ambiente cuando se tratan, almacenan, transportan o se disponen inadecuadamente."

Aun cuando la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (USEPA), menciona el término "residuo sólido", ésta definición también incluye residuos semisólidos, líquidos y gaseosos (USEPA, 1990).

Se identifica como residuos peligrosos, cualquier residuo sólido que presente una o más de las siguientes características: (Norma Técnica Ecológica 001/88).

Corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad.

Clasificación de materiales peligrosos

Para fines de tratamiento, se considerarán 8 tipos de compuestos y una mezcla de aceite/agua, (Rich, 1987):

1. compuestos inorgánicos sin metales pesados
2. compuestos inorgánicos con metales pesados
3. Compuesto orgánico sin metales pesados
4. Compuesto orgánico con metales pesados
5. Compuesto radiológico
6. Compuesto biológico
7. Compuesto flamable
8. Compuesto explosivo
9. aceite/agua

Procesos de tratamiento para residuos peligrosos

La tecnología para estabilizar completamente todo tipo de residuo peligroso no existe actualmente. Se debe de considerar la naturaleza física y química de la sustancia a procesar, así como los productos que se pueden generar como resultado del tratamiento (Fig. 3). La combinación de dos o más métodos es muy recomendable así como continuar con un método de fijación-encapsulamiento, que minimice al máximo el riesgo de contaminación al ambiente.

Los métodos más utilizados para la disposición son los rellenos sanitarios y la incineración. Ambos procesos resultan en cierta manera riesgosos. Existe una gran posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas como consecuencia de la fuga de los lixiviados producidos en los sitios de disposición controlada; no obstante que el diseño y la operación de los mismos, se han perfeccionado sustancialmente (Fig. 4). Asimismo, se ha incrementado la eficiencia de combustión y la implementación de diferentes dispositivos en los equipos contribuyendo a la disminución de la emisión de gases y partículas a la atmósfera.

Tratamientos físicos.

Se aplican a residuos líquidos, sólidos y gaseosos. Los residuos líquidos son los más factibles de tratarse por estos métodos, ya que su función primordial es la de separación y reducción de volumen. Sin embargo hay métodos que disminuyen la toxicidad, agilizan el tratamiento o se consideran adecuados para disponer a las sustancias de una manera definitiva y segura (Fig. 5).

Los residuos a tratar pueden ser de cualquier tipo, pues estas metodologías abarcan a los 9 tipos de compuestos considerados.

Tratamientos químicos

Este tipo de proceso involucra el uso de reacciones químicas para transformar las corrientes residuales peligrosas en sustancias menos peligrosas, así como tratamientos físicos para facilitar su separación; puede fomentar la recuperación de los recursos de las sustancias peligrosas, por lo que puede emplearse para obtener subproductos útiles y efluentes residuales ambientalmente aceptables.

Los tratamientos químicos van a tener mejor eficiencia de estabilización sobre los residuos peligrosos con bajo contenido de materia orgánica. Se presentará la disminución de volumen, la reducción de la toxicidad y la separación de contaminantes. Se aplican a las cinco primeras sustancias consideradas (Fig. 6).

Tratamientos biológicos

El tratamiento biológico pueden ser una forma eficiente a bajo costo de remoción de sustancias peligrosas de aguas residuales y aguas subterráneas contaminadas, lixiviados de rellenos sanitarios y suelos contaminados. Los procesos biológicos se utilizan para tratar los residuos que contienen una carga orgánica alta, es decir, sus compuestos están constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno, principalmente. Como se puede observar en la Fig. 7, estas tecnologías se aplican a las sustancias orgánicas con o sin metales pesados.

Tratamientos térmicos

El tratamiento térmico es uno de los medios más efectivos para reducir el peligro potencial de muchos residuos y en algunas ocasiones convertirlos a una forma de energía útil. Este tratamiento consiste básicamente en una oxidación controlada a alta temperatura de los compuestos orgánicos primarios para producir CO₂ y H₂O. También se producen sustancias inorgánicas adicionales como ácidos, sales y compuestos metálicos que se derivan del mismo residuo.

Los procesos de tratamiento térmico han sufrido modificaciones sustanciales en cuanto a los equipos que se emplean, las temperaturas actualmente son muy elevadas y los tiempos de retención son muy pequeños. La función principal de este tratamiento es la disminución del volumen y la reducción de la toxicidad y es aplicable a las ocho primeras sustancias consideradas; las eficiencias de combustión se incrementan cuando se emplean para sustancias peligrosas con bajo contenido de humedad (Fig. 8).

Tecnologías de estabilización/solidificación

En el manejo de residuos peligrosos, la estabilización/solidificación es un término normalmente utilizado para designar una tecnología que emplea aditivos para reducir la movilidad de los contaminantes, haciendo así al residuo aceptable a los requerimientos de disposición en el suelo. Los residuos a estabilizarse mediante este método, pueden estar en forma líquida o sólida (Fig. 9). En la Fig. 10, se encuentra una Tabla de compatibilidades entre algunas categorías de residuos.

Conclusiones

La selección de las metodologías de tratamiento, depende de muchos factores, entre los cuales se deben considerar:

- . La naturaleza del residuo a tratar
- . El estado físico del residuo
- . La concentración de la corriente a tratar
- . El equipo necesario
- . El equipo auxiliar
- . Pre o post-tratamiento requerido
- . La efectividad y el costo de la tecnología

Bibliografía

Consortio de la Cuenca del Pacífico para la Investigación de los Residuos Peligrosos. (1988). Transporte y disposición de residuos peligrosos a nivel internacional. Preparado para el Programa Ambiental para la Región del Pacífico Sur (SPREP); traducido y adaptado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Kokozka, L.C. y Flood J.W. (1989). Environmental Management Handbook. Ed. Marcel Decker, New York.

Malone, P.G. Jones L.W. USEPA (1982). Guide to the Disposal of Chemical Stabilized and Solidified waste.

NTE-CRP-001/88 Acuerdo por el que se expide la Norma Técnica Ecológica, que establecelos criterios para la determinación de los residuos peligrosos y el listado de ls mismos". Gaceta Ecológica No. 11., Vol. 11.

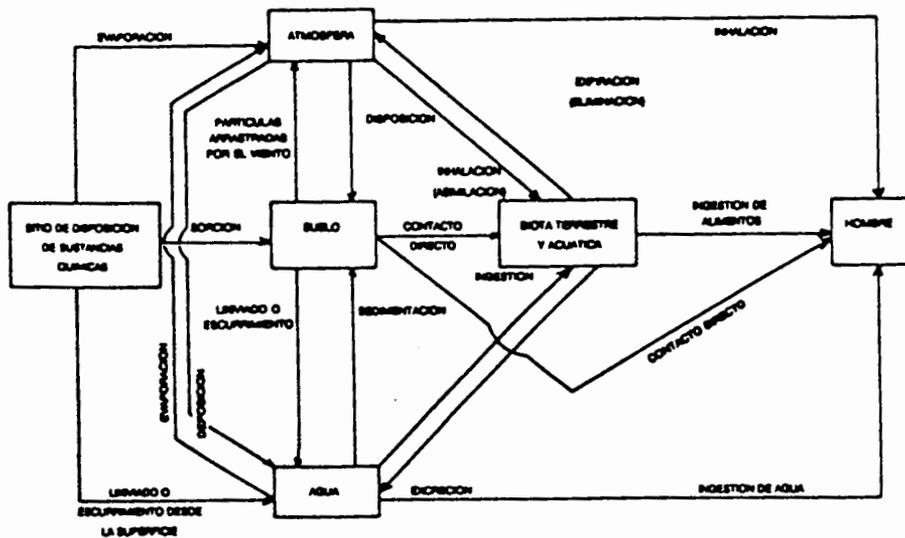
Rich, G. (1987). Waste Treatment Technologies: The choice is yours", Ed. Pollut, Eng.

U.S. Department of Energy Assistant Secretary, Conservation and Renewable Energy. Office of Industrial Technologies. Industrial Waste Reduction Program Under Contract # DE-ACOI-87CE40762. September 3, 1991.

USEPA (1991). Abstracts Proceedings: Second Forum on Innovative Hazardous Waste Treatment Technologies, Dallas Tx. mayo 1991.

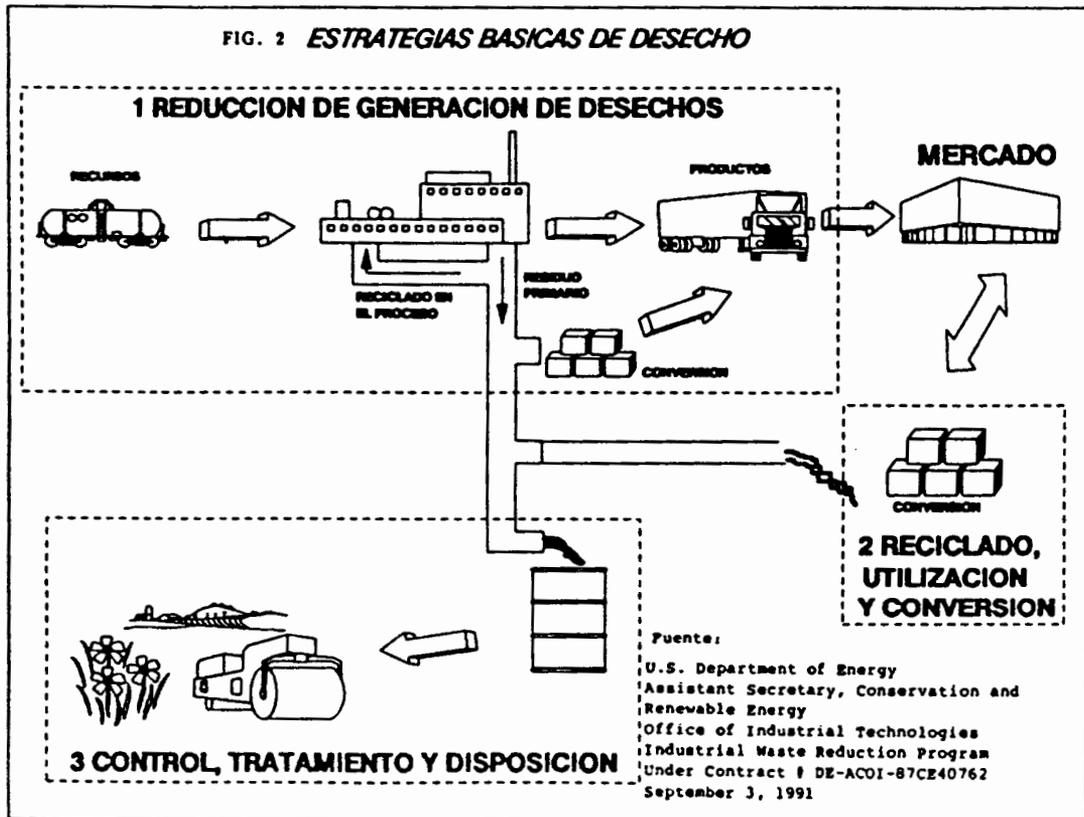
Word Bank Technical Paper No. 93. (1989). The Safe Disposal of Hazardous Waste. Editado por Balstone R. J.E. smith Jr. y D. Wilson. Estudio conjunto del Banco Mundial, Organización Mundial de la Salud y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas.

FIG. 1 RUTAS FISICAS Y BIOLÓGICAS DE TRANSPORTE DE SUSTANCIAS PELIGROSAS, SU LIBERACION DESDE EL SITIO DE DISPOSICION Y POTENCIAL PARA EXPOSICION HUMANA.



FUENTE. THE SAFE DISPOSAL OF HAZARDOUS WASTES, WORLD BANK TECHNICAL PAPER No. 89

FIG. 2 ESTRATEGIAS BASICAS DE DESECHO



TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO FISICO

	FUNCION	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
AERACION	SEPARACION	1 2 3 4	LIQUIDO
SEPARACION CON N-H	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4	LIQUIDO
ADSORCION EN CARBONO	REDUC VOL. SEPARACION	1 3 4 5	LIQUIDO GAS
CENTRIFUGACION	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
DIALISIS	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4	LIQUIDO
DESTILACION	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
ELECTRODIALISIS	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5 6	LIQUIDO
ENCAPSULAMIENTO	ALMACENAMIENTO	1 2 3 4 5 6	LIQUIDO SOLIDO
EVAPORACION	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 5	LIQUIDO
FILTRACION	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO GAS
FLOCULAC/SEDIMENTAC	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
FLOTACION	SEPARACION	1 2 3 4	LIQUIDO
OSMOSIS INVERSA	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 4 6	LIQUIDO
SEDIMENTACION	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
SEPARACION CON AIRE	SEPARACION	1 2 3 4 6	LIQUIDO SOLIDO
GRAVEDAD (AGUA/ACEITE)	SEPARACION	2 4 6	LIQUIDO
ULTRAFILTRACION	SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
SEPARACION CON VAPORES	SEPARACION	1 2 3 4 6 7 8	LIQUIDO
MICROONDAS	DESINTOXICACION	1 2 3 4 5 7 8	SOLIDO LIQUIDO GAS
CONGEL/ CRISTAL	SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
SEPARACION MAGNETICA	SEPARACION	1 2 3 4 5 6	SOLIDO LIQUIDO GAS
COAGULACION	SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
DETONACION	DESINTOXICACION	6 8	SOLIDO LIQUIDO GAS
SEPARACION ACEITE/AGUA	SEPARACION	9	LIQUIDO
RESINA DE ABSORCION	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5 6	LIQUIDO GAS
FOTOLISIS	DESINTOXICACION	1 2 3 4	LIQUIDO
COMPENSACION	MEJORA TRATAMIENTO	MEJORA TRATAMIENTO	LIQUIDO
AJUSTE DE TEMP	AGUZA ALCUNOS TRAT	AGUZA ALCUNOS TRAT	LIQUIDO

- 1 = COMPUESTO INORGANICO SIN METALES PESADOS
 2 = COMPUESTO INORGANICO CON METALES PESADOS
 3 = COMPUESTO ORGANICO SIN METALES PESADOS
 4 = COMPUESTO ORGANICO CON METALES PESADOS
 5 = COMPUESTO RADIOLOGICO
 6 = COMPUESTO BIOLÓGICO
 7 = COMPUESTO FLAMABLE
 8 = COMPUESTO EXPLOSIVO
 9 = ACEITE/AGUA

FUENTE: RICH, G. 1987 "WASTE TREATMENT TECHNOLOGIES: THE CHOICE IS YOURS" POLLUT. ENG.

FIG. 6

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO QUIMICO

METODO	FUNCION	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
CALCINACION	REDUC. VOLUMEN	1 2 3 4 5	LIQUIDO y SOLIDO
INTERCAMBIO IONICO	RED. VOL. SEP. DE SINT.	1 2 3 4 5	LIQUIDO
NEUTRALIZACION	DESINTOXICACION	1 2 3 4	LIQUIDO
OXIDACION	DESINTOXICACION	1 2 3 4	LIQUIDO
PRECIPITACION	REDUC VOL. SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
REDUCCION	DESINTOXICACION	1 2	LIQUIDO
EXTRACCION (LIQ-LIQ)	SEPARACION	1 2 3 4 5	LIQUIDO
SORCION	SEPARACION	1 2 3 4	LIQUIDO
QUELATACION	SEPARACION	2 4 5	LIQUIDO
DISOLUCION	SEPARACION, DE SINT.	1 2 4 5	SOLIDO
HIDROLISIS	DESINTOXICACION	3 4	LIQUIDO
OZONIZACION	DESINTOXICACION	1 2 3 4	LIQUIDO y GAS
INTERCAMBIO IONICO	RED VOL. SEP. DE SINT.	1 2 3 4 5	LIQUIDO
CLORONOLISIS	DESINTOXICACION	3	LIQUIDO
ELECTROLISIS	SEPARACION	2	LIQUIDO

- 1 = SUSTANCIA INORGANICA SIN METALES PESADOS
 2 = SUSTANCIA INORGANICA CON METALES PESADOS
 3 = SUSTANCIA ORGANICA SIN METALES PESADOS
 4 = SUSTANCIA ORGANICA CON METALES PESADOS
 5 = SUSTANCIA RADIOLOGICA

FUENTE: RICH, G. 1987 "HAZARDOUS WASTE TREATMENT TECHNOLOGIES: THE CHOICE IS YOURS" POLLUT. ENG.

FIG. 7

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
LODO ACTIVADO	3 6	LIQUIDO
LAGUNA DE AEREACION	3 6	LIQUIDO
DIGESTION ANAEROBIA	3 6	LIQUIDO
FILTROS ANAEROBIOS	3 6	LIQUIDO
FILT.DE ESCURRIMIENTO	3 6	LIQUIDO
LAGUNA DE ESTABILIZAC.	3 6	LIQUIDO
BIODISCOS ROTATORIOS	3 6	LIQUIDO
SIEMBRA BIOLÓGICA	3 6	LIQUIDO
COMPOSTA	3 4 6	SOLIDO
ENZIMÁTICO	3 4 6	LIQUIDO

3 = SUSTANCIA ORGANICA SIN METALES PESADOS
 4 = SUSTANCIA ORGANICA CON METALES PESADOS
 6 = SUSTANCIA BIOLÓGICA

RICH, G. 1987 "HAZARDOUS WASTE TREATMENT TECHNOLOGIES: THE CHOICE IS YOURS", POLLUT, ENG.

FIG. 8

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

METODO	FUNCION	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
INCINERACION	REDUC.VOL,DESINTOXIC.	3 5 6 7 8	SOLIDO LIQUIDO GAS
PIROLISIS	REDUC VOL,DESINTOXIC.	1 2 3 4 6	SOLIDO LIQUIDO GAS
SAL FUNDIDA	REDUC VOL,DESINTOXIC.	1 2 3 4 5 6	SOLIDO LIQUIDO
SISTEMA DE PLASMA	REDUC VOL,DESINTOXIC.	1 2 3 4	SOLIDO LIQUIDO
OXIDACION AIRE HUMED	REDUC VOL,DESINTOXIC.	3 4	LIQUIDO
OX.TERM. LECHO FLUID.	REDUC VOL,DESINTOXIC.	1 2 3 4 5 6 7 8	SOLIDO LIQUIDO GAS
HOGAR MULTIPLE	REDUC VOL,DESINTOXIC.	1 2 3 4 5 6 7 8	SOLIDO LIQUIDO
HORNO ROTATORIO	REDUC VOL,DESINTOXIC.	1 2 3 4 5 6 7 8	SOLIDO LIQUIDO GAS
OXIDACION CATALITICA	REDUC VOL,DESINTOXIC.	3 6 7 8	SOLIDO LIQUIDO GAS

1 = SUSTANCIA INORGANICA SIN METALES PESADOS
 2 = SUSTANCIA INORGANICA CON METALES PESADOS
 3 = SUSTANCIA ORGANICA SIN METALES PESADOS
 4 = SUSTANCIA ORGANICA CON METALES PESADOS
 5 = SUSTANCIA RADIOLOGICA
 6 = SUSTANCIA BIOLÓGICA
 7 = SUSTANCIA FLAMABLE
 8 = SUSTANCIA EXPLOSIVA

RICH, H. 1987 "HAZARDOUS WASTE TREATMENT TECHNOLOGIES: THE CHOICE IS YOURS", POLLUT, ENG.

FIG. 9 TECNOLOGIAS DE FIJACION/ENCAPSULACION

METODO	TIPO DE RESIDUO	FORMA DEL RESIDUO
ENCAPSULACION	1 2 3 4 5	SOLIDO, LIQUIDO
SOLIDIF. EN CEMENTO	1 2 3 4 5	SOLIDO, LIQUIDO
SOLIDIF. EN CAL	1 2 3 4 5	SOLIDO, LIQUIDO
MICROENCAP. TERMOPLAS	1 2 5	SOLIDO, LIQUIDO
POLIMERO ORGANICO	1 2 5	SOLIDO, LIQUIDO
AUTOAGLUTINACION	1 2 3 4 5	SOLIDO, LIQUIDO
VITRIFICACION	5 (RESIDUO MUY TOXICO)	SOLIDO, LIQUIDO
SORBENTES	1 2 3 4 5	LIQUIDO
INYECCION PROFUNDA	1 2 4 6 7	LIQUIDO

- 1 - SUSTANCIA INORGANICA SIN METALES PESADOS
- 2 - SUSTANCIA INORGANICA CON METALES PESADOS
- 3 - SUSTANCIA ORGANICA SIN METALES PESADOS
- 4 - SUSTANCIA ORGANICA CON METALES PESADOS
- 5 - SUSTANCIA RADIOLOGICA
- 6 - SUSTANCIA BIOLÓGICA
- 7 - SUSTANCIA FLAMABLE

FUENTE: "HAZARDOUS WASTE TREATMENT TECHNOLOGIES: THE CHOICE IS YOURS" POLLUT. ENG.

FIG. 10

COMPATIBILIDAD DE ALGUNAS CATEGORIAS DE RESIDUOS CON LAS TECNICAS DE ESTABILIZACION/SOLIDIFICACION.

TIPOS DE TRATAMIENTO ESTABILIZACION/SOLIDIFICACION.

COMPONENTES DEL RESIDUO	BASEADO EN CEMENTO	BASEADO EN CAL	SOLIDIFICACION TERMOPLASTICA	POLIMERO ORGANICO (UF) +	INCORPORACION
ORGANICOS					
1. SOLVENTES ORGANICOS Y ACETIL.	MUCHOS DIFICULTAN EL FRAGUADO PUEDE ESCAPAR COMO VAPORES.	MUCHOS DIFICULTAN EL FRAGUADO PUEDE ESCAPAR COMO VAPORES.	LOS COMPUESTOS ORGANICOS PUEDEN VAPOREAR EN CALIENTE.	PUEDE RETARDAR LA PLACAJE DEL POLIMERO.	PRIMERO DEBE DE SER ABSORBIDOS EN LA MATRIZ SOLIDA.
2. COMPUESTOS ORGANICOS SOLIDOS	SIEMPRE FRECUENTEMENTE INCREMENTAN SU DURABILIDAD.	SIEMPRE FRECUENTEMENTE INCREMENTAN SU DURABILIDAD.	POSSIBLE USO COMO AGENTE AGLUTINANTE.	PUEDE RETARDAR LA PLACAJE DEL POLIMERO.	SIY COMPATIBLE CON LA ENCAPULACION DE MATERIALES PLASTICOS.
INORGANICOS					
1. RESIDUOS ACIDOS.	EL CEMENTO NEUTRALIZA LOS ACIDOS.	COMPATIBLE	PUEDE NEUTRALIZARSE ANTES DE SU INCORPORACION.	COMPATIBLE	PUEDE SER NEUTRALIZADO ANTES DE SU INCORPORACION.
2. OXIDANTES	COMPATIBLE	COMPATIBLE	PUEDE CAUSAR RUPTURA DE LA MATRIZ, PUEDE.	PUEDE CAUSAR RUPTURA DE LA MATRIZ.	PUEDE CAUSAR DETERIORO DE MATERIALES ENCAPULADOS.
3. SULFATOS	PUEDE RETARDAR EL FRAGUADO Y CAUSAR ASTILLAMIENTO A MENOS QUE SE USE CEMENTO ESPECIAL.	COMPATIBLE	PUEDE DESHIDRATARSE Y REHIDRATARSE CAUSANDO HINCHIZONAS.	COMPATIBLE	COMPATIBLE
4. HALUROS.	LOS LIXIVIADOS DEL CEMENTO PUEDEN RETARDAR EL FRAGUADO.	PUEDE RETARDAR EL FRAGUADO FACILMENTE LIXIVIABLES.	SE PUEDE DESHIDRATAR.	COMPATIBLE	COMPATIBLE
5. METALES PESADOS	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	EN PH ACIDO SOLUBLEZA HIDROXIDOS METALICOS.	COMPATIBLE
6. MATERIALES RADIACTIVOS.	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE

NOTA-COMPATIBLE INDICA QUE EL PROCESO DE ESTABILIZACION/SOLIDIFICACION GENERALMENTE PUEDE APLICARSE SATISFACTORIAMENTE AL COMPONENTE RESIDUAL INDICADO.

(UF) + RESINA UREA-FORMALDEHIDO

FUENTE: MALONE, P.G. Y JONES, L.W. USEPA 1982 "GUIDE TO THE DISPOSAL OF CHEMICALLY STABILIZED AND SOLIDIFIED WASTE"

F/DEPFI/CON 2/1993



715418