



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN**

**“CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO
DEL PROYECTO EJECUTIVO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADO EN LA PRIMERA
Y SEGUNDA ETAPAS DEL RELLENO
SANITARIO DE BORDO PONIENTE ”**

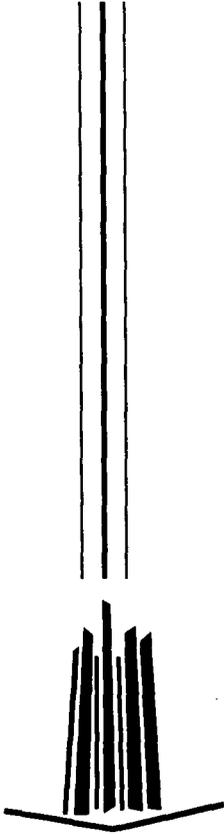
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERÍA CIVIL
P R E S E N T A :
GILBERTO RODRÍGUEZ FLORES

ASESOR: ING. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ

NEZAHUALCOYOTL, ESTADO DE MÉXICO

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN
DUPLICADO**

**GILBERTO RODRÍGUEZ FLORES
P R E S E N T E**

En contestación a su solicitud de fecha 5 de julio del 2001, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ, pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "CATÁLOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO EJECUTIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS LIXIVIADOS GENERADO EN LA PRIMERA Y SEGUNDA ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México 12 de septiembre de 2002
LA DIRECTORA


ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ




Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma fue registrada en la Secretaría Académica de esta Escuela con fecha 13 de julio del 2001.

- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
- C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/cma*

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
AVENIDA 14
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. MA. DE LOS ANGELES SÁNCHEZ CAMPOS
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 26 de agosto del año en curso, por la que se comunica que el alumno GILBERTO RODRIGUEZ FLORES, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "CATÁLOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO EJECUTIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS LIXIVIADOS GENERADO EN LA PRIMERA Y SEGUNDA ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 26 de agosto del 2002
EL SECRETARIO


Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.
C p Interesado.

AIR/vr



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGON - UNAM

JEFATURA DE CARRERA
DE INGENIERIA CIVIL

OFICIO No. ENAR/JCIC/0431/2002

ASUNTO: Síndico.

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
SECRETARIO ACADÉMICO
P R E S E N T E

Por medio del presente me permito relacionar los nombres de los profesores que sugiero integren el Síndico del Examen Profesional del C. GILBERTO RODRÍGUEZ FLORES, con número de cuenta: 09129511-2, con el tema de tesis: " CATÁLOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO EJECUTIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS LIXIVIADOS GENERADO EN LA PRIMERA Y SEGUNDA ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE ".

PRESIDENTE:	ING. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ
VOCAL:	ING. KARLA IVONNE GUTIÉRREZ VÁZQUEZ
SECRETARIO:	ING. MA. DE LA LUZ FERNÁNDEZ ZURITA
SUPLENTE:	ING. MA. DE LOS ÁNGELES SÁNCHEZ CAMPOS
SUPLENTE:	ING. MA. ELENA SOLÍS ESTRADA.

Quiero subrayar que el director de tesis es el Ing. Gilberto García Santamaría González, el cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

A T E N T A M E N T E
" POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU "

San Juan de Aragón, Estado de México, a 1º de agosto del 2002

LA JEFA DE LA CARRERA

ING. MARIA DE LOS ANGELES SANCHEZ CAMPOS



c.c.p. Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez.- Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
Ing. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez.- Secretaria Técnica de la Carrera de Ingeniería Civil.
Ing. Gilberto García Santamaría González.- Director de Tesis.
Comité de Tesis.
Interesado.

MASC/mlev*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gracias a ti que siempre me has acompañado
que conoces la lealtad
y siempre estas como el mejor de los amigos

Gracias a esta institución azul y oro y profesores
de la cual siempre me sentiré parte, por que en ella he
recibido enseñanza sobre la vida, aparte una educación
universitaria.

A ti mi señora Elvia:
Por el ejemplo de coraje y valentía ante cualquier cosa
Por que tu ayuda ha sido siempre la mejor
Por que te debo mas que esto.

A ti Mari:
Por tu ayuda, apoyo siempre incondicional.
paciencia y confianza en mi
No hay palabras que digan
cuanto te lo agradezco.

A ti Cheli:
Siempre dispuesta a dar no
importando lo que fuera.
Tu vida es una inspiración
para mi.

A ti Padre: Por que tus deseos son los mejores para mi
Por que te importa que sea un mejor hombre.
Y eso me compromete.

A mis amigos:

Omar: Los recuerdos de mi paso por la UNAM
Como preparatoriano y luego universitario
Siempre son con su compañía.

Ricardo: por compartir su amistad y todo, además de la carrera.

Laura: por ser la mas grande amiga que haya tenido.

Edgar: teniendo su ayuda, compañía y amistad en la
terminación de esta carrera y luego en el proceso de
titulación.



**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO EJECUTIVO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO PARA LOS LIXIVIADOS GENERADO EN LA PRIMERA Y SEGUNDA ETAPAS
DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE**



CONTENIDO O CAPITULADO

página

ANTECEDENTES E INTRODUCCION	4
1.- TRATABILIDAD FISICOQUIMICA	8
1.1 Sedimentación	
1.2 Acidificación-neutralización-coagulación-sedimentación	
1.3 oxidación química-sedimentación-filtración.	
1.4 Absorción	
1.5 Tren de tratamiento	
1.6 Planta piloto de flujo continuo.	
2.-EVALUACION DE ALTERNATIVAS.	25
3.- DETERMINACION DE GASTOS DE DISEÑO.	
3.1 Cuantificación de lixiviados basada en balance hídrico	
3.2 Determinación de interfase lixiviado-agua freática.	
3.3 Determinación del gasto de diseño	
4.-GENERALIDADES DE LOS ESTUDIOS BASICOS DE INGENIERIA.	26
4.1 Generalidades Identificación del sitio.	
4.2 Generalidades Topografía.	
4.2.1 sitio para planta de tratamiento.	
4.2.2 Captación y conducción de lixiviados.	
4.3 Generalidades Mecánica de suelos del sitio para la planta de tratamiento.	
5.- GENERALIDADES SOBRE DISEÑO EJECUTIVO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO....	44
5.1 Generalidades Diseño conceptual.	
5.2 Generalidades Diseño dimensional e hidráulico.	
5.3 Generalidades Diseño estructural	
5.3 Generalidades Diseño arquitectónico	
5.4 Generalidades Diseño del sistema de conducción de lixiviados al sistema de tratamiento	
5.5 Generalidades Estructuras complementarias	
6.- CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO.....	46
6.1 Sistema de captación de lixiviados	
6.2 Obra exterior	
6.3 Tanque de recepción de lixiviados	
6.4 Tanque de acidificación	
6.5 Tanque de neutralización	
6.6 Tanque de mezclado rápido	



- 6.7 Tanque de coagulación
- 6.8 Sedimentador secundario
- 6.9 Tanque de oxidación con peróxido de hidrógeno
- 6.10 Tanque neutralizador
- 6.11 Carcomo de bombeo
- 6.12 Tanque de agua tratada
- 6.13 Caseta de vigilancia y laboratorio
- 6.14 Contenedor de ácido sulfúrico concentrado
- 6.15 Almacén de ácido sulfúrico
- 6.16 Contenedor de tanques de peróxido de hidrógeno
- 6.17 Tanque de almacenamiento de lodos

7.- ESPECIFICACIONES GENERALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCION64

8.- MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.....87

CONCLUSIONES Y ASPECTOS IMPORTANTES153



ANTECEDENTES E INTRODUCCION

Las actividades de deposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de bordo poniente se iniciaron aproximadamente en mayo de 1985, habiéndose concluido, con la cubierta final definitiva en 1991. Dicho sitio de disposición se ubica en la zona sureste de ex-lago de Texcoco como se muestra en la figura 1.1 y recibe diariamente residuos provenientes de varias delegaciones de distrito federal.

La disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de México ha sido una práctica, dentro de la prestación del servicio público de limpieza, que por su limitada incidencia en la actividad cotidiana de los usuarios, ha recibido poca atención. Dada sin embargo la gran generación en el área urbana de la zona metropolitana se han organizado acumulaciones que por su magnitud y por el crecimiento de la mancha urbana han originado problemas tanto directos por estética y generación de malos olores, como indirectos por la generación de subproductos contaminantes especialmente a los mantos acuíferos subterráneos.

Este relleno sanitario asentado sobre arcilla de baja permeabilidad con valores de k (coeficiente de permeabilidad) inferiores a 10^{-7} , fue originalmente propuesto sin captación ni manejo de lixiviados que sobrepasa los cálculos teóricos, fluyendo lateralmente en los terraplenes formados con los depósitos de residuos, creando condiciones antiestéticas requiriendo el desarrollo de un esquema de captación y tratamiento para poder retomar adecuadamente el efluente al medio sin provocar impactos negativos.

En forma resumida, a continuación se presentan algunas de las conclusiones más relevantes del análisis de calidad y tratabilidad de los lixiviados:

tanto dentro de un mismo sitio como entre sitios de disposición diferentes. La variación se observa tanto en material orgánico como inorgánico y en la naturaleza de las sales inorgánicas presente. Asimismo se observa una gran diferencia entre el estado soluble o suspendido de los materiales y contaminantes.

La materia orgánica en los lixiviados y la edad de los sitios, en los resultados obtenidos no se ha confirmado esta condición; observándose concentraciones muy variadas y sin ningún comportamiento específico con relación a edad u otro factor específico.

Originalmente los sitios de disposición fueron simples terrenos normalmente alejados de las áreas urbanas importantes y hacia donde eran canalizados los residuos sólidos para ser depositados a cielo abierto provocando proliferación de fauna nociva y todos los problemas asociados con la descomposición de la materia orgánica. Obviamente no se tomaron providencias especiales para captar y procesar adecuadamente los lixiviados y el biogás producto de la fermentación anaerobia de la materia orgánica biodegradable. Normalmente estos sitios de disposición final se conservaron en operación durante periodos muy largos principalmente por no identificarse otras alternativas de sitios adecuados y la negativa de los habitantes en la zona de aceptar la creación de nuevos tiraderos.

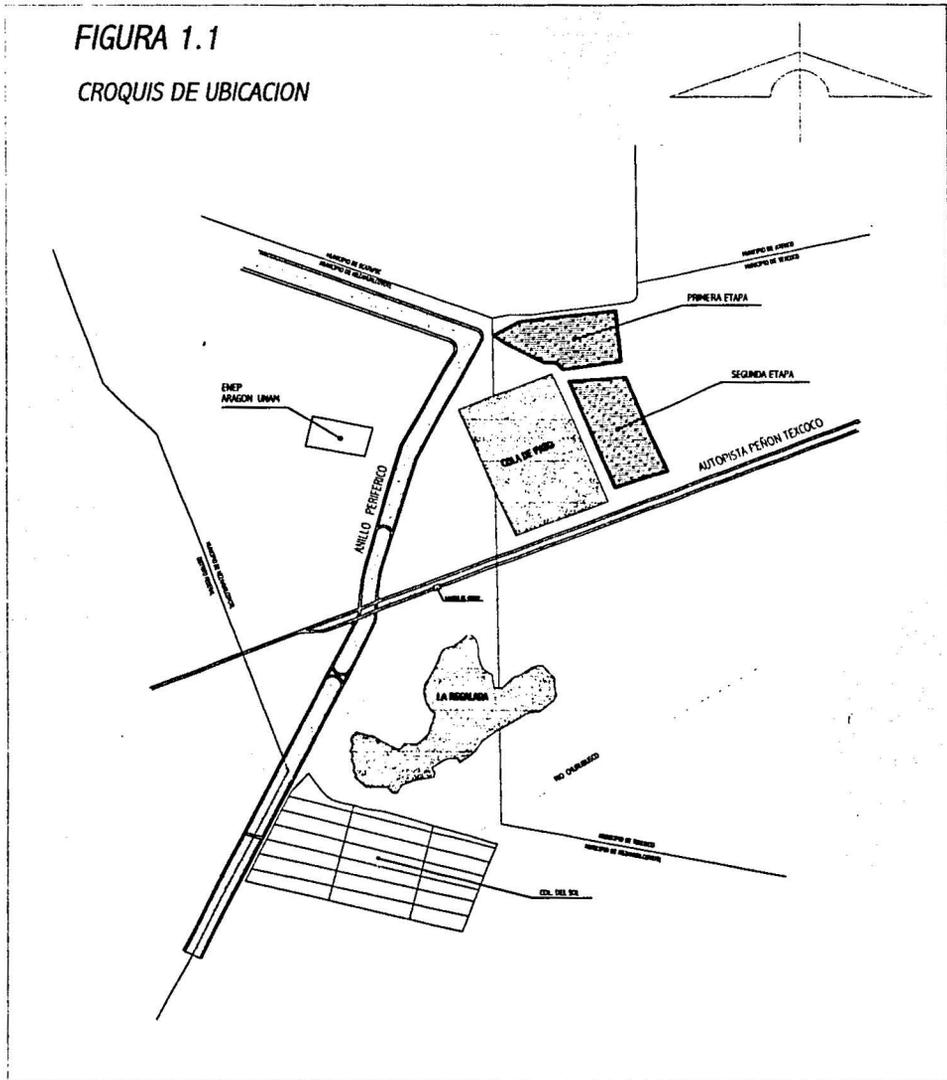
Actualmente ante la identificación de severos problemas originados por la falta de control en los subproductos de la descomposición de la materia orgánica, se ha pretendido identificar acciones de control que eliminen o disminuyan los efectos nocivos al ambiente de los sitios de disposición final.

Los lixiviados generados por la acumulación de residuos sólidos, los cuales por sus elevados contenidos de materiales tóxicos o potencialmente tóxicos y su efecto directo sobre los mantos acuíferos subterráneos han sido identificados como problemas prioritarios que deben ser resueltos a corto plazo. En la actualidad los sitios de disposición final están siendo diseñados en el esquema de rellenos sanitarios tomando provisiones para captar y quemar el biogás así como para captar y someter a tratamiento a los lixiviados. En sitios antiguos se han practicado perforaciones e inserciones de ductos que permiten en forma poco eficiente pero efectiva la captación y en algunos casos el manejo de estos subproductos, especialmente la combustión del biogás. Los lixiviados cuya captura resulta más difícil han sido muestreados y caracterizados en estudios previos y se ha podido identificar algunos esquemas de tratamiento que con ciertas limitaciones,



FIGURA 1.1

CROQUIS DE UBICACION



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



especialmente de orden económico, pueden ser empleados para depurar estos volúmenes de lixiviados y retornarlos al ambiente disminuyendo su peligro potencial. También se ha relacionado la concentración de contaminantes en los lixiviados a los efectos de lluvia; aunque no se ha podido establecer una relación directa.

-La respuesta de los lixiviados a los diversos esquemas de tratamiento ya sea fisicoquímico o biológico no ha sido uniforme, obteniéndose diferentes eficiencias al someter estos desechos líquidos al mismo proceso de tratamiento. En algunos casos un proceso que en principio mostró eficiencias en remoción de color y sólidos, en otras ocasiones no se observó ningún efecto positivo.

-En general un solo proceso de tratamiento no permite alcanzar eficiencias adecuadas en remoción de los principales contaminantes. En el caso de los procesos fisicoquímicos, es necesario combinar variaciones de pH., incremento de temperatura y combinación de coagulantes para alcanzar, en algunos casos, eficiencias aceptables. Los procesos biológicos tanto bajo condiciones aerobias como anaerobias no permitieron alcanzar eficiencias aceptables; se considera que con un mayor tiempo de aclimatación de los microorganismos se mejorara la eficiencia de estos procesos. En todo caso, será conveniente poder establecer trenes de tratamiento que puedan ser variados tanto en condiciones de operación como en secuencia.

Por otro lado es conveniente recalcar que la secuencia de dispositivos adecuados para captura y conducción de los lixiviados en los diversos sitios de disposición final estudiados, implican serias dificultades para extraer el lixiviado y conducirlo hasta el sitio de tratamiento. En algunos casos es necesario bombear desde profundidades mayores a los 20 m en pozos con 15 cm de diámetro. Los radios de acción de estos pozos son reducidos y se requerirían baterías de pozos y una red de bombas y líneas de conducción. Esta situación ha llevado a la necesidad de construir subdrenes en el perímetro de las diferentes fases en el sitio de Bordo Poniente con objeto de manejar los lixiviados y transportarlos por carros tanque. Esta diversidad de características de los desechos líquidos a tratar demanda un esquema de tratamiento que sea flexible en su operación.

Volumen de lixiviados

Conjuntamente con el aspecto cualitativo, es necesario definir el volumen de lixiviados generado que deberá ser manejado en forma adecuada. Debido a las condiciones en el relleno, no ha sido posible definir totalmente el volumen de lixiviado que se genera y esto se debe principalmente a la incorporación de agua del subsuelo hacia el volumen de residuos incrementados sustancialmente el volumen de lixiviados.

El primer indicio de esta situación se identificó durante algunas estudios geotécnicos realizados en este sitio, donde se pudo observar que el nivel del líquido identificado como lixiviado se encontraba a escasos centímetros por debajo de la superficie del volumen de desechos provocando en varios puntos de los taludes el afloramiento del desecho líquido. Este afloramiento constituyó un almacenamiento de lixiviado con problemas principalmente del mal olor lo que motivó su almacenamiento en canales perimetrales para posteriormente trasportarlo en pipas hacia una laguna de almacenamiento.

No se tiene plenamente identificado el mecanismo de incorporación del agua freática hacia el los desechos aunque es aparente el incremento de flujo al intentar extraer parcialmente dichos lixiviados. Se han encontrado algunos estudios para definir el volumen adecuado de lixiviados que deben ser extraídos de la 1ª. Y 2ª. etapas del bordo poniente para ser sometidos a tratamiento y realizar una disposición adecuada.



Tratamiento biológico

El instituto de Ingeniería de la UNAM llevo a cabo una evaluación de la tratavilidad de los lixiviados bajo condiciones biológicas aerobias y anaerobias. La experimentación se llevó a cabo en plantas a nivel laboratorio identificándose los siguientes resultados:

- En general los procesos biológicos han demostrado ser muy limitados en su eficiencia para remover la materia orgánica medida como DQO del 29%, no obteniéndose evidentemente eficiencias importantes en otros parámetros
- El tratamiento anaerobio alcanzó únicamente una eficiencia de 20% en DQO total lo que resulta de muy poca ventaja ya que el efluente de este tratamiento tendrá problemas para ser dispuesto en forma final.
- Se llevó acabo así mismo el tren de tratamiento anaerobio-aerobio en el que efluente de la planta piloto de tratamiento anaerobio era sometido aun proceso aerobio semejante al de todos activados.
- Este esquema resulto se el más eficiente alcanzado una remoción de DQO de 53 %. En todo caso la conclusión general fue limitada eficacia de los procesos biológicos.

Tratamiento fisicoquímico

Como ya se dijo el tratamiento biológico fue muy limitado en la depuración de los lixiviados estudiados, sin embargo se obtuvieron resultados satisfactorios empleando un proceso de tratamiento fisicoquímico aunque emplea procesos unitarios comunes como son: acidificación, neutralización, coagulación, sedimentación, filtración, etc., su eficiencia resulto de una integración poco común obteniéndose muy altas eficiencias en remoción de materia orgánica, sólidos suspendidos, elementos y compuestos tóxicos.

Con base en los resultados de este estadio previo se considero necesario identificar el proceso de tratamiento mas adecuado para los lixiviados generados en bordo poniente para proceder al diseño ejecutivo y posteriormente determinar el catalogo de obra y presupuesto , el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento



1 TRATABILIDAD FÍSICOQUÍMICA

1.1 Sedimentación

1.1.1 Diseño experimental

Debido a que las caracterizaciones realizadas a los lixiviados generados en este sitio se detectaron concentraciones importantes de los sólidos suspendidos y que además estos presentan una fracción alta de materia orgánica, se decidió incluir dentro de las etapas que comprenden la tratabilidad de estos lixiviados una prueba de sedimentación, con objeto de evaluar la remodelación de los contaminantes antes mencionados.

La prueba consistió en alimentar una muestra compuesta preparada con cantidades iguales de lixiviados de cada uno de los cuatro pozos con que se realizaron la totalidad de las pruebas de tratabilidad. La mezcla de lixiviados se colocó en una columna de sedimentación, con el objeto de mantener los lixiviados completamente homogéneos y de esta forma asegurar la misma concentración de sólidos al inicio de la prueba.

El siguiente paso consistió en permitir un tiempo de sedimentación, para ello fue necesario permitir un tiempo de residencia de 30 minutos. Cabe mencionar que en pruebas de sedimentación para evaluar la velocidad con que se remueven los sólidos suspendidos se encontró que se requieren tiempos de retención pequeños para alcanzar altas eficiencias, más del 40% del total del material en suspensión se alimentan en 6 minutos, para alcanzar el 75% se requiere de 17 minutos, la máxima remoción de sólidos es del 84% y se logra después de 24 minutos de permanencia dentro de la columna de sedimentación.

Por estas razones se consideró que permitir tiempos de concentración mayores no aportaría modificaciones importantes en la remoción en sólidos suspendidos.

1.1.2. Resultados

A pesar de que se han efectuado pruebas para determinar la velocidad de sedimentación de los sólidos suspendidos contenidos en los lixiviados se consideró conveniente realizar el experimento por duplicado. En la tabla 1.1 se presentan los resultados generados para los influentes, en ella se puede observar que los valores identificados para cada uno presentan gran similitud en cuanto a las eficiencias alcanzadas.

1.1.3. Análisis de resultados.

Para llevar a cabo la prueba lo más representativa posible fue necesario combinar volúmenes iguales de los lixiviados generados en este sitio. En esta mezcla se detectó un alto contenido de sólidos totales, de ellos más del 85% se encontraron en forma disueltos, lo cual implica que con el proceso de sedimentación se alcanzaría una eficiencia en remoción de contaminantes muy cercana al 15%.

Los resultados que se muestran en la tabla 1.1 indican una eficiencia en la remoción de material suspendido del 85.14%. El influente se alimentó con 3,768 mg/l de sólidos en suspensión, después del período de sedimentación se alcanzó una concentración de 560 mg/l, esto indica una alta alimentación de contaminantes suspendidos, sin embargo tan solo representa el 12% del total de contaminantes presentes en los lixiviados.



En la primera prueba se eliminó el 93.8% de los sólidos suspendidos inorgánicos el cual es un valor alto y muy aceptable, sin embargo cabe destacar que el contaminante en mayor proporción lo representan los sólidos inorgánicos lo cual implica que la remoción de contaminantes por este concepto sea del 8.24%.

Como se puede apreciar en la tabla 2.1, se alcanzó un 75.34% de remoción de contaminantes orgánicos en suspensión, esto representó una eliminación del 28.73% del total de los lixiviados volátiles.

La remoción de materia orgánica expresada como sólidos volátiles implica una reducción importante tanto en la demanda bioquímica de oxígeno como en la demanda química de oxígeno, en este orden se alcanzaron eficiencias del 75 y 32.84%.

La segunda prueba de sedimentación se llevó a cabo varios días después de la anterior. Cabe mencionar que la toma de muestra para esta corrida se efectuó durante un periodo largo de lluvias, por lo tanto es probable que divida a esta condición el contenido de sólidos se detectó inferior a los valores identificados en la ocasión anterior. A pesar de lo anterior y aun cuando los sólidos volátiles se presentaron en menor cantidad, los valores tanto de DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) como de DBO (*Demanda Biológica de Oxígeno*), se detectaron muy superiores con respecto a los registrados en la primera prueba.

Los resultados obtenidos en esta experimentación se muestran en la tabla 1.1, en ella se puede apreciar que las eficiencias de remoción alcanzadas en esta ocasión son muy similares a las detectadas en la ocasión anterior; se alcanzó una remoción en los sólidos totales del 10.61 %, mientras que la alimentación de sólidos en suspensión fue del 76 %, ambos valores son ligeramente inferiores a los detectados anteriormente.

Se alcanzó una remoción de sólidos suspendidos volátiles de 95.6% estos representaron una remoción del total de materia orgánica expresada como sólidos volátiles del 52.2%.

La remoción de material inorgánico en forma suspendida fue del 36.8, debido a que este tipo de contaminantes es el más abundante en estos desechos, la alimentación del contenido total solo alcanzó el 1.96%.

La materia orgánica expresada como demanda química y bioquímica de oxígeno mostraron remociones importantes especialmente la DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) ya que se obtiene un valor del 32.3% prácticamente igual al detectado durante la corrida anterior, sin embargo las concentraciones identificadas son totalmente diferentes ya que en el primer caso se detectó una DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) de 4,750 y en el segundo de 18,983 mg/l, esto representa un incremento de casi cuatro veces. Por lo tanto a pesar de que se tiene la misma remoción del contaminante el valor es el elevado.

La DBO (*Demanda Biológica de Oxígeno*) presentó una remoción del 45.7%, inferior a la obtenida anteriormente, en esta ocasión se removieron más de 3,000 mg/l mientras que en la otra prueba se eliminaron más de 3,000 mg/l mientras que en la otra prueba se eliminaron 1.350 mg/l, sin embargo estas cifras no son impactantes debido al alto contenido de este contaminante.

1.2 Acidificación – Neutralización – Coagulación – Sedimentación.

Durante el desarrollo de la tratabilidad biológica y fisicoquímica a los lixiviados generados en los sitios de Santa Catarina, Santa Cruz Meyehualco y Prados de la Montaña fue necesario realizar modificaciones en el pH, para tal efecto el lixiviado se acidificó con ácido sulfúrico. En la acidificación del lixiviado de Santa Cruz Meyehualco accidentalmente el pH se llevó a 1.5 unidades, durante la disminución se observó desprendimiento de gas y por ello gran formación de espuma, posteriormente se detectó la presencia de un precipitado; cabe destacar que durante las pruebas de jarras en estos lixiviados no se logró obtener una formación importante de flocúlos aún empleando altas cantidades de coagulantes.



Después de la observación anterior se procedió a separar el sobrenadante para neutralizarlo y posteriormente adicionar coagulantes, obteniéndose con esta acción resultados satisfactorios en la remoción de sólidos suspendidos. Este procedimiento se aplicó a los lixiviados de los sitios restantes, en ellos se obtuvieron resultados similares realizando pequeños cambios en el tratamiento inicial del desecho.

Con base en estas experiencias y esperando un comportamiento similar al de los lixiviados generados en los sitios arriba descritos se procedió a realizar la experimentación de tratabilidad fisicoquímica al lixiviado generado en el sitio de disposición final de Bordo Poniente

1.2.1 Acidificación.

Para acidificar el lixiviado se empleo H_2SO_4 (Ácido sulfúrico) concentrado, los requerimientos de ácido en ml para llevar el pH 8.48 a 1.5 unidades de 500 ml de lixiviados son los siguientes:

PH	H_2SO_4
8.45	0.5
7.60	1.8
6.49	2.3
6.32	2.8
5.98	3.3
3.66	3.8
1.5	4.5

Durante la acidificación se observó que un pH cercano a las 6 unidades el desprendimiento de gas carbónico de espuma fueron más intensas, sin embargo con un pH inferior a 4 unidades disminuyeron considerablemente estas formaciones.

Después de alcanzar 1.5 unidades en el pH el lixiviados se detectó cambio en la coloración del desecho, ya que de negro cambio a café pardo. Se premitió un periodo de sedimentación de 30 minutos al cabo de los cuales no detectó la presencia de precipitados.

Debido a que no se presentó la sedimentación esperada se procedió a neutralizar el lixiviado y posteriormente llevarlo al extremo básico. Para realizar lo anterior de requirió de 15 ml de NaOH (Hidróxido de Sodio) al 24% para elevar el pH de 1.5 a 12.67 unidades; dentro del rango básico se detecto la presencia de sedimentos, probablemente ocasionada por la precipitación de algunos metales en forma de hidróxidos.

Al sobre nadante del tratamiento anterior se le adicionaron 1.2 ml de H_2SO_4 par neutralizar el a pH de 6.35, posteriormente se trató con diferentes cantidades al $Al_2(SO_4)_3$ (Sulfuro de Aluminio) y $FeCl_3$ (Cloruro Ferrico) únicamente se detecto respuesta del lixiviado a grandes cantidades de contaminates.

La formación de floculos se detecto al ocasionar 200 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$ (Sulfuro de Aluminio) la turbiedad de este efluente se abatió de 540 a 450 NTU. Asimismo se observó que al incrementar la cantidad de reactivos la formación de floculos aumentó, sin embargo este incremento presentó un limite ya que con concentraciones superiores a los 400 mg/l; a concentraciones mayores de coagulantes la cantidad de material sedimentado no se incrementó así como tampoco se presentó mayor reducción en la turbiedad. La mínima turbiedad fue de 305 NTU y se presentó con una dosificación de $Al_2(SO_4)_3$ (Sulfuro de Aluminio) y $FeCl_3$ (Cloruro Ferrico) de 400 y 200 mg/l respectivamente.



El efluente de este tratamiento presentó una coloración parecida a la del influente solo con una cantidad menor de sólidos, en conclusión se puede decir que a pesar de que se alcanzó una remoción en la turbiedad del 43 % la apariencia física del lixiviado no mejoró en forma importante.

1.2.1.2 Elevación del pH

El lixiviado crudo se alcalinizó con NaOH (*Hidróxido de Sodio*) al 24 %, para elevar el pH de 8.48 a 12.86 unidades se requirió de 35 ml de reactivo. A este pH se observó la formación de floculos, por tal motivo se permitió un periodo de sedimentación de 30 minutos al final de los cuales se tomó el sobrenadante y se procedió a neutralizarlo y finalmente llevarlo a pH de 0.98 unidades, en este punto no se observó presencia de sólidos, aún así se dejó sedimentar por 30 minutos al final de los cuales se comprobó la ausencia de sólidos; por tal motivo se decidió desechar este procedimiento ya que la adición de reactivos se incrementaría notablemente debido a que para poder dosificar coagulantes se requiere de valores de pH cercanos a 6.5 unidades para Lograr esto sería necesario dosificar mayores cantidades de ácido lo cual reduciría en un incremento en la cantidad de sólidos disueltos fijos.

La dosificación de NaOH (*Hidróxido de Sodio*) en ml para elevar el pH de 8.48 a 12.63 unidades en 500 ml de muestra se presentan a continuación

Hp	NaOH
8.49	0
9.1	5
9.49	10
9.81	15
10.14	20
10.51	25
11.87	30
12.86	35

Cabe mencionar que al alcanzar el pH de 12 unidades se detectó un fuerte desprendimiento de amoníaco.

Con las condiciones alcalinas se maneja otra opción, la cual consistió en neutralizar el lixiviado; para alcanzar esto se adicionaron 0.8 ml de H_2SO_4 (*Ácido sulfúrico*) concentrado, el pH final fue de 6.88 unidades. Con este valor de pH se adicionaron diferentes cantidades de coagulantes, a pesar de las altas dosificaciones de reactivos no se detectó la presencia de sólidos y el valor de la turbiedad se conservó prácticamente igual.

1.2.1.3 Neutralización

La acidificación se llevó a cabo como se menciona en el punto 1.2.1, la neutralización consistió en adicionar NaOH (*Hidróxido de Sodio*) al 24 %, la dosificación de reactivo así como el pH detectado se presentan a continuación.

Hp	NaOH
1.18	0
1.62	5
5.47	10
6.47	12



Los cambios detectados en este tratamiento consistieron en modificaciones en la coloración del lixiviado, ya que de un color negro intenso pasaron a café claro, posteriormente en la neutralización se recuperó el color inicial del lixiviado.

Al efluente de este tratamiento se le adicionaron diferentes cantidades de sulfato de aluminio y cloruro férrico por separados, en ambos casos se obtuvo un efluente con menor turbiedad a la inicial, sin embargo se detectó un efluente con mejor apariencia al ser tratado el lixiviado crudo con cloruro férrico, con una dosificación de 1000 mg de FeCl_3 (*Cloruro Ferrico*) por litro del agua problema se detectó una turbiedad en el efluente de 510 NTU, mientras que la máxima eficiencia en cuanto a turbiedad se refiere se alcanzó con una dosificación de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (*Sulfuro de Aluminio*) de 2,000 mg por litro de lixiviado obteniéndose una turbiedad en el efluente de 250 NTU.

Después de estos resultados se decidió realizar una corrida empleando ambos coagulantes, las dosificaciones y variaciones en el pH se muestran en el cuadro siguiente.

Ph	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Ph	FeCl_3
6.47	0.0	0.0	0.0
6.09	120	5.6	120
5.68	240	5.6	240
4.79	500	3.97	1000

La relación que presentó mayor eficiencia en remoción de contaminante en forma suspendida y abatió la turbiedad de 540 a 35 NTU fue la combinación de 500 mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (*Sulfuro de Aluminio*) y 1,000 mg de FeCl_3 (*Cloruro Ferrico*) para 500 ml de muestra.

El tren con que se obtuvieron mejores resultados es el se muestra a continuación:

- Acidificación a pH = 1.5 con 9 ml de H_2SO_4 (*Ácido sulfúrico*) concentrado para 1l de lixiviado
- Neutralización a pH = 6.47 con 12 ml de NaOH (*Hidróxido de Sodio*) 6 N para 1l de lixiviado
- Coagulación con 1000 mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (*Sulfuro de Aluminio*) y 2,000 mg de FeCl_3 (*Cloruro Ferrico*) por cada litro de lixiviado.
- Sedimentación con un tiempo de retención hidráulico de 2 horas.

1.2.2 Resultados

Al concluir la serie de pruebas, se lograron obtener las dosificaciones adecuadas de los coagulantes empleados. Cabe destacar que se realizaron corridas de prueba con polímeros para, dado el caso, reducir la cantidad de reactivos empleados para la coagulación. Sin embargo los resultados no fueron los esperados ya que con diferentes cantidades de coagulantes en combinación con polímeros no se logró obtener un efluente con las características de lixiviado tratado únicamente con coagulantes. Asimismo cabe destacar que se llevaron a cabo pruebas que consistieron en adicionar diferentes cantidades y tipos de polímeros al lixiviado tratado con las dosificaciones y reactivos encontrados como adecuados, con esta acción la separación de fases no se efectuó como era de esperarse.

Finalmente y con objeto de caracterizar el efluente de la coagulación se llevó a cabo el tratamiento del lixiviado empleando los reactivos y dosificaciones encontrados durante la fase experimental, cabe destacar



que los valores que se muestran en ella no corresponden con algunos mencionados líneas arriba debido a que el tratamiento se efectuó con un lixiviado diferente al empleado en la experimentación, esto último con objeto de comprobar que la respuesta del lixiviado al tratamiento es reproducible con diferentes condiciones de influente. Los resultados generados al caracterizar el influente y efluente se muestran en la tabla 1.2.

1.2.3 Análisis de Resultados

pH

Los valores de pH son diferentes entre influente y efluente, esto se debe al tratamiento a que es sometido el lixiviado, si bien es cierto que para el tratamiento de coagulación se requiere de un pH

cercano a 6.5 unidades también lo es el hecho de que tanto el cloruro férrico como el sulfato de aluminio abaten el pH dentro del sistema. En este caso el valor de 2.41 unidades en el efluente no representa mayor problema ya que en una etapa posterior de tratamiento el efluente no representa mayor problema ya que en una etapa posterior de tratamiento el efluente contiene un pH neutro.

Conductividad Eléctrica

El valor de la conductividad eléctrica se ve incrementado en casi 30% con respecto al registro en el influente. La conductividad final de 58,500 $\mu\text{hos/cm}$ se encuentra dentro de lo esperado ya que con la adición de reactivos para acidificación, neutralización y coagulación se incrementa la cantidad de sales disueltas, este incremento se manifiesta claramente en el valor final detectado.

Turbiedad

Se alcanzó un 74% en la remoción de turbiedad, esto se logró al remover gran cantidad de los sólidos presentes en el lixiviado. Tanto los valores de influente como de efluente difieren un poco con los valores obtenidos durante el periodo de pruebas, a pesar de que en esta ocasión se identificó una turbiedad inferior a la detectada anteriormente, el efluente presentó un valor de 80 NTU; valor muy superior al detectado en el efluente de la prueba de jarras.

Sólidos

El contenido de sólidos se vio incrementado en forma importante, sobre todo en los contaminantes de origen inorgánico. En los sólidos totales volátiles se alcanzó una remoción del 41.63%, asimismo se detectó una eliminación de sólidos disueltos volátiles del 40.25%.

La remoción de sólidos suspendidos totales fue del 82.35%; los sólidos suspendidos volátiles se abatieron en un 70.31%, mientras que los inorgánicos en un 93.06%. Es importante destacar que gran parte del material orgánico removido se encontraba en forma disuelta, aquí es importante mencionar que en realidad mucho de este material son sólidos coloidales que no pueden ser retenidos en filtros con poros de 0.45 micras por lo cual son considerados solubles. Por otro lado la posible explicación a la remoción de sólidos disueltos puede estar dada por la desnaturalización de la materia orgánica durante la acidificación del lixiviado.

Materia orgánica

La remoción de materia orgánica expresa tanto en DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) como DBO (*Demanda Biológica de Oxígeno*) se encuentra relacionada con la cantidad de materia volátil removida durante el proceso de coagulación.

Se alcanzó una eficiencia en la remoción de la DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) total del 34.17%, mientras que la materia orgánica soluble se eliminó en un 39.34%, en la tabla 1.2 se muestran los valores



obtenidos para DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) y DBO (*Demanda Biológica de Oxígeno*) tanto totales como solubles; en ella se puede observar que los valores de materia orgánica biológicamente degradable representa en ambos casos, influente y efluente, menos del 20% del total de la materia orgánica presente en el lixiviado tratado.

Es importante destacar que en proceso previo a la coagulación se detectó una remoción de más del 60% en la demanda bioquímica de oxígeno, por lo tanto el valor inicial detectado en la coagulación es bajo, la remoción de DBO (*Demanda Biológica de Oxígeno*) fue del 50%, se detectó un valor en el influente de 570 mg/l, mientras que en el efluente se identificaron 270 mg/l.

Nutrientes

Como se puede apreciar en la tabla 1.2 los valores de nutrientes, es decir nitrógeno y fósforo, permanecen prácticamente idénticos, es importante destacar que se esperaba la remoción de una parte del contenido total de fósforo en el lixiviado. Es posible que las pequeñas diferencias entre los valores iniciales y finales sea atribuido al error analítico inherente en las determinaciones fisicoquímicas.

Metales

Al igual que en el caso de los nutrientes, los valores detectados de metales en el efluente son similares a los presentes en el influente por lo que la eficiencias de remoción son muy pequeñas, a excepción del hierro el cual se incrementa considerablemente y del zinc en el que se observa la mayor remoción. El incremento en la concentración de hierro se atribuye a la adición en exceso de cloruro férrico.

1.3 Oxidación Química-sedimentación-Filtración

El peróxido de hidrógeno es uno de los productos más versátiles en la actualidad, seguro y deseable desde el punto de vista del medio ambiente. La seguridad y eficiencia de sus operaciones han conducido al desarrollo de numerosas aplicaciones. Por ejemplo, el peróxido de hidrógeno se usa como un agente oxidante en la obtención de productos químicos orgánicos e inorgánicos, como un agente de blanqueo en la industria textil o de celulosa y papel, y también en el tratamiento de desechos industriales y municipales. Debido a las propiedades favorables del peróxido de hidrógeno, se han logrado desarrollar un sin número de aplicaciones. La principal de sus ventajas en el tratamiento de desechos industriales y municipales es que los subproductos generados después de la oxidación son CO_2 y H_2O .

1.3.1 Diseño Experimental

Para obtener la dosificación óptima de peróxido de hidrógeno en el tratamiento de los lixiviados se decidió manejar cinco diferentes relaciones de DQOT (*Demanda Química de Oxígeno total*) : H_2O_2 las cuales se muestran a continuación: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5. Un promotor de radicales libres de peróxido de hidrógeno son los iones de Fe con pH entre 3.5 y 5.5, cabe destacar que el efluente del tratamiento de coagulación presenta estas condiciones por lo que se consideró un efluente ideal para ser tratado con este oxidante.

La oxidación se llevó a cabo poniendo en contacto el lixiviado con peróxido de hidrógeno al 30% durante un periodo de 30 minutos y aplicando agitación. Cabe destacar que al efluente de lixiviado previamente tratado con coagulación se le determinó su contenido orgánico como DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) total con objeto de identificar las cantidades necesarias de peróxido de hidrógeno para cumplir con las relaciones propuestas.

Después del periodo de contacto se procedió a eliminar el peróxido en exceso aplicando calor para desnaturalizarlo y poder efectuar la determinación de la DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) . Es importante eliminar el peróxido remanente ya que este puede afectar la prueba de la DQO, incrementándola por oxidación con el dicromato; 1 mg/l de H_2O_2 remanente demanda 0.47 mg/l en la determinación de la



DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) . La remoción del exceso también se puede llevar a cabo por incrementando el pH a 12, o bien por la adición de catalasa de esta forma se evita la alteración en la DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) por peróxido. Otra forma de evaluar la DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) verdadera es por valoración del agua oxigenada remanente con permanganato de potasio, de esta forma se conoce el contenido de peróxido residual y aplicando la relación 1 mg/l de $H_2O_2:0.47$ mg/l de DQO se puede obtener la DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) verdadera determinada a un efluente al que no se le eliminó previamente el peróxido remanente.

1.3.2 Resultados

Parte de este tratamiento consistió en remover el hierro en exceso, para tal efecto se dosificó NaOH (*Hidróxido de Sodio*), con esta acción además de precipitar el hierro con hidróxido, se logró desnaturalizar el peróxido de hidrógeno remanente. Después de formado el precipitado de hierro se permitió un periodo de sedimentación de 30 minutos al cabo de los cuales se tomó el sobrenadante y se llevó a filtración para finalmente evaluar la eficiencia del tratamiento al efluente filtrado. En la tabla 1.3 se presenta los resultados de la caracterización de los efluentes filtrados de cada corrida.

1.3.3 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos al final de la prueba de oxidación química con peróxido de hidrógeno para cada relación propuesta así como del influente se presentan en la tabla 1.3.

pH

El valor del pH se mantiene prácticamente sin cambio, solo en ella última relación se observó un incremento ya que el pH final fue de 6.01.

Conductividad Eléctrica

Los valores de conductividad eléctrica se ven disminuidos en las relaciones 1, 3, 4 y 5, el mínimo valor se detectó en la relación 5 con 38,200 $\mu\text{hos/cm}$. Probablemente esto se originado por la remoción de ácidos grasos, debido a que estos afectan la conductividad eléctrica.

Turbiedad

Se detectó una remoción de turbiedad en forma proporcional a la cantidad de peróxido dosificada, ello es posible que se vea acompañada por la remoción de sólidos volátiles.

Sólidos

Como se puede apreciar en la tabla 1.3 se observa que únicamente existe remoción de material orgánico expresado como sólidos volátiles, esta disminución es lineal con respecto a la cantidad de peróxido dosificada, ya máxima remoción se alcanzó con una relación de 1:5; con ella se obtiene un efluente con 460 mg/l de sólidos totales volátiles que representan el 85.82% del contenido total de este contaminante, cabe destacar que esta remoción obedece principalmente al eliminación de sólidos disueltos de origen orgánico, ya que si bien la remoción de sólidos en suspensión orgánicos es elevada, 62.5%, no es muy representativa debido principalmente al bajo contenido de este contaminante.

Materia orgánica

Tanto los valores de DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) como de DBO₅ (*Demanda Biológica de Oxígeno total*) presentan cambios importantes a partir de la relación 1:4 y 1:5; en la última relación que es la que presentó la máxima eficiencia se detectaron valores mínimos de 140 y 560 mg/l de DBO₅ (*Demanda*



Biológica de Oxígeno total) y DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) respectivamente. Cabe destacar que se realizó una corrida con una relación de DQO (*Demanda Química de Oxígeno*): H_2O_2 de 1:6, sin embargo la remoción de contaminantes no fue proporcional ya que se detectó un exceso de peróxido prácticamente idéntico a la cantidad adicionada.

El peróxido remanente en las tres primeras relaciones fue muy similar al alimentado, es muy probable que para obtener los resultados mostrados se requiera de un exceso de peróxido el cual puede interactuar con la materia orgánica para oxidarla.

Nutrientes

Al igual que en el proceso de coagulación el contenido de nutrientes no se modifica en forma importante.

Metales

En la literatura se destaca el hecho de que el peróxido puede eliminar algunos metales por precipitación, en la relación 1:5 se identificó una remoción de Fe del 57.26% y del 21.15% de zinc. Los otros metales evaluados presentaron concentraciones similares tanto en los efluentes como en el influente, las pequeñas variaciones es posible que estén ligadas al error analítico.

1.4 Adsorción con Carbón Activado

El uso del carbón activado para remover orgánicos disueltos de las aguas residuales ha sido empleado por mucho tiempo y ha demostrado ser muy eficiente.

El carbón activado adsorbe una gran variedad de materiales orgánicos disueltos incluso muchos de ellos no son biodegradables. La adsorción se facilita gracias a la gran área superficial del carbón granular la cual es atribuida a su estructura altamente porosa. El carbón en ciertas configuraciones también actúa como un filtro.

1.4.1 Diseño Experimental

Con la finalidad de obtener un efluente con un contenido orgánico menor al alcanzado en la oxidación química se propuso el tratamiento con carbón activado.

La experimentación se llevo a cabo poniendo en contacto el lixiviado tratado con peróxido de hidrógeno y carbón activado en diferentes cantidades, las cuales se fijaron en función de la demanda química de oxígeno identificada en el efluente del proceso anterior, las relaciones con que se llevó a cabo la experimentación fueron las siguientes: 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2 y 1:3, por ejemplo para una DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) influente de 500 mg/l se emplearon 250, 500, 750, 1,000 y 1,500 mg de carbón activado para cada una de las relaciones indicadas arriba.

Con objeto de alcanzar una máxima remoción de contaminantes se permitió un tiempo de contacto de 30 minutos al cabo de los cuales se procedió a filtrar el efluente con objeto de eliminar el carbón y poder realizar la evaluación del tratamiento.

1.4.2 Resultados

Los resultados generados en cada una de las corridas se muestran en la tabla 1.4, cabe destacar que, al igual que en la etapa de oxidación química, en esta fase del tratamiento se realizaron pruebas de adsorción con relaciones superiores a las mencionadas arriba con objeto de identificar una mayor remoción de contaminantes proporcional a la cantidad de carbón empleada, sin embargo esto no se presentó, por lo cual únicamente se presentan los resultados de las relaciones anteriores a la de máxima eficiencia y una posterior



1.4.3. Análisis de resultados

Es importante destacar que tanto en esta prueba como en la de oxidación química el objetivo principal fue la remoción de materia orgánica disuelta, por ello se puede considerar que las variaciones existentes en los sólidos en suspensión se pueden atribuir a errores analíticos.

pH

Los valores de pH se mantuvieron sin cambio en las tres primeras relaciones, mientras que en las dos últimas se detectó un incremento de una décima de unidad, este pequeño aumento en el valor del pH se puede atribuir a la remoción de ácidos grasos.

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica detectada en las corridas con relaciones de DQO(*Demanda Química de Oxígeno*): Carbón de 1:1 y 1:1.5 fueron ligeramente inferiores al valor inicial, la mínima conductividad registrada se presentó en la tercera relación con 36,800 J1.µhos/cm la cual se mantuvo en las dos últimas corridas. Debido a que se ha establecido que los ácidos grasos contribuyen a la conductividad, es posible que la disminución de ésta sea ocasionada por la eliminación de ácidos.

Sólidos

El contenido de sólidos disueltos volátiles es muy pequeño ya que en el influente se detectaron 172 mg/l, valor inferior al que se detectó en el efluente de la oxidación química cuyo registro fue de 460 mg/l, cabe destacar que el agua influente con que se realizó la adsorción fue diferente al empleado en la oxidación química, es por ello que se observan estas variaciones así como en el contenido de la DQO(*Demanda Química de Oxígeno*).

La máxima remoción de sólidos totales volátiles se presentó en el lixiviado tratado con una relación de 1:2 con un 84.54%, esta fracción removida representó un valor en el efluente de 30 mg/l.

Es importante mencionar que se detectaron pequeñas variaciones en el contenido de sólidos disueltos fijos. Los sólidos solubles de origen orgánico alcanzaron una remoción del 88.37%, esto también se logró con la relación pe 1:2, la cual presentó un valor de 20 mg/l.

Materia orgánica

Se alcanzaron remociones aceptable de materia orgánica expresada tanto de DQO(*Demanda Química de Oxígeno*) como DBO(*Demanda Biológica de Oxígeno*). El influente presentó un valor de demanda química de 860 mg/l y en la bioquímica de 240 mg/l, estos valores se abatieron a 210 y 150 mg/l respectivamente. La máxima remoción de estos contaminantes se logró con la relación de 1:2, la relación siguiente presentó valores similares, sin embargo es posible inferir que con mayores cantidades de carbón activado no existe mucha variación en la remoción de contaminantes con respecto a la detectada en la relación antes mencionada.

Nutrientes

El contenido de nitrógeno tanto en forma amoniacal como total presentó prácticamente los mismos valores en el influente y los efluentes, esto indicó la permanencia de estos contaminantes aún después de los procesos de tratamiento a que fue sometido el lixiviado, situación similar se presentó en el contenido de fósforo.



Metales

El contenido de metales se detectó en los mismos niveles tanto en el influente con en los efluentes de cada corrida experimental, es muy factible que las pequeñas variaciones detectadas sean producto del error analítico implícito en estas determinaciones y no de eliminación o incremento de las concentraciones por el tipo de tratamiento.

1.5 Tren de Tratamiento

Al finalizar el periodo de pruebas de tratabilidad y analizar los resultados obtenidos, se estableció un tren de tratamiento el cual será sometido a una evaluación.

La secuencia del sistema de tratamiento propuesto es la siguiente:

- Sedimentación primaria
- Acidificación con Ácido Sulfúrico
- Neutralización con Hidróxido de Sodio
- Coagulación con sulfato de aluminio y Cloruro Férrico
- Sedimentación
- Oxidación Química con Peróxido de Hidrógeno
- Recuperación de pH y eliminación de Fe con Hidróxido de Sodio
- Sedimentación
- Filtración
- Centrifugado de Lodos y Disposición Controlada

1.6 Planta piloto de flujo continuo

Debido a la variabilidad en las características fisicoquímicas de los lixiviados generados en el sitio de disposición final de Bordo Poniente se consideró conveniente construir y operar una planta piloto a nivel laboratorio que alimentada con lixiviados obtenidos en diferentes sitios dentro del relleno y con diferentes tiempos pudiera evaluar su eficacia en condiciones de operación continuas. El tren de tratamiento quedo establecido como se identificó en el inciso anterior hasta culminar con adsorción en carbón activado.

1.6.1 Parámetros de diseño

Gasto

Después de analizar varias posibilidades se consideró conveniente establecer un gasto de 5 l/hr (84 ml/min) lo que permite manejar volúmenes de alimentación entre los 50 y 100 litros y volúmenes de reactor entre 3 y 10 litros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Acidificación.	Volumen del reactor 5 litros Tiempo de retención 1 hr. Dimensiones aproximadas: Ancho 15 cm Largo 20 cm Altura 17 cm Altura 35 cm
Neutralización.	Volumen del reactor 5 litros Tiempo de retención 1 hr. Dimensiones aproximadas: Ancho 15 cm Largo 20 cm Altura 17 cm
Mezcla rápida.	Volumen del reactor 1.4 litros Tiempo de retención 17 minutos Dimensiones aproximadas: Ancho 1 Largo 15 cm Altura 8 cm
Floculación.	Volumen del reactor 5 litros Tiempo de retención 1 hr. Dimensiones aproximadas: Ancho 15 cm Largo 20 cm Altura 17 cm
Sedimentación.	Volumen del reactor 3 litros Tiempo de retención 36 minutos Sección circular Diámetro 10 cm Área superficial 78.54 cm ² Carga superficial 1.07 ml/min/cm ² (154 m ³ /m ² /d)
Oxidación Quím.	Volumen del reactor 5 litros Tiempo de retención 1 hr. Dimensiones aproximadas: Ancho 15 cm Largo 20 cm Altura 17 cm
Remoción de Fe.	Volumen del reactor 5 litros Tiempo de retención 1 hr. Dimensiones aproximadas: Ancho 15 cm Largo 20 cm Altura 17 cm
Sedimentación.	Volumen del reactor 3 litros Tiempo de retención 36 minutos Sección Circular Diámetro 10 cm Área superficial 78.54 cm ² Carga superficial 1.07 ml/min/cm ² (154 m ³ /m ² /d)
Filtración- Arena.	Espesor cama de arena 20 cm Área 3.14 cm ²
Adsorción.	Carbón activado Espesor cama 15 cm Área 3.14 cm ²



1.6.2 secuencia de operación

El influente se obtuvo en volumen suficiente para poder operar el sistema un mínimo de 10 horas continuas (100 litros); la dosificación se mantuvo constante utilizando un equipo de dosificación de suero (venoset). Al inicio se acidificó el volumen de 10 litros del primer reactor hasta pH inferior a 1.5 y una vez iniciada la alimentación continua manualmente se adicionó ácido sulfúrico concentrado para mantener esta condición de operación. En esta misma forma manual se adiciona la sosa cáustica manteniendo el pH cercano a 7.

La dosificación de los coagulantes, sulfato de aluminio y cloruro férrico se llevó a cabo en forma continua utilizando equipos venoset. Se prepararon soluciones de cloruro férrico y sulfato de aluminio a concentraciones de 100 mg/ml y se dosificaron a una tasa de 20 ml de cloruro férrico por litro de lixiviado (2g) y de 10 ml de sulfato de aluminio por litro de lixiviado (19). Tanto la acidificación como la neutralización se realizaron en tanques mezclados con aire; mientras que la agitación rápida en la adición de coagulantes se llevó a cabo utilizando un agitador mecánico de aspas.

La floculación se llevó a cabo asimismo utilizando un difusor de aire y controlando el flujo para permitir una mezcla lenta pero homogénea en todo el reactor. Del floculador se pasa al sedimentador que es un cilindro de acrílico de 10 cm de diámetro con un embudo en la parte inferior. El influente al sedimentador pasa directamente a un cilindro de PVC de 1 pulgada de diámetro que obliga a que todo el líquido bajo tratamiento se conduzca hacia el fondo para el sobrenadante salir por la parte superior. El efluente de este sedimentador se consideró la primera etapa del tratamiento permitiendo su muestreo para evaluación de eficiencias.

El efluente del sedimentador en el proceso continuo pasa al reactor de oxidación química a donde es adicionado el peróxido de hidrógeno en una solución al 30 % a una tasa de 5 ml/min .Con estas dosificaciones de reactivo tanto de coagulantes como de peróxido de hidrógeno, el pH del lixiviado bajo tratamiento se reduce hasta cerca de 3.5 por lo que se requiere una neutralización a pH de 7 donde se precipita el Hierro remanente y demás metales que pudieran haber quedado. Esta neutralización se realiza manualmente adicionando sosa cáustica 1 N hasta alcanzar el pH neutro.

La precipitación de Hierro requiere una segunda sedimentación que marca la segunda etapa de sedimentación que marca la segunda etapa de tratamiento.

Finalmente el efluente del sedimentador es conducido a través de la columna de PVC de 1" de diámetro y que contenía la cama de arena y de carbón activado en un lecho dual que no fue retrolavado durante la experimentación; sino que se reemplazo por material nuevo antes de su saturación.

1.6.3 Programa de operación

La experimentación con la planta piloto se limitó a 8 muestras distintas de lixiviados. Para evaluar las eficiencias se integraron muestras compuestas a partir de cuatro muestras individuales tomadas una cada hora en influente y efluentes de cada una de las etapas de tratamiento.

El inicio de operación de la planta piloto se llevó a cabo utilizando lixiviado mezclado proveniente de los cuatro puntos de muestreo y el remanente en los reactores servía para recibir los diversos reactores analizados.

TABLA 1.1 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO DE BORDO PONIENTE SOMETIDO A SEDIMENTACION

PARAMETROS	UNIDADES	INFLUENTE1	EFLUENTE2	% REMOCION	INFLUENTE2	EFLUENTE2	% REMOCION
PH	UNIDADES	8.48	8.48		8.32	8.32	
CONDUCTIVIDAD	μmhos/cm	42,800.00	42,800.00		40,425.00	40,425.00	
TURBEDAD	NTU	310.00	310.00		550.00	520.00	5.45
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	22,840.00	20,096.00	12.01	20,961.00	18,736.00	10.61
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	18,636.00	17,100.00	8.24	17,350.00	17,010.00	1.96
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	4,204.00	2,996.00	28.73	3,611.00	1,726.00	52.20
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	19,072.00	19,536.00		18,062.00	18,050.00	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	16,636.00	16,976.00		16,400.00	16,410.00	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	mg/l	2,436.00	2,560.00		1,662.00	1,640.00	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	3,768.00	560.00	85.14	2,899.00	686.00	76.34
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	mg/l	2,000.00	124.00	93.80	950.00	600.00	36.84
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	mg/l	1,768.00	436.00	75.34	1,949.00	86.00	95.59
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	15.00	<0.5		2.40	<0.5	
DBO total	mg/l	1,800.00	450.00	75.00	6,925.00	3,760.00	45.70
DOC total	mg/l	4,750.00	3,190.00	32.84	18,983.00	12,957.00	32.27

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TABLA 1.2 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO DE BORDO PONIENTE SOMETIDO A ACIDIFICACION - COAGULACION

PARAMETROS	UNIDADES	INFLUENTE1	EFLUENTE2	% REMOCION
PH	UNIDADES	8.48	4.21	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	µ mmps/cm	42,800.00	58,500.00	
TURBIEDAD	NTU	310.00	80.00	
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	20,060.00	34,292.00	74.19
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	17,264.00	32,660.00	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	2,796.00	1,632.00	41.63
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	19,788.00	34,244.00	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	17,120.00	32,650.00	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	mg/l	2,668.00	1,594.00	40.25
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	272.00	48.00	82.35
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	mg/l	144.00	10.00	93.06
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	mg/l	128.00	38.00	70.31
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	<0.5	<0.5	<0.1
DBO total	mg/l	54.00	270.00	50.00
DBO soluble	mg/l	360.00	210.00	41.67
DDO total	mg/l	3,190.00	2,100.00	34.17
DDO soluble	mg/l	3,050.00	1,850.00	39.34
N- AMONICAL	mg/l	1,710.00	1,600.00	6.43
N- TOTAL	mg/l	2,200.00	2,050.00	6.82
P - PO4 ORTO	mg/l	35.00	34.00	2.86
CADMIO	mg/l	0.06	0.08	
CROMO	mg/l	0.47	0.41	12.77
SIERRO	mg/l	9.70	50.60	
PLOMO	mg/l	0.47	0.34	27.66
ZINC	mg/l	1.29	0.42	67.44

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TABLA 1.3 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO DE BORDO PONIENTE SOMETIDO A OXIDACION QUIMICA CON PEROXIDO DE HIDROGENO

PARAMETROS	UNIDADES	INFLUENTE	EFLUENTE 1.1	EFLUENTE 1.2	EFLUENTE 1.3	EFLUENTE 1.4	EFLUENTE 1.5	REMOCION %
PH		5.69	5.51	5.46	4.45	5.68	6.01	
CONDUCTIVIDAD	µ mhos/cm	46,900.00	41,400.00	46,400.00	41,300.00	41,900.00	38,200.00	
TURBIDIDAD	NTU	26.00	2.00	2.20	2.00	1.90	1.60	93.85
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	35,256.00	35,092.00	34,850.00	34,120.00	32,372.00	31,650.00	10.23
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	32,012.00	31,904.00	31,764.00	31,488.00	31,248.00	31,190.00	2.57
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	3,244.00	3,188.00	3,086.00	2,632.00	1,124.00	460.00	85.82
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	35,164.00	35,020.00	34,840.00	34,080.00	32,286.00	31,600.00	10.14
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	31,932.00	31,840.00	31,760.00	31,460.00	31,180.00	31,160.00	2.42
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	mg/l	3,232.00	3,180.00	3,080.00	2,620.00	1,106.00	440.00	86.39
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	92.00	72.00	10.00	40.00	86.00	50.00	45.65
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	mg/l	80.00	64.00	4.00	28.00	68.00	30.00	62.50
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	mg/l	12.00	8.00	6.00	12.00	18.00	20.00	
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
DBO total	mg/l	2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,150.00	630.00	140.00	94.40
DBO soluble	mg/l	2,200.00	2,200.00	1,950.00	1,500.00	630.00	130.00	94.08
DOO total	mg/l	3,890.00	3,830.00	3,700.00	3,160.00	1,350.00	560.00	85.60
DOO soluble	mg/l	3,880.00	3,820.00	3,696.00	3,140.00	1,330.00	528.00	86.39
N- AMONIACAL	mg/l	1,600.00	1,550.00	1,200.00	1,350.00	1,400.00	1,350.00	15.63
N- TOTAL	mg/l	2,100.00	2,050.00	1,900.00	1,950.00	2,100.00	2,050.00	2.38
P- PO4 ORTO	mg/l	35.00	33.00	29.00	32.00	32.00	34.00	2.86
CADMIO	mg/l	0.08	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	
CROMO	mg/l	0.07	0.07	0.05	0.08	0.05	0.07	
FIERRO	mg/l	24.10	24.60	17.00	31.60	13.20	10.30	57.26
PLOMO	mg/l	0.50	0.34	<0.03	<0.03	1.43	0.62	
ZINC	mg/l	0.52	0.39	0.36	0.37	0.41	0.41	21.15



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ESCUELA NACIONAL ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
INGENIERIA CIVIL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 1.4 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO DE BORDO PONIENTE SOMETIDO A ADSORCION CON CARBON ACTIVADO

PARAMETROS	UNIDADES	INFLUENTE	EFLUENTE 1:0.5	EFLUENTE 1:1	EFLUENTE 1:1.5	EFLUENTE 1:2	EFLUENTE 1:3	REMOCION %
PH	UNIDADES	6.20	6.20	6.20	6.20	6.30	6.30	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	µ mhos/cm	39,600.00	39,000.00	37,000.00	36,800.00	36,800.00	36,800.00	
TURBEDAD	NTU	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.00	20.00
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	34,815.00	34,800.00	34,600.00	34,550.00	34,480.00	34,480.00	0.96
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	34,621.00	34,606.00	34,480.00	34,460.00	34,450.00	34,440.00	0.52
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	194.00	194.00	120.00	90.00	30.00	40.00	79.38
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	34,760.00	34,700.00	34,560.00	34,500.00	34,430.00	34,450.00	0.89
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	34,588.00	34,520.00	34,450.00	34,420.00	34,410.00	34,420.00	0.49
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	mg/l	172.00	180.00	110.00	80.00	20.00	30.00	82.56
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	55.00	100.00	40.00	50.00	50.00	30.00	45.45
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	mg/l	33.00	86.00	30.00	40.00	40.00	20.00	39.39
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	mg/l	22.00	14.00	10.00	10.00	10.00	10.00	54.55
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mg/l	<0.50	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
DBO total	mg/l	240.00	240.00	240.00	240.00	150.00	200.00	16.67
DBO soluble	mg/l	210.00	210.00	210.00	210.00	80.00	120.00	42.86
DQO total	mg/l	860.00	776.00	600.00	477.00	210.00	240.00	72.09
DQO soluble	mg/l	720.00	720.00	440.00	320.00	80.00	120.00	83.33
N-AMONICAL	mg/l	1,520.00	1,520.00	1,400.00	1,520.00	1,500.00	1,520.00	
N- TOTAL	mg/l	2,050.00	2,050.00	1,900.00	2,050.00	2,100.00	2,050.00	
P- PO4 ORTO	mg/l	44.00	44.00	42.00	45.00	44.00	42.00	4.55
CADMIO	mg/l	0.10	0.08	0.11	0.10	0.06	0.11	
CROMO	mg/l	0.35	0.40	0.31	0.41	0.36	0.40	
FIERRO	mg/l	12.28	11.30	11.40	12.50	11.20	12.10	1.47
PLOMO	mg/l	0.40	0.36	0.30	0.32	0.28	0.42	
ZINC	mg/l	0.56	0.41	0.60	0.58	0.49	0.50	10.71



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
INGENIERIA CIVIL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



2. EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Las características de tratabilidad de los lixiviados generados en la 1a. y 2a. etapas de Bordo Poniente, no permiten identificar muchas opciones para su depuración. Específicamente los procesos de tratamiento biológicos han mostrado no ser adecuados para la depuración de estos desechos líquidos alcanzando únicamente eficiencias cercanas al 50% en la remoción de la materia orgánica medida como DQO (*Demanda Química de Oxígeno*).

Los procesos de tratamiento fisicoquímicos tradicionales como son sedimentación, filtración y coagulación son asimismo limitados en su eficacia ya que una porción importante de los contaminantes presentes en los lixiviados están en forma disuelta. Como se mencionó en el capítulo anterior fue necesario el desarrollo de un proceso de tratamiento específico que precipitara en principio los contaminantes para posteriormente removerlos eficientemente mediante coagulación sedimentación. La eficiencia de este proceso aunque no muy alta permite la posterior aplicación de procesos más complejos y costosos para eliminar el remanente de contaminantes, especialmente de origen orgánico, utilizando procesos de oxidación química y en caso extremo de adsorción. Los resultados preliminares de esta técnica novedosa de tratamiento que incluye la acidificación, neutralización, coagulación, sedimentación, oxidación química y filtración arroja costos de tratamiento cercanos a los 4,000 pesos/m³ siendo el consumo de reactivos el aspecto que más incide en estos elevados costos de operación. En caso de contemplarse la adsorción los costos de tratabilidad podrían ascender hasta cerca de los 5,100 pesos/m³.

No fue factible identificar otros procesos de tratamiento fisicoquímico que pudieran ser eficientes y económicos para la depuración de estos desechos. Se plantearon esquemas de membrana a nivel de ósmosis inversa y electro diálisis; asimismo es factible la oxidación química utilizando diversos productos como peróxido de hidrógeno, ozono y cloro y aún se puede plantear la utilización de reactivos oxidantes tales como el permanganato de potasio y otros similares. Cabe destacar que la aplicación de procesos de membrana que representan asimismo un alto costo, requieren el acondicionamiento del desecho a un nivel semejante al que se tendría con el proceso propuesto. Es decir que la aplicación de los procesos de membrana pudiera ser considerada como etapa posterior al proceso de precipitación, coagulación, oxidación química y filtración para asegurar una vida adecuada de las membranas. Esto implica que los costos de tratamiento serían los 4,000 pesos/m³ más el costo del proceso de membrana.

Se realizaron pruebas de oxidación con ozono sin obtenerse resultados adecuados. Asimismo la empresa proveedora del peróxido de hidrógeno desarrolló una experimentación a nivel laboratorio para determinar la eficiencia de oxidación empleando lixiviado crudo. Los resultados indicaron una demanda aproximada de 150 gr de peróxido de hidrógeno por litro de lixiviado lo que arrojaba un costo en reactivo superior a los 25,000 pesos/m³.

Cabe destacar que la búsqueda de procesos de tratamiento más económicos, se recurrió a la utilización de polímeros de amplio espectro ofertados por empresas japonesas con un aparente elevado nivel de efectividad. Se realizaron algunas pruebas a nivel laboratorio sin resultados satisfactorios.

Finalmente es posible considerar el proceso extremo de evaporación que por los gastos reducidos pudiera ser eficaz. sin embargo considerando las características de evaporación-precipitación en la zona se requerirían áreas de entre 50 y 60 Ha para evaporar el gasto de 3.5 l/s que se ha identificado como el gasto de diseño del proceso de tratamiento.

De acuerdo con estos conceptos se concluyó que con la información disponible el proceso desarrollado en este estudio que incluye las etapas de acidificación, neutralización, mezcla rápida, coagulación, sedimentación, neutralización, oxidación química, sedimentación y filtración es la opción más adecuada para la depuración de lixiviados generados en la 1a. y 2a. etapas de Bordo Poniente.



3. DETERMINACION DE GASTOS DE DISEÑO.

Debido a que no existe un sistema de captación de lixiviados, no es posible medir el flujo de estos desechos líquidos que deben ser sometidos al tratamiento para su posterior disposición al ambiente. Por lo tanto fue necesario realizar una evaluación de la posible generación de lixiviados que sirvieran de base para el dimensionamiento y diseño de los reactores del sistema general.

Una de las condiciones particulares del sitio la constituye la incorporación de agua freática hacia el volumen de residuos sólidos que al incorporarse a los lixiviados genera volúmenes que de ser sometidos a tratamiento encarecerían totalmente los costos de operación. De acuerdo con observaciones en campo se ha podido identificar que al extraer un mayor volumen de lixiviado se promueve la incorporación del agua freática aumentando el volumen a tratar. Por lo tanto se destinó especial interés a tratar de establecer el flujo de lixiviados que deberían ser procesados mediante tratamiento.

No se cuenta con una metodología totalmente comprobada para determinar el gasto de lixiviados por lo que fue necesario realizar varias estimaciones y concluir en el gasto que se consideró más representativo.

3.1 cuantificación de lixiviados basada en balance hídrico.

El balance hídrico es un procedimiento teórico de cuantificación de lixiviados que se basa en la precipitación pluvial, su infiltración hacia la masa de residuos sólidos, la evaporación y la humedad que pueden almacenar los residuos sólidos y que permiten un metabolismo biológico adecuado de la materia orgánica. El procedimiento completo ha sido descrito detalladamente en otros estudios por lo que en este caso solo se analizan los resultados que permiten estimar el volumen de lixiviados que se producirán.

La precipitación media mensual para la estación meteorológica Aeropuerto que se considero suficientemente cercana y representativa de las condiciones prevalecientes de la zona donde se localiza el relleno sanitario que integra los valores de 1981 a 1990, se tiene una precipitación promedio anual de 572.04 mm.

Los datos de temperatura media mensual también para el periodo de 1981 a 1990 en la estación climatológica de Aeropuerto arrojando un valor promedio de 16.42 °C.

Empleando estos valores se presentan los resultados de percolación al relleno que se estima se tendrá mensualmente tomando en cuenta precipitación, evaporación, almacenamiento de humedad en el suelo e infiltración. Para este caso y tomando en cuenta las características del material de cubierta se consideró una infiltración aproximadamente del 80% en promedio que si bien se considera alta, se determinó tomado en cuenta que en la cubierta final se observa una gran cantidad de grietas y la plataforma superior es totalmente plana permitiendo mayor posibilidad de infiltración. Además este valor se considera conservador lo que arrojará mayores volúmenes de lixiviados a ser tratados.

Debido a las condiciones antiestéticas generadas por la acumulación de lixiviado y con el objeto de evitar su incorporación sin control hacia los mantos acuíferos subterráneos, la Dirección General de Servicios Urbanos a través de su Dirección de operación de Residuos sólidos determinó el captar y conducir estos lixiviados hasta una laguna de tratamiento que previa su impermeabilización mediante membrana de polietileno de alta densidad permite acumular un volumen considerable de estos desechos líquidos. De acuerdo con información de campo se ha podido establecer que en época de estiaje se retiran hasta cerca de 180 m³/día incrementándose este volumen en época de lluvia que puede llegar a ser de más de 500 m³/día. Estas cifras son evidentemente muy superiores a la generación de lixiviados esperada, mas aun si se considera que esta se iniciaría al 5o año después de haber clausurado el sitio. Es evidente por lo tanto el efecto de las aguas freáticas incorporándose al volumen de desechos sólidos. Con el objeto de tener otras bases de comparación se realizaron algunas otras estimaciones basadas en criterios de ingeniería. La primera consiste en estimar el volumen de lixiviados originado por la infiltración directa de agua de lluvia sin tomar en cuenta evaporación, deficiencia en capacidad de campo y humedad metabólica utilizada. De acuerdo con este esquema para una



superficie de 75 Ha con una precipitación media anual de 572 mm, en la tabla 3.5 se muestran los diferentes gastos de lixiviados que podrían originarse variando del 100 al 10% de la infiltración total. De acuerdo con estas consideraciones el gasto de lixiviados para el 100 % de infiltración sería de 13.6 l/s para cada una de las etapas lo que daría un total de 2350.7 m³/día de lixiviado a ser tratado. El 10% de infiltración arrojaría un total de 235.1 m³/día o un gasto de 2.72 l/s.

3.2 Determinación de interfase lixiviado-agua freática.

Considerando que el lixiviado que se genera en el volumen de residuos es originado por el agua de lluvia que se infiltra y a la cual se le incorporan los contaminantes tanto por disolución como por actividad biológica, se espera que estos tengan una densidad inferior a la del agua freática en este sitio ya que con lo cerca de 4 gr/l de sales inorgánicas disueltas su densidad puede incrementarse sustancialmente; al menos para provocar una masa de agua en la parte superior que corresponda propiamente a los lixiviados y otra inferior que sea primordialmente agua del subsuelo. Bajo este esquema se pretendió evaluar el volumen de lixiviados a ser tratados considerando que deberían conducirse a la planta de tratamiento únicamente una parte de la masa de lixiviados real que exista en cada fase.

Para determinar esta franja de lixiviados se procedió a realizar un estudio de campo que consistió en la inserción de pozos de muestreo que permitieran la obtención de lixiviados en la superficie del volumen acumulado ya cada 40 cm dentro de la masa de desechos. Cada muestra obtenida y procesada en laboratorio para determinar:

- Sólidos en sus nueve formas
- Conductividad Eléctrica.
- DQO
- Sodio
- Cloruros
- Cadmio
- Cobre
- Fierro

Permitirían definir a que profundidad se puede considerar que el líquido contenido en la masa de residuo sólidos corresponde al lixiviado.

El comportamiento de los lixiviados generados en la 1a. y 2a. etapas del relleno sanitario de Bordo Poniente, ha mostrado diferencias significativas con respecto a otros sitios de disposición final. Aparentemente la problemática está basada en una incorporación del agua freática hacia la masa de residuos sólidos combinándose con los lixiviados producidos obteniéndose un residuo líquido con grandes dificultades para su tratamiento especialmente por las altas concentraciones de sales inorgánicas que inhiben el metabolismo biológico. Está inhibición de la actividad biológica provoca asimismo que los desechos sólidos no se degraden adecuadamente observándose una reducida generación de biogás.

No existe una identificación precisa de los fenómenos que inducen la incorporación del agua del subsuelo, considerándose que puede ser una combinación de fenómenos entre los que se pueden identificar la difusión molecular, el desplazamiento del agua de la masa de arcillas por efecto del peso por residuos superpuestos al suelo. Sin embargo dado que (estas dos etapas se encuentran en una fase prácticamente de clausura y no pudiendo establecer condiciones que eviten la mezcla del agua del subsuelo con los lixiviados, se consideró conveniente identificar con mayor precisión la zona de influencia de esta mezcla de líquidos que pueda servir de base a la determinación de gastos de lixiviados a ser tratados previa su disposición final.

Asimismo la identificación de la posición de los lixiviados dentro del volumen de residuos sólidos será la base para establecer la profundidad a que se localicen los conductos de captación para transportar los lixiviados hasta los sitios de tratamiento.



Dadas las condiciones de incertidumbre a cerca del comportamiento de los lixiviados, fue necesario iniciar el estudio estableciendo algunas suposiciones basadas en los resultados de estudios previos; en principio se realizaron perforaciones en la segunda etapa hasta una profundidad máxima de 1.6 metros por abajo del nivel permanente de los lixiviados; ya partir de los primeros resultados se identificó la necesidad de llegar a mayor profundidad. Finalmente los resultados permitirán identificar el comportamiento en las zonas estudiadas alcanzándose los objetivos planteados. No obstante se considera conveniente el continuar con análisis del comportamiento de la calidad de los lixiviados a mediano plazo, definiendo no solo la variación estacional sino la variación a medida que se va logrando la estabilización de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos.

En este documento se muestran los resultados obtenidos en el estudio mencionado, así como las conclusiones que permitieron definir la posición de los sistemas de captación y transporte de los lixiviados hacia su tratamiento y disposición.

3.2.1 Instalación de Pozos de Muestreo

Para llevar a cabo la instalación de los pozos de muestreo fue necesario realizar perforaciones de 3 pulgadas de diámetro a diferentes profundidades. Las perforaciones se llevaron a cabo con una perforadora rotatoria de barril en seco.

3.2.1.1 Pozos de Muestreo en Primera Etapa.

Inicialmente se pretendió perforar e instalar pozos de muestreo en la tercera capa de la primera etapa del relleno, sin embargo debido a que el lixiviado se detectó a una profundidad de 4.3 m, se decidió realizar la instalación en la segunda capa ya que el costo de perforación y material en la tercera capa se incrementaría notablemente por la alta profundidad a la que se detectó el lixiviado, mientras que en la segunda capa se encontró a 0.80 m.

Las perforaciones se realizaron a diferentes profundidades, en total se efectuaron siete, la diferencia de profundidad entre las cinco primeras fue de 0.40 m, mientras que para las dos últimas fue de 1.0 m. La longitud de las perforaciones dentro del líquido fueron las siguientes: 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0 y 4.0 m.

En cada barreno se colocó un tubo de PVC hidráulico de 2", con un tapón cachucha en el fondo y perforaciones de 1/4" en los últimos 10 cm con la finalidad de permitir el paso del lixiviado localizado en la zona deseada. En la figura 3.1 se muestra esquemáticamente el detalle del fondo de estos tubos.

3.2.1.2 Pozos de Muestreo en la segunda Etapa.

La instalación de los pozos de muestreo en la segunda etapa, se realizó prácticamente en el centro de la celda. Se eligió este lugar debido a la poca profundidad del lixiviado.

La perforación se realizó con una perforadora de barril rotatorio en seco, el barreno fue de 3" y el diámetro de la tubería instalada de 2 pulgadas.

El total de perforaciones se realizó en dos etapas, en la primera de ellas se efectuaron de 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 y 1.6 metros de profundidad con respecto al nivel de lixiviados. Después de evaluar algunos parámetros en las muestras tomadas en estos pozos de muestreo se decidió realizar perforaciones a mayor profundidad, lo cual dio origen a la perforación de pozos con 2.6 y 3.6 m de profundidad.



3.2.2 Nivelación de Pozos de Muestreo

Con la finalidad de determinar la profundidad del lixiviado con base en una referencia conocida, se realizó la nivelación de los pozos de muestreo, para tal efecto se tomo como referencia el banco de nivel número 50 de la DGCOH el cual se encuentra ubicado a un costado de la descarga del lago de regulación horaria. Este banco de nivel tiene la cota 31.175. Este nivel se llevo hasta las zonas de instalación de pozos de muestreo en ambas etapas. La cota en cada zona de medición es la siguiente:

Primera Etapa 34.00

Segunda Etapa 34.65.

3.2.3 Drenado de Pozos de Muestreo

Para obtener una muestra representativa de la profundidad a que se instalaron los pozos de muestreo fue necesario purgar el lixiviado de cada tubo, para tal efecto se utilizó una bomba centrífuga autocebante.

La purga se realizó al día siguiente de concluida la instalación y dos días antes de cada muestreo.

La purga consistió en colocar la línea de succión de la bomba dentro del tubo, lo más próxima posible al fondo, en ese momento se puso en marcha el equipo, la purga finalizó en el momento en que se achicó el líquido dentro del pozo de muestreo. Después del drenado se permitió un tiempo de recuperación de 30 minutos y posteriormente se colocaron los tapones de cada tubo.

3.2.4 Caracterización de Lixiviados a Diferentes profundidades.

Con el objeto de identificar la interfase lixiviado-agua freática se efectuaron muestreos de lixiviado a diferentes profundidades dentro de la primera y segunda etapa del relleno sanitario de Bordo Poniente, para tal efecto se tomaron muestras del líquido dentro de los pozos de muestreo.

La muestra se tomó empleando una bomba de vacío adaptada a un matraz kitazato y se empleó una sonda de tamaño apropiado para cada profundidad.

Para la determinación de las concentraciones de contaminantes se emplearon las técnicas establecidas por los Métodos Estándar para el análisis de aguas y aguas residuales, cabe destacar, sin embargo, que dada la precisión requerida para poder establecer diferencias entre las concentraciones a diferentes profundidades, todas las determinaciones en laboratorio fueron desarrolladas por duplicado, lo que permite reducir el error analítico.

3.2.4.1 Caracterización en la Primera Etapa.

En las tabla 3.1 y 3.2 se muestran los resultados obtenidos en la caracterización al lixiviado de los pozos de muestreo instalados en la primera etapa.

sólidos

El comportamiento de los sólidos totales en el lixiviado de las cuatro primeras profundidades presentó poca variabilidad mientras que a partir de los dos metros se pueden detectar una tendencia a incrementarse, la concentración de contaminantes expresado como sólidos a 0.4 m de profundidad fue de 15,460 mg/l, en tanto que los cuatro metros la concentración se incrementó a 18,332 mg/l.

El contaminante que se incrementó en mayor proporción fueron los sólidos disueltos fijos, asimismo se observó una concentración mayor de materia orgánica expresada como sólidos totales volátiles.



Cloruros

El contenido de cloruros en cada prácticamente el mismo, ya que no importantes en función de la profundidad muestra analizada fue se observan variaciones

Materia orgánica

El contenido de materia orgánica expresado como demanda química de oxígeno presentó cierta tendencia a decrecer de los 0.4 a 1.6 m de profundidad, sin embargo a partir de los 2 m la tendencia es al incremento.

Sodio

El contenido de sodio en los cinco primeros pozos de muestreo se mantiene prácticamente constante únicamente en el último se detectó un contenido mayor de 2,839 mg/l.

3.2.4.2 caracterizaciones en la segunda Etapa.

Para la segunda etapa del sitio de disposición de Bordo Poniente se llevaron a cabo cuatro acciones de muestreo y caracterización durante la época de lluvia.

En las tablas 3.3 y 3.4 se muestran los resultados de las caracterizaciones durante la primera fase de estudio en la que se contó únicamente con cinco pozos de muestreo alcanzando 1.6 m de profundidad en los lixiviados; en las tablas 3.5 y 3.6 se muestran los resultados de la segunda fase en la que se contaba con los siete pozos de muestreo.

Sólidos

El contenido de sólidos en las dos primeras caracterizaciones presentan valores superiores a menor profundidad y disminuyen conforme ésta se incrementa. Aunque puede establecerse que los valores se encuentran del error analítico definido en los Métodos Estándar¹. Aunque como se mencionó anteriormente todas las determinaciones se realizaron por duplicado lo que hace más válidas las diferencias obtenidas.

El comportamiento en los sólidos disueltos fijos es muy uniforme en ambos casos ya que no se detectan variaciones importantes en función de la profundidad.

Es importante mencionar que los sólidos totales volátiles decrecen casi en forma proporcional a la profundidad.

En la tercera caracterización observó una clara tendencia al incremento de los sólidos totales en forma casi lineal a la profundidad. El principal contaminante que contribuye a este incremento son los sólidos disueltos fijos ya que a la máxima profundidad presentaron un valor de 18,894 mg/l. En la tabla 3.4 se pueden observar dos tendencias en el comportamiento de este contaminante ya que de 0.2 m a 1.2 m se detecta que este contaminante decrece, mientras que a partir de 1.6 m la tendencia es al incremento.

Este mismo comportamiento se presenta en el contenido de materia orgánica expresada como sólidos totales volátiles.

1. Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater.



Cloruros

Los valores de cloruros que se presentan en la tabla 3.3 son prácticamente iguales para todas las muestras, mientras que en la tabla 3.4 se puede observar que el máximo contenido de cloruros se presentó en la mayor profundidad.

En los resultados de la tabla 4.5 se puede observar un valor prácticamente sin variación en los tres primeros pozos de muestreo mientras que en los tres últimos se detecta un claro incremento en este contaminante.

Materia orgánica

Los valores de materia orgánica expresada como demanda química de oxígeno (DQO) es muy variable en las caracterizaciones de septiembre ya que no presentan tendencia alguna a incrementar o decrecer en función de la profundidad, cabe destacar que si bien el valor mínimo corresponde a una profundidad de 1.6 metros, a 1.2 metros se detectó el valor máximo.

En la tabla 3.5 se puede observar una disminución de DQO (*Demanda Química de Oxígeno*) del lixiviado que se encuentra entre 0.2 y 0.8 m, a partir de 1.6 metros este comportamiento cambia totalmente y se incrementa en función de la profundidad.

Sodio

El contenido de sodio en la primera muestra de septiembre presentó poca variabilidad entre cada profundidad, en la segunda muestra se observó un ligero incremento en el lixiviado que se detectó a mayor profundidad.

En los resultados de la tabla 3.5, se puede observar una disminución en el contenido de este elemento hasta la profundidad de 0.8 metros, ya que a partir del 1.2 metros la concentración se incrementa y alcanza un valor máximo de 3,663 mg/l a la profundidad de 3.6 metros.

3.2.4.3 caracterización de Agua Freática

Con la finalidad de detectar por un lado la posible contaminación de las aguas subterráneas cercanas a las etapas 1 y 2 del relleno sanitario de Bordo Poniente o la influencia de ésta en los lixiviados generados por la acumulación de residuos sólidos, se llevó a cabo el muestreo de agua freática.

Para obtener la muestra del agua freática cercana a la primera etapa se realizó una excavación cercana al talud sur. Se excavó a 1.4 m y se tomó una muestra de agua.

El agua freática cercana a la segunda etapa se tomó de forma similar a la primera, solo que en este caso la excavación se realizó en la misma dirección pero del lado sur de la descarga del lago de regulación horaria, los resultados generados se muestran en la tabla 3.7

En esta tabla se puede apreciar el alto contenido de sólidos disueltos, de los cuales prácticamente la totalidad son de origen inorgánico, asimismo, el contenido tanto de cloruros como de sodio son típicos del agua freática de esta zona. Cabe destacar sin embargo que se han reportado concentraciones mucho más elevadas de sales disueltas en las aguas del subsuelo llegan en ocasiones a alcanzar valores superiores a los 35,000 mg/l.

En cuanto al contenido de materia orgánica, es posible que sea originado por la migración del lixiviado hacia el manto. Cabe destacar que las muestras se tomaron a cerca de 30 metros del talud más próximo.



3.2.5 Análisis de resultados

3.2.5.1 comportamiento de lixiviados en época de lluvia

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede, establecer que existe un comportamiento diferente entre los lixiviados que se generan en la 1a. etapa con los que se generan en la 2a. etapa del relleno sanitario de Bordo Poniente. A continuación se presentan algunas conclusiones basadas en los resultados que se obtuvieron en las caracterizaciones llevadas a cabo durante la época de lluvia. Cabe destacar que en el año en que se llevó a cabo el estudio, registró precipitaciones pluviales muy por encima de los promedios registrados para esta zona basados en datos históricos de cerca de 20 años. Esta condición posiblemente influya en la generación y comportamiento de los lixiviados por lo que se recomienda el continuar con estos estudios a futuro.

3.2.5.1.1 Primera etapa

Como se mencionó anteriormente, al realizar las perforaciones para la instalación de pozos de muestreo en la 1a. etapa se encontró que el nivel de lixiviados se encontraba aproximadamente a 4.30 metros del nivel superior de la 3a. capa que no se encuentra uniformemente dispuesta sobre la 2a. capa; ya que existe discontinuidad entre las celdas formadas. Considerando un espesor de 30 centímetros de material de cubierta para la 2a. y 3a. capas y un espesor de residuos sólidos de 2.50 metros, el nivel de lixiviado en este punto correspondería a una profundidad de 1.50 metros a partir del nivel superior de la 2a. capa. En el segundo intento de perforación, ya posicionados en la 2a. capa, el nivel de lixiviados se ubicó a 0.80 metros de profundidad que corresponde a 0.70 metros por arriba del nivel de lixiviados detectados en la 1a. perforación. No existe una explicación definitiva con respecto a este comportamiento, sin embargo se cree que la zanja de lixiviados perforada al pie del talud de la 3a. capa y que actualmente se encuentra inundada con líquido integrado por lixiviados y agua de lluvia, origine la diferencia entre los niveles detectados. Independientemente de esta condición, de acuerdo con los resultados establecidos se puede concluir que la concentración de contaminantes a todas las profundidades muestreadas es muy uniforme con cierta tendencia al incremento en las zonas de mayor profundidad. Los sólidos disueltos fijos van de 12,000 mg/l a 14,726 mg/l para la profundidad de 4.0 metros. Apparently existe una influencia definida de la incorporación de agua freática hacia la masa de sólidos afectando la totalidad de la masa de lixiviados. Las concentraciones de 12,000 mg/l de sales inorgánicas disueltas aparentemente resultan inhibitorias para la actividad biológica lo que se ha manifestado en una reducida producción de biogás y en las dificultades para someter a los lixiviados a tratamiento biológico. Las altas precipitaciones pluviales registradas son el factor que ha disminuido la concentración de sales. En estudios previos se han detectado concentraciones de sólidos disueltos fijos desde 4,596 hasta 37,020 mg/l, correspondiendo este valor máximo a diciembre de 1990 que se identifica con la época de estiaje. En esta época de estiaje los valores variaron únicamente de 17,779 al valor ya reportado de 37,020 mg/l.

Cabe por otro lado comparar estas altas concentraciones de sólidos disueltos fijos que se observan en la 1a. etapa con las concentraciones de este mismo contaminante para la segunda etapa las cuales se ubicaron por abajo de los 10,000 mg/l en la mayoría de los análisis efectuados. Para la fecha de correspondencia en caracterización tanto para la 1a. y 2a. etapas; es decir para los valores de 12,000 mg/l en primera etapa las concentraciones de los sólidos disueltos fijos en la 2a. etapa variaron de 4,000 a 6,800 mg/l para los primeros 2.0 metros de profundidad lo que equivale a menos de la mitad de lo reportado para la 1a. etapa.

Las concentraciones de sólidos totales, sólidos disueltos fijos y cloruros, son muy semejantes para las dos caracterizaciones realizadas en la época de lluvia, lo que equivale a establecer que realmente se está identificando el comportamiento real de los lixiviados. Apparently se tiene una mayor concentración de algunos contaminantes, especialmente sales inorgánicas disueltas, en la superficie del lixiviado, lo que podría explicarse por posibles efectos de evaporación ya que es la masa de lixiviados más expuesta a este fenómeno. A partir de este punto, las concentraciones decrecen un poco para después volver a incrementar se afectadas posiblemente por la mezcla con las aguas del subsuelo.



Los valores de DQO(Demanda Química de Oxígeno) son asimismo elevados en las dos etapas de caracterización mostrando mayor variabilidad que los sólidos inorgánicos. El comportamiento es muy similar a lo largo de la profundidad al mostrado por los sólidos totales.

3.2.5.1.2 Segunda Etapa

Por condiciones operativas pudo contar con mayor número de resultados para los lixiviados a diferentes profundidades en la 2a. etapa. Como se mencionó anteriormente en un principio se realizaron muestras con los pozos de muestreo hasta 1.6 metros de profundidad pudiendo coleccionar muestras a diferentes niveles; posteriormente se realizaron dos muestreos ya con los 7 puntos establecidos. Las concentraciones de contaminantes desde el nivel de los lixiviados hasta las dos muestras de profundidad fueron muy uniformes con excepción de los contenidos de materia orgánica medidos como DQO(*Demanda Química de Oxígeno*). Esta uniformidad en resultados fue lo que motivó el continuar las perforaciones hasta alcanzar el nivel de 3.6 metros por abajo de la superficie de cobertura. Los resultados para los 7 puntos estudiados identificándose un comportamiento similar al mostrado en los lixiviados de la 1a. etapa en donde existe una pequeña disminución en las concentraciones en la mayoría de los contaminantes entre el 1o. y 2o. punto de muestreo para después observarse una marcada tendencia de incremento a partir de la profundidad de 1.6 hasta los 3.6 metros estudiados.

Cabe destacar que las concentraciones de sólidos disueltos fijos se encontraron para las mismas fechas de muestreo, muy por abajo de las concentraciones identificadas en la 1a. etapa; lo que aparentemente da como resultado que el efecto inhibitorio a la actividad biológica se vea disminuido observándose que en la 2a. etapa si se generan grandes cantidades de biogás lo cual es evidente si se observa el burbujeo que se origina en los encharcamientos de agua que se producen en la superficie de la 2a. etapa. hubo una variación muy marcada en las concentraciones de sólidos encontradas para los dos primeros muestreos los cuales se llevaron a cabo del 7 al 10 septiembre mientras que los segundos muestreos se realizaron prácticamente un mes después mostrando una posible dilución por efecto de lluvia. Este mismo comportamiento se observa para los sólidos disueltos fijos que aparentemente siguieron disminuyendo en concentración a medida que se prolongó la época de lluvia. El incremento en sales disueltas tiene una tendencia bastante uniforme hacia encontrar las concentraciones que de estos contaminantes se observan en el agua freática como se muestra en la tabla 3.7.

Las concentraciones de materia orgánica medidas como DQO(*Demanda Química de Oxígeno*) no siguen el comportamiento observado por los otros contaminantes identificándose variaciones sin una correspondencia definida con respecto a la profundidad. Cabe destacar sin embargo las mayores concentraciones observadas en el 2o. muestreo no identificándose una razón aparente para este fenómeno.

Finalmente es conveniente destacar que para la mayoría de los datos obtenidos las concentraciones de metales pesados tienen una tendencia de decrecimiento con respecto a la profundidad a que se muestrearon los lixiviados. Esta situación corresponde con el hecho de que el origen de los metales pesados está en los lixiviados; mientras que el origen de las sales inorgánicas disueltas principalmente de elementos alcalinotérreos tienen su origen en el agua del-subsuelo.



3.2.6 Fase de interacción entre lixiviados y agua freática

Las conclusiones en este punto y para el primer reporte de avance se basan exclusivamente en el comportamiento de las concentraciones de contaminantes durante la época de lluvia. Aunque se puede concluir que si fue posible identificar el comportamiento que se predecía.

Para la segunda etapa se identifica un volumen de desechos líquidos identificados como lixiviados de 1.20 metros de espesor; a partir de este punto se observa claramente la interacción con agua freática que es responsable por el líquido acumulado en un espesor de 3.40 metros desde el fondo de la celda prácticamente todo este volumen está estratificado correspondiendo a la zona de mezcla.

No se tienen muchos datos para poder identificar la porosidad de la basura especialmente a los niveles de compactación que se tienen en los rellenos sanitarios. sin embargo existe un dato obtenido a partir de experimentación 1 para una muestra aleatoria de basura con una humedad original del 44.3 % y una compactación de 807.4 kg/m³ requirió un volumen de 52.7 litros para saturar un volumen de basura de 153.1 litros lo que corresponde a aproximadamente a un 34.4% de espacios vacíos. Considerando estos valores válidos para las características de los desechos depositados en Bordo Poniente, la precipitación pluvial penetrando totalmente a la masa de residuos sólidos podría ser responsable por un tirante de lixiviados de 1.59 metros sin tomar en cuenta evaporación y evapotranspiración. Considerando que los 3.40 metros de la zona de mezclado corresponde a un 50% de lixiviados ya un 50% de agua freática. la altura total de lixiviados podría estimarse en 2.90 metros; si se considera que la antigüedad de la segunda etapa de aproximadamente 6 años, los lixiviados generados corresponderían al 30% de la precipitación pluvial sin tomar en cuenta posibles migraciones hacia el subsuelo.

En todo caso el volumen estimado de lixiviados de la 2a. etapa que deberían ser sometidos a tratamiento equivale a 309,600 m³; o lo que es igual 9.82 l/s si se pretende que este volumen sea tratado en un año.

Para la 1a. etapa el total de lixiviados se ve afectado por la interacción con el agua freática aunque si se observa una tendencia de incremento en los sólidos disueltos fijos a partir de los 2 metros de profundidad de lixiviados lo que equivale a 2.80 metros por abajo del nivel de cobertura de la segunda capa. Dadas estas características es posible estimar que el volumen de lixiviados a tratar sería muy semejante al que se presenta para la segunda etapa. si se considera que los lixiviados se han acumulado en un total de 6 años promedio, el gasto para tratamiento originado por la generación de lixiviados sin tomar en cuenta la acumulación en años previos, sería de aproximadamente de 3.27 l/s.

3.3 Determinación del gasto de diseño.

De acuerdo con los resultados del balance hídrico teórico para las condiciones climatológicas de la zona en que se ubica el relleno sanitario de Bordo Poniente y con base en las características físicas de la cubierta final, no se deberían presentar lixiviados. sin embargo se ha observado el afloramiento de estos desechos líquidos lo que implica definitivamente que si se están generando lixiviados. Aún más, como se estableció en el inciso 3.2, se ha observado que el nivel de lixiviados en la 2a. etapa se identifica prácticamente con el nivel superior de la masa de desechos sólidos depositados. si se considera que el espesor de la masa de desechos es cercano a los 5 metros, se puede identificar el volumen importante de lixiviados que están contenidos en esta masa de desechos. Cabe destacar sin embargo que de acuerdo con los resultados mostrados en los incisos anteriores se ha podido definir totalmente la incorporación de agua freática a la masa de lixiviados incrementando su volumen.

Debido a las condiciones de malos olores y aspecto desagradable que se generan por los lixiviados que están aflorando en la 1a. etapa se considero necesario el captar estos escurrimientos y transportarlos mediante pipas hasta una laguna de almacenamiento, donde podrían permanecer hasta el momento en que pudiera ser factible su tratamiento y disposición adecuados. De acuerdo con información proporcionada por los operadores de este sistema se ha podido establecer un transporte de lixiviados de 1a. etapa de hasta 200 m³/día, o lo que equivalente a 2.3 l/s por otro lado prácticamente no se han identificado afloramientos de



lixiviados en la 2a. etapa a pesar de que su nivel es superior al nivel de lixiviados en la. etapa; implicando mayor complejidad para definir. el gasto de lixiviados que debe ser sometidos a tratamiento.

Al tratar de establecer la interfase entre lixiviados y agua freática de acuerdo con la metodología y resultados que se mostraron en el inciso anterior, se pudo establecer que al menos en los primeros 2.4 metros de profundidad de la masa de residuos sólidos, los desechos líquidos identificados representan las características propias de lixiviados, si se considera que el volumen de agua que puede ser contenido en la masa de residuos sólidos corresponde a 34.4% del volumen total, en la 2a. fase se puede establecer un volumen de lixiviados cercano a 619,200 m³ que se han almacenado durante los cerca de 4 años que ha estado expuesta a la lluvia la masa de residuos, se puede establecer que el gasto de lixiviados podría ascender a 4.9 l/s exclusivamente para la segunda etapa.

Otra consideración en que fue tomada en cuenta para poder definir el gasto de lixiviados que deberá ser sometido a tratamiento está basada en tomar un porcentaje de la precipitación media anual que se registra en la zona en estudio. De acuerdo con los datos manejados, la precipitación media anual en esta zona es de 583.5 mm, lo que equivale a un gasto de 1.39 l/s para un 10% de dicha precipitación o de 2.78% para el 20 %. si se toma en cuenta que de acuerdo con el-balance hídrico teórico presentado en el inciso 4.1, de acuerdo con las condiciones de precipitación, evaporación y características de la cubierta final no se generarán lixiviados, es posible considerar que solo un 10 % de la precipitación pluvial podrá ser infiltrada y convertida en lixiviados, bajo este esquema se tendría un gasto de 1.39 l/s por cada etapa o sea 2.78 l/s si se considera la 1a. y 2a. etapas.

De acuerdo con estos criterios se considero conveniente establecer un gasto de diseño de 3l/s para diseñar el sistema de tratamiento de lixiviados; Esto implica una operación continua de la planta de tratamiento durante las 24 horas. En caso de que el gasto de lixiviados pudiera ser inferior a este valor, será factible operar la planta menos días o reducir a dos turnos por día. Está condición es totalmente factible ya que se trata de un proceso fisicoquímico que puede ser detenido y reiniciado sin problemas operativos de importancia. Para poder absorber gastos un poco mayores que el de diseño se recomienda que la planta de tratamiento se diseñe con criterios conservadores, especialmente las unidades de sedimentación para que puedan operar con estos gastos superiores. En caso de que el volumen de lixiviados sea muy superior al considerado en esta etapa inicial será necesario el diseñar y construir una segunda etapa de tratamiento similar a la que se diseñe en esta ocasión; cabe destacar sin embargo que después de evaluar las características de los lixiviados en la 2a. etapa, se llegó a la conclusión de que tal vez sería posible el someter estos desechos a tratamiento biológico, esto implica que el diseño de una etapa subsecuente pudiera considerar un tratamiento biológico.

TABLA 3.1 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN LA PRIMERA ETAPA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE

PARAMETROS	UNIDADES	PROFUNDIDAD 0.4 m	PROFUNDIDAD 0.8 m	PROFUNDIDAD 1.2 m	PROFUNDIDAD 1.6 m	PROFUNDIDAD 2.0 m	PROFUNDIDAD 4.0 m
CONDUCTIVIDAD	μ mhos/cm						
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	1,546.00	147,464.00	147,684.00	15,230.00	16,510.00	18,332.00
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	12,508.00	11,850.00	12,090.00	12,470.00	13,414.00	14,726.00
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	2,952.00	2,614.00	2,594.00	2,760.00	3,096.00	3,606.00
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	14,086.00	13,676.00	14,058.00	14,300.00	15,500.00	17,218.00
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	11,590.00	11,376.00	11,556.00	11,592.00	12,616.00	14,006.00
CLORUROS	mg/l	4,323.28	4,323.28	4,503.42	4,323.00	4,503.00	4,503.00
DOO total	mg/l	9,848.00	7,828.00	8,585.00	1,575.00	80,880.00	9,090.00
DOO soluble	mg/l	7,575.00	6,818.00	7,323.00	6,818.00	7,828.00	72,828.00
SODIO	mg/l	2,374.00	2,306.00	264.00	2,317.00	2,382.00	2,839.00
CADMIUM	mg/l	0.03	0.40	0.04	0.04	0.05	0.05
COBRE	mg/l	0.31	0.26	0.26	0.27	0.57	0.28
FERRO	mg/l	20.00	11.00	7.00	13.00	21.00	24.00
ZINC	mg/l	1.61	1.52	1.25	1.55	2.49	2.23



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ESCUELA NACIONAL ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
INGENIERÍA CIVIL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TABLA 3.2 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN LA PRIMERA ETAPA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE

PARAMETROS	UNIDADES	PROFUNDIDAD 0.4 m	PROFUNDIDAD 0.8 m	PROFUNDIDAD 1.2 m	PROFUNDIDAD 1.6 m	PROFUNDIDAD 2.0 m	PROFUNDIDAD 3.0 m	PROFUNDIDAD 4.0 m
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm							
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	15,630.00	17,122.00	14,986.00	15,542.00	16,338.00	19,730.00	18,170.00
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	12,674.00	13,260.00	12,302.00	12,618.00	13,142.00	14,978.00	14,604.00
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	2,956.00	3,862.00	2,684.00	2,924.00	3,196.00	4,752.00	3,566.00
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	14,484.00	12,560.00	13,798.00	14,406.00	14,598.00	17,240.00	16,022.00
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	12,048.00	10,384.00	11,292.00	11,826.00	12,138.00	12,812.00	12,910.00
CLORUROS	mg/l	4,143.15	4,143.15	4,143.15	4,143.15	4,143.15	4,143.00	4,143.15
DOO total	mg/l	6,732.80	8,153.00	6,627.60	7,995.20	7,679.60	11,572.00	9,468.00
DOO soluble	mg/l	6,732.80	5,996.40	6,627.60	7,258.80	1,753.60	10,835.60	9,152.40
SODIO	mg/l	2,696.00	2,433.00	2,586.00	2,642.00	1,550.00	3,034.00	3,604.00
CADMIO	mg/l	0.05	0.09	0.40	0.04	0.03	0.05	0.05
COBRE	mg/l	0.70	2.40	0.12	0.12	0.10	0.50	0.80
FIERRO	mg/l	3,410.00	24.20	14.00	14.00	12.60	39.20	13.10
ZINC	mg/l	0.015	26.70	0.05	0.05	15.60	2.10	1.10

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 3.3 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN LA SEGUNDA ETAPA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE

PARAMETROS	UNIDADES	PROFUNDIDAD 0.6 m	PROFUNDIDAD 0.8 m	PROFUNDIDAD 1.2 m	PROFUNDIDAD 1.6 m	PROFUNDIDAD 2.0 m
CONDUCTIVIDAD	µ mhos/cm	30,600.00	31,200.00	29,700.00	31,100.00	32,000.00
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	21,728.00	16,000.00	15,188.00	14,420.00	15,788.00
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	14,576.00	12,020.00	11,192.00	10,812.00	11,152.00
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	7,152.00	3,980.00	3,996.00	3,608.00	4,636.00
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	13,168.00	12,456.00	12,816.00	12,200.00	13,112.00
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	9,320.00	9,544.00	9,748.00	9,372.00	9,976.00
CLORUROS	mg/l	1,801.36	1,801.36	1,801.36	1,801.36	1,801.36
DOO total	mg/l	14,601.60	9,734.40	14,601.60	21,902.40	7,300.80
DOO disponible	mg/l	9,734.40	7,300.80	9,734.40	9,734.40	4,867.20
SODIO	mg/l	1,900.00	1,800.00	1,600.00	1,500.00	1,700.00
CADMIUM	mg/l	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008
COBRE	mg/l	0.49	0.04	0.02	<0.0015	<0.0015
FIERRO	mg/l	33.30	12.52	17.16	17.47	18.50
ZINC	mg/l	10.60	1.70	2.02	0.17	0.11

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TABLE 3.4 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN LA SEGUNDA ETAPA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE

PARAMETROS	UNIDADES	PROFUNDIDAD 0.6 m	PROFUNDIDAD 0.8 m	PROFUNDIDAD 1.2 m	PROFUNDIDAD 1.6 m	PROFUNDIDAD 2.0 m
CONDUCTIVIDAD	µ mhos/cm	27,800.00	31,300.00	29,000.00	29,300.00	31,900.00
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	17,832.00	15,580.00	14,788.00	14,496.00	15,452.00
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	12,432.00	11,712.00	11,136.00	9,808.00	1,652.00
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	5,400.00	3,868.00	3,652.00	4,688.00	3,792.00
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	14,692.00	14,424.00	13,008.00	12,700.00	13,668.00
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	10,256.00	10,784.00	9,976.00	9,220.00	10,500.00
CLORUROS	mg/l	2,882.00	2,702.05	2,882.19	2,702.05	3,062.33
DOO total	mg/l	24,520.00	29,424.00	66,204.00	22,068.00	19,616.00
DOO soluble	mg/l	22,068.00	29,424.00	24,520.00	22,068.00	19,616.00
SODIO	mg/l	1,900.00	1,800.00	1,600.00	1,700.00	2,200.00
CADMIUM	mg/l	0.01	<0.0015	<0.0015	0.01	0.01
COBRE	mg/l	0.38	0.34	0.26	0.31	0.36
PIERRO	mg/l	51.18	37.57	27.58	32.95	23.33
ZINC	mg/l	6.18	3.65	2.64	2.44	3.65

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TABLA 3.5 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN LA PRIMERA ETAPA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE

PARAMETROS	UNIDADES	PROFUNDIDAD 0.6 m	PROFUNDIDAD 0.8 m	PROFUNDIDAD 1.2 m	PROFUNDIDAD 1.6 m	PROFUNDIDAD 2.0 m	PROFUNDIDAD 3.0 m	PROFUNDIDAD 4.0 m
CONDUCTIVIDAD	µ mhos/cm							
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	13,814.00	7,102.00	7,006.00	6,480.00	11,070.00	14,148.00	25,154.00
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	10,364.00	5,492.00	5,392.00	4,982.00	8,508.00	10,790.00	20,914.00
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	3,450.00	1,610.00	1,614.00	1,498.00	2,562.00	3,358.00	4,240.00
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	9,064.00	6,610.00	6,486.00	5,868.00	10,322.00	12,928.00	22,230.00
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	6,988.00	5,178.00	5,156.00	4,574.00	8,086.00	10,008.00	18,894.00
CLORUROS	mg/l	1,441.10	1,260.96	1,441.00	1,080.80	2,341.80	2,341.00	6,665.10
DDO total	mg/l	6,818.00	5,303.00	5,050.00	4,040.00	6,313.00	8,080.00	11,110.00
DDO soluble	mg/l	5,808.00	4,798.00	5,303.00	3,788.00	5,808.00	7,828.00	10,100.00
SODIO	mg/l	1,157.00	732.00	674.00	577.00	1,395.00	1,666.00	3,663.00
CADMIUM	mg/l	0.02	0.01	0.01	0.01	<0.0008	0.02	0.03
COBRE	mg/l	0.05	<0.0015	<0.0015	0.01	0.05	0.09	0.09
FIERRO	mg/l	60.00	12.00	9.00	13.00	12.00	23.00	45.00
ZINC	mg/l	19.00	1.31	2.76	0.44	2.84	3.45	7.07

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TABLA 3.6 CARACTERIZACION DEL LIXIVIADO A DIFERENTES PROFUNDIDADES EN LA SEGUNDA ETAPA DEL RELLENO SANITARIO BORDO PONIENTE

PARAMETROS	UNIDADES	PROFUNDIDAD 0.6 m	PROFUNDIDAD 0.8 m	PROFUNDIDAD 1.2 m	PROFUNDIDAD 1.6 m	PROFUNDIDAD 2.0 m	PROFUNDIDAD 3.0 m	PROFUNDIDAD 4.0 m
CONDUCTIVIDAD	µMhos/cm							
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	7,988.00	7,224.00	8,120.00	8,718.00	11,278.00	17,272.00	25,820.00
SOLIDOS TOTALES FIJOS	mg/l	6,234.00	5,654.00	6,270.00	6,940.00	8,832.00	13,092.00	21,132.00
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	mg/l	1,754.00	1,570.00	1,850.00	1,778.00	2,446.00	4,180.00	4,688.00
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	6,770.00	6,320.00	7,320.00	8,556.00	10,514.00	11,140.00	16,450.00
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	5,328.00	5,036.00	5,958.00	6,830.00	8,426.00	8,860.00	12,980.00
CLORUROS	mg/l	1,080.80	1,080.80	1,441.10	6,124.70	2,161.60	2,161.60	6,665.10
DOO total	mg/l	4,313.20	3,997.60	4,418.40	4,313.20	6,312.00	9,257.00	11,677.20
DOO soluble	mg/l	3,997.60	3,682.00	3,366.40	4,102.80	5,470.00	6,627.00	11,466.80
SODIO	mg/l	964.00	818.00	867.00	1,086.00	2,497.00	6,222.00	6,116.00
CADMIO	mg/l	0.02	0.02	0.03	0.06	0.04	0.09	0.07
COBRE	mg/l	0.11	0.19	0.09	0.11	0.10	0.83	0.01
FERRO	mg/l	35.50	17.10	7.20	9.40	17.00	142.20	95.70
ZINC	mg/l	43.70	4.30	13.00	<0.015	1.20	25.10	4.30

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TABLA 3.7 CARACTERIZACION DEL AGUA EN SITIOS CERCANOS A LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO DE BORDO PONIENTE

PARAMETROS	UNIDADES	FASE 1 FREATICA	FASE 2 FREATICA	FASE 1 FREATICA	FASE 1 FREATICA
CONDUCTIVIDAD	µMHO/CM				
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	25,782.00	26,538.00	34,134.00	23,962.00
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	mg/l	24,930.00	25,536.00	30,224.00	22,730.00
CLORUROS	mg/l	7,745.90	9,367.00	6,050.20	5,944.00
DQO soluble	mg/l	5,303.00	6,060.00	7,258.80	7,258.80
SODIO	mg/l	5,354.00	5,308.00	8,557.00	6,875.00
CADMIO	mg/l	0.07	0.06	0.09	0.07
COBRE	mg/l	0.07	0.03	0.37	0.09
FIERRO	mg/l	16.00	6.00	112.10	29.80
ZINC	mg/l	0.07	0.03	<0.015	<0.015

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



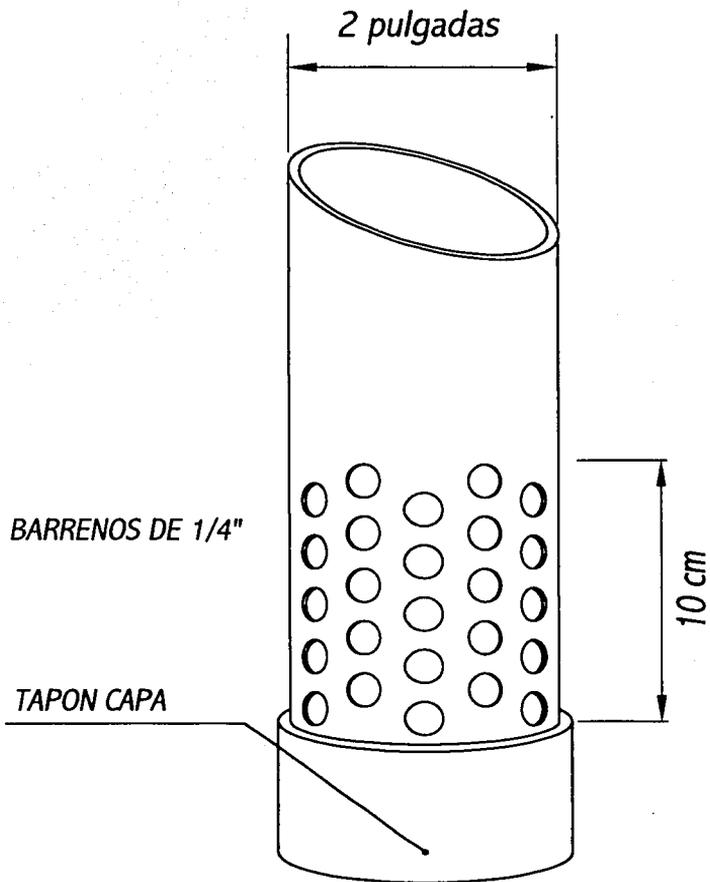


FIGURA 3.1 PARTE INFERIOR DEL TUBO EMPLEADO COMO POZO DE MUESTREO



4. GENERALIDADES DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA

4.1 Identificación del sitio

Para el establecimiento de la planta de tratamiento se identificaron varios sitios que pudieran reunir las principales condicionantes y requerimientos del proceso. En principio se buscan lugares sin obstáculos con dimensión adecuada para alojar el proceso de tratamiento; con accesibilidad adecuada durante todo el año, con cercanía a servicios como agua potable, electricidad, drenaje, etc. y alejado de desarrollos urbanos que pudieran ser afectados por aspectos tales como generación de malos olores, ruido, etc. Asimismo debe ser un sitio cercano a la zona donde se genera el desecho a tratar para minimizar los gastos de conducción y de ser posible evitar los requerimientos de bombeo.

Dentro del área donde se ubican la 1a. y 2a. etapas del relleno sanitario de Bordo Poniente existen algunos lugares con estas características. En general todos los sitios estarán alejados de las áreas urbanas ya que se ubicarán dentro de la zona federal.

Se muestran 6 puntos propuestos los cuales fueron evaluados como sigue:

1.- sitio donde actualmente se encuentran las oficinas administrativas de la. y 2a. etapas. Se consideraba adecuado por tener área suficiente, relativamente cercano a los puntos de generación de lixiviado, condiciones de suelo adecuadas ya que corresponden a rellenos compactados que soporta las estructuras de las oficinas, con servicios de energía eléctrica, agua potable y drenaje y ya que han sido clausuradas en su operación la 1a y 2a etapas no se provocarían problemas a los usuarios de estas instalaciones.

La principal desventaja fue su posición con respecto a las vialidades de gran importancia que se proyectan en esta zona ya que estaría muy cerca del periférico y de las rutas de acceso de los vehículos de transporte de residuos sólidos; además es el sitio con máxima cercanía a la zona urbana. Por estas condiciones el sitio no fue aceptado.

2.- sitio entre 1a. y 2a. etapas al margen del río Churubusco; cuenta con área suficiente y totalmente cercana a las áreas de generación de lixiviados y con la ventaja de estar muy cerca de una línea de transmisión eléctrica de donde se podría tomar la acometida; los drenajes podrían ser descargados directamente a río Churubusco, y el efluente tratado podría ser canalizado hacia el canal salado de Sosa Texcoco. El sitio tuvo que ser desechado porque rebasaba los límites que la Comisión del Lago de Texcoco había establecido para el desarrollo de las acciones de disposición de desechos sólidos.

3, 4 y 5.- Estos tres puntos localizados muy cercanos unos a otros presentan prácticamente las mismas condiciones área suficiente, entre la 1a y 2a. etapas con un mínimo de distancia a los puntos de generación de los lixiviados, condiciones de suelo semejantes, características de la zona del Lago de Texcoco con baja capacidad de carga, ya la misma distancia de los servicios de agua potable y electricidad. Los tres sitios fueron descartados en principio por encontrarse a menos de setenta metros de las obras hidráulicas de esa zona, como son el Lago de Regulación Horaria y el canal de descarga al río Churubusco; y por las condiciones de capacidad de carga del suelo que obligaba a obras de relleno compactado muy costosas o al empleo de pilotes para la cimentación.

6.- Este sitio muy cercano a los otros tres analizados en el inciso anterior se identificó sobre el actual camino de operación; aunque de dimensiones limitadas permite alojar el sistema de tratamiento en el área del camino que fue rellenada y compactada hace cerca de diez años y que por sus condiciones de compactación y asentamiento permite contar con una infraestructura adecuada para el desplante de las estructuras del tratamiento. La sugerencia de su utilización fue planteada por la dirección de operación de la Dirección General de Servicios Urbano sindicando que sería factible la reubicación del camino de acceso para operación y mantenimiento. Para poder tener las dimensiones requeridas para la planta en su conjunto es necesario la remoción de un pequeño volumen de basura correspondiente a la 1a. etapa así como el relleno a ambos lados del camino, sin embargo los ahorros por cimentación justifican estas obras adicionales.



El drenaje pluvial puede ser canalizado hacia las áreas bajas adyacentes al terreno seleccionado y el drenaje sanitario puede ser descargado en forma directa al Lago de Regulación Horaria.

Es necesario por otro lado establecer un esquema adecuado para suministro de agua potable y será necesario llevar la acometida de energía eléctrica.

Bajo todas estas condicionantes este fue el sitio seleccionado para el desarrollo de la planta de tratamiento.

4.2 Topografía

Como se mencionó en el inciso anterior, el sitio para desarrollo del sistema de tratamiento fue seleccionado sobre el actual camino adyacente a la primera etapa, principalmente por ofrecer condiciones de capacidad de carga adecuadas para asegurar la estabilidad de las estructuras que integran el proceso. Quedó por lo tanto identificado el cuerpo principal para alojamiento de los tanques de proceso e inmediatamente se procedió a la remoción de parte de los residuos sólidos al oriente del sitio, ya la colocación de relleno en la margen poniente para integrar una plataforma de dimensiones apropiadas para alojar la planta de tratamiento. El terreno ofreció entonces una conformación regular totalmente plana. Bajo este esquema se realizó el levantamiento topográfico estableciendo los vértices del predio que permitieran referir la posición de las estructuras. El sitio quedó monumentado con mojeneras en los cuatro vértices de apoyo al levantamiento y su nivelación se llevó a cabo utilizando un banco de nivel establecido por la Dirección General de Construcción y operación hidráulica del Departamento del Distrito Federal y que muestra la elevación 31.175 y que esta referido a bancos de nivel estables en el cerro del Peñón, que es una de las estructuras geológicas más estables en la zona.

4.3 Mecánica de Suelos

Aunque la zona en que se ubicó el sitio para la planta de tratamiento se ha evaluado continuamente para determinar su capacidad de carga, se le encomendó a una empresa de exploración geotécnica un estudio específico para identificar las condiciones del terreno y definir las características de la cimentación; ya que en un principio se consideró necesario el utilizar pilotes para dar estabilidad a las estructuras de tratamiento. En se muestran los resultados del estudio así como las recomendaciones para cimentación y estructuración de los tanques con mayor peso. En el plano Es-04 se muestran las condiciones propuestas para la conformación de la plataforma de suelo base, definiendo taludes del material de relleno de 3:1 para asegurar la estabilidad a futuro.

La recomendación general cimentación y desplantar fue la de no utilizar pilotes en las estructuras a partir de una losa de concreto armado de 15 cm de espesor que sirve de soporte a las estructuras y que es la base de los tanques de concreto empleados en el proceso de tratamiento. El diseño ejecutivo de este elemento y en el plano estructural Es-04 se muestran las características específicas de la losa de cimentación



5. GENERALIDADES DISEÑO EJECUTIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Una vez definido el tren de tratamiento que podrá ser utilizado para depurar los lixiviados generados en el relleno sanitario de Bordo Poniente se procedió al proyecto ejecutivo de la planta de tratamiento. Como base para la definición de las estructuras y para dimensionamiento de las unidades se realizó el levantamiento topográfico del el sitio seleccionado y se llevo a cabo el estudio de mecánica de suelos que determinó las características de cimentación y definió las condiciones estructurales.

Ante la incertidumbre prevaleciente en cuanto al caudal de lixiviados que deberán ser sometidos a tratamiento previa su descarga al ambiente, se decidió establecer como gasto base para el diseño el de 3 l/s, aunque estableciendo condiciones de desarrollo a futuro que pudieran incrementar la capacidad de proceso. Asimismo se estableció la posibilidad de construir un tanque de almacenamiento para el exceso de lixiviados que se pudiera originar en días específicos en la temporada de lluvia, lo que permitirá su procesamiento en los días en que no se presente precipitación pluvial.

7.1 Diseño Conceptual

De acuerdo con las condiciones establecidas, se estableció que la planta de tratamiento cumpliría con las siguientes premisas:

Se construirá una planta de tratamiento completa para el procesamiento de un caudal de 3 l/s estableciéndose dos módulos de 1.5 l/s cada uno en gasto medio. Esta condición permitirá la operación simultánea o alternativa de los dos módulos establecidos previendo posibles interrupciones especialmente por mantenimiento.

-Todas las unidades de tratamiento y los equipos a emplear deberán considerarse con capacidad operativa factible superior al gasto medio de diseño: lo que permitirá el incremento del volumen tratado en condiciones extremas.

-El tren de tratamiento consiste de los siguientes pasos:

- 1) Recepción de los lixiviados en un cárcamo de bombeo del cual podrán ser alimentados hacia los trenes de tratamiento. Las características de los lixiviados crudos son altamente agresivas, por lo que es conveniente que este reactor quede protegido adecuadamente para evitar su rápido deterioro. Se recomienda el empleo de estructura de concreto armado protegido con acero inoxidable. Esto quiere decir que se construirá un tanque en lámina de acero inoxidable tipo 306 de calibre 16, el cual será soportado en la estructura de concreto sirviendo como parte de la cimbra.
- 2) Acidificación utilizando ácido sulfúrico hasta alcanzar un valor de pH entre 1 y 1.5. A este reactor llegan los lixiviados crudos a los cuales se les adiciona ácido sulfúrico concentrado, lo que implica una protección igual a la propuesta para el cárcamo de lixiviados con acero inoxidable tipo 306 y calibre 16.
- 3) Neutralización mediante la adición de sosa cáustica para alcanzar un pH cercano a 6.5. El lixiviado a un pH de 1.5 es mezclado con sosa cáustica a una concentración cercana al 30 %, lo que implica que este reactor deberá asimismo ser protegido con acero inoxidable con las mismas especificaciones que se describen para el cárcamo inicial.
- 4) Adición de reactivos coagulantes sulfato de aluminio y cloruro férrico. A partir de este reactor, el lixiviado ha sido acondicionado a un pH neutro disminuyendo su potencial agresivo, por lo que este reactor y los subsiguientes se construirán en concreto estructural con aditivos de protección y con una capa interna de recubrimiento epóxico.



- 5) Mezcla rápida para homogenizar la mezcla con coagulantes.
- 6) Agitación lenta para permitir la floculación de las sustancias precipitadas mediante acidificación.
- 7) Sedimentación de los flocúlos generados. En esta etapa se produce un sobrenadante clarificado que continuará en el tren de tratamiento; así como lodos fisicoquímicos de alta densidad que deberán ser procesados adecuadamente.
- 8) Adición de peróxido de hidrógeno para la oxidación de la materia orgánica que no fue precipitada en las etapas iniciales del proceso.
- 9) Neutralización mediante la adición de sosa cáustica para elevar el pH hasta valores entre 7 y 7.5 que permitirán la precipitación de metales y otros elementos.
- 10) Clarificación utilizando el proceso de sedimentación para remover los precipitados. En este caso se generan asimismo el sobrenadante para continuar el proceso de depuración y lodos de alta densidad para ser procesados por separado.
- 11) Filtración en arena. El efluente clarificado podrá ser sometido a filtración a presión para disminuir a un alto nivel de eficiencia los sólidos suspendidos. El efluente de este reactor es el lixiviado ya depurado que podrá ser dispuesto al ambiente mediante su conducción hasta el punto de disposición final. Se considerará por lo tanto alguna estructura que permita su almacenamiento en caso de que sea necesario la utilización de bombeo. En este caso se considera el empleo de una unidad de filtración a presión comercial de tipo industrial que se ajuste a las condiciones de diseño. Será necesario la instalación de tres unidades de filtración para los dos trenes de tratamiento para que no se detenga el proceso en los períodos de retrolavado.

Los lodos producidos en las etapas de sedimentación y clarificación deberán ser deshidratados y transportados hasta el punto de disposición final. Por las características de estos lodos se recomienda su depósito en sitios de confinamiento controlado como es el caso de los confinamientos para residuos hospitalarios que se establecerán en la 4a. etapa del relleno sanitario de Bordo Poniente. Se propone por lo tanto el empleo de estos lodos como material de cobertura dado que por su contenido de humedad y sus características de cohesión podrán ser empleados en esta forma. El procesamiento de los lodos requerirá de los siguientes pasos:

- 1) Almacenamiento en un depósito que podrá servir a1 mismo tiempo como cárcamo de bombeo.
- 2) Adición de polímetro. Aunque se han hecho unas pruebas preliminares las condiciones de acondicionamiento de lodos de desecho previa a su deshidratación deberán evaluarse con los lodos de la planta de tratamiento real; sin embargo se anticipa la utilización de polímeros para mejorar las condiciones de drenado. De acuerdo con 103 volúmenes de lodos producidos y las concentraciones a que son utilizados los polímeros se anticipa un volumen de reactivo que podrá ser manejado en tambos de 200 litros con bombas dosificadoras de desplazamiento positivo, ya sea con pistón o con diafragma.
- 3) centrifugación. Los lodos acondicionados serán bombeados hasta una altura superior a los 3.5 metros sobre el nivel del piso donde serán procesados mediante centrifugación. El lodo deshidratado se depositará en forma directa en una tolva de carga y el líquido extraído será retomado a la etapa de oxidación del proceso de tratamiento de lixiviados. El equipo a emplear será comercial del tipo horizontal.
- 4) Carga y transporte de lodos deshidratados. Los lodos deshidratados almacenados en la tolva de carga serán descargados ya sea directamente a camiones de volteo o a contenedores que puedan ser transportados hasta el punto de disposición. Se recomienda esta última posibilidad ya que evita el mantener



un vehículo permanentemente en la planta de tratamiento; sin embargo se debe considerar su facilidad de descarga en el sitio de disposición.

Las aguas de retrolavado de los filtros a presión serán conducidas hasta la etapa de coagulación del tren de tratamiento de los lixiviados.

Los reactivos requeridos en el tren de tratamiento deberán manejarse en forma adecuada contemplando condiciones de emergencias, especialmente para aquellos que pueden provocar daños directos y severos a los empleados encargados de su manejo. Se recomienda por lo tanto las siguientes recomendaciones:

1) El ácido sulfúrico será almacenado en tanques de polietileno de alta densidad fabricados en forma comercial con capacidad de 10 m³. Debido a la densidad de este reactivo superior a 1.8 Kg/l, será necesario el refuerzo de estos tanques mediante una estructura recomendada por fabricante. Se contempla la integración de tanques de ácido para cada uno de los módulos del tren de tratamiento; aunque será posible la alimentación indistinta a partir de los sistemas de bombeo.

Se considera muy importante el que los tanques de ácido sulfúrico sean colocados dentro de una trinchera que permita el almacenamiento del reactivo en caso de fuga accidental ya sea en la interconexión o por ruptura o fracturamiento de los tanques.

El reactivo será entregado a granel mediante pipas que de acuerdo con el fabricante descargará por bombeo a los recipientes correspondientes. Se requiere sin embargo la disponibilidad de agua a presión en un sitio cercano al punto de descarga para manejo en accidentes.

2) La sosa cáustica se manejará en escamas procediendo a la preparación de las soluciones en reactores de mezcla en el área de manejo de este reactivo. Se ha contemplado el transporte de este reactivo en sacos de 25 Kg y en remesas de 5 a 10 toneladas las cuales serán almacenadas en una plataforma totalmente cubierta. Dicha plataforma será establecida a 1.50 metros sobre el nivel de piso de circulación de los vehículos para facilitar el manejo del reactivo. Las soluciones se prepararán en tanques mezcladores de acero inoxidable y utilizando agitadores del mismo material.

Tanto la sosa cáustica como el ácido sulfúrico serán manejados en un área específica que se considerará peligrosa previniendo descargas accidentales.

3) Las soluciones de sulfato de aluminio y cloruro férrico serán descargadas directamente de los carros pipa para almacenarse en tanques de polietileno de alta densidad. Se consideran tres tanques de almacenamiento para el sulfato de aluminio y dos tanques para el cloruro férrico con sistemas de bombeo independientes para cada reactivo pero que podrán ser utilizados indistintamente para los dos módulos de tratamiento.

4) El peróxido de hidrógeno será igualmente almacenado en recipientes de polietileno de alta densidad aunque en este caso será necesario que se fabriquen en forma especial para resistir el ataque del reactivo. De acuerdo con el fabricante está en una actividad rutinaria que se tiene totalmente contemplada y que no representará problema mayor. Aunque se conocen los efectos oxidantes de este reactivo sus derrames accidentales se manejarán conduciéndolos directamente al drenaje pluvial y su descarga al sistema de drenes de la zona.

5) Como se mencionó anteriormente el polímero para acondicionamiento para lodos de desecho será manejado utilizando tambos de 200 litros de los empleados por los fabricantes para su almacenamiento y transportación .



5.2 Diseño Dimensional e Hidráulico

5.2.1 Tanque de Acidificación. TR-OI

La acidificación de lixiviado se realizará en un tanque cilíndrico con agitación mecánica. Debido a la alta formación de espuma durante el proceso de acidificación se propone un tiempo de residencia de 1 hora, con la finalidad de disminuir en lo posible la formación de espuma.

Para el cálculo del volumen del tanque se considera el tiempo de retención hidráulica (TRH) de 1 hr. y el gasto Q_i de diseño será de 1.5 L/S. Asimismo, con la finalidad de tener un flujo en cascada se propone una altura efectiva del tanque de 1.8 m.

$$\text{volumen requerido} = (Q_i) \cdot (TRH) = (1.5 \text{ [l/s]}) \cdot (1 \text{ [hr.]}) \cdot (3600 \text{ [s/hr]}) \cdot (1 \text{ [m]}/1000 \text{ [l]}) = 5.4 \text{ m}^3$$

Con la altura establecida y el volumen calculado, el área requerida será:

$$A = V / h = (5.4 \text{ [m}^3\text{]}) / (1.8 \text{ [m]}) = 3 \text{ m}^2$$

Con la finalidad de favorecer la agitación se recomienda que el tanque sea circular, el diámetro requerido para el área necesaria es:

$$D = (A \cdot 4 / \pi)^{1/2} = (3 \cdot 4 / \pi)^{1/2} = 1.95 \text{ m}$$

Con objeto de amortiguar un poco el efecto de la formación de espuma se propone un bordo libre en el tanque de 0.45 m, con esta consideración, las dimensiones del tanque serán las siguientes:

-Diámetro	= 1.95 m
-Altura Efectiva	= 1.80 m
-Bordo Libre	= 0.45 m
-Altura Total	= 2.25 m

5.2.1.1 Dosificación de Ácido Sulfúrico Concentrado.

Durante el periodo de experimentación se encontró que con 9 ml de ácido sulfúrico concentrado por litro de lixiviado se obtuvo una acidificación a un valor de pH de una unidad.

La dosificación de ácido para operación continua será de:

$$\text{Volumen requerido} = Q_i \cdot \text{Dosificación} = (1.5 \text{ [l/s]}) \cdot (0.009 \text{ [l/l]}) = 0.0135 \text{ [H}_2\text{SO}_4 \text{ / S]}$$

La dosificación a diferentes tiempos será la siguiente:

Q (H ₂ SO ₄)	= 0.0135 l/S
Q (H ₂ SO ₄)	= 0.81 l/min
Q (H ₂ SO ₄)	= 48.6 l/hr
Q (H ₂ SO ₄)	= 1.1664 m ³ /día



5.2.1.2 Almacenamiento de Ácido Sulfúrico Concentrado. TA-01-04

Para efectos de operación y para prevenir cualquier retraso en el suministro de ácido por parte del fabricante, se propone un volumen de almacenamiento para un mes de operación.

$$Q_{mes} = (1.1664 \text{ [m}^3/\text{dia]}) * (30 \text{ [días]}) = 34.992 \text{ m}^3$$

Debido al alto costo de recipientes de acero inoxidable para el almacenamiento del ácido, se recomienda emplear tinacos de polietileno, debido a que comercialmente se fabrican en volumen máximo de 10 m³, sería necesario contar con cuatro de estos recipientes para almacenar el consumo de un mes de operación.

Los requerimientos en masa para un mes de operación, considerando una temperatura de 20°C la densidad del ácido es de 1.84 kg/l, la cantidad en masa es de:

$$(Kg \text{ H}_2\text{SO}_4/\text{mes}) = V * \rho = (34,992 \text{ [l]}) * (1.84 \text{ [kg/l]}) = 64,385 \text{ Kg.}$$

5.2.2 Tanque de Neutralización. TR-O2

La neutralización del lixiviado se realizará en un tanque cilíndrico con agitación mecánica. Debido a lo poco problemático de esta operación se propone un tiempo de residencia de 25 min., con la finalidad de alcanzar un buen mezclado.

Para el cálculo del volumen del tanque se considera el tiempo de retención hidráulica (TRH) de 0.25 hr y el gasto Q_i de diseño será de 1.5 LPS. Asimismo, con la finalidad de tener un flujo en cascada se propone una altura efectiva del tanque de 1.3 m.

$$\text{Volumen requerido} = Q_i * \text{TRH} = (1.5 \text{ [l/s]}) * (0.25 \text{ [hr.]}) * (3600 \text{ [s/hr]}) * (\text{[m}^3 \text{]} / 1000 \text{ [l]}) = 1.35 \text{ m}^3$$

Con la altura establecida y el volumen calculado, el área requerida será:

$$A = V/h = (1.35 \text{ [m}^3 \text{]}) / (1.3 \text{ [m]}) = 1.038 \text{ m}^2$$

Con la finalidad de favorecer la agitación se recomienda que el tanque sea circular, el diámetro requerido para el área necesaria es:

$$A = \pi D^2/4 \quad , \quad D = (A*4/\pi)^{1/2} = (1.03*4/\pi)^{1/2} = 1.15 \text{ m}$$

Se propone un bordo libre en el tanque de 0.33 m, con esta consideración, las dimensiones del tanque serán las siguientes:

-Diámetro	= 1.15 m
-Altura Efectiva	= 1.30 m
-Bordo Libre	= 0.33 m
-Altura Total	= 1.63 m

5.2.2.1 Dosificación de Hidróxido de sodio al 30%

Durante el período de experimentación se encontró que con 9.6 ml de hidróxido de sodio al 30% por litro de lixiviado se obtuvo una neutralización a un valor de pH de 6.5 unidades.

La dosificación de sosa para operación continua será de:

$$Q_{\text{NaOH}} = Q_i * \text{Dosificación} = (1.5 \text{ [l/s]}) * (0.0096 \text{ [l/l]}) = 0.0144 \text{ [l}_{\text{NaOH}} \text{ / s]}$$



La dosificación a diferentes tiempos será la siguiente:

$$Q_{\text{NaOH}} = 0.0144 \text{ Vs}$$

$$Q_{\text{NaOH}} = 0.864 \text{ l/min}$$

$$Q_{\text{NaOH}} = 51.84 \text{ l/hr}$$

$$Q_{\text{NaOH}} = 1.244 \text{ m}^3/\text{día}$$

5.2.2.2 Almacenamiento de Hidróxido de Sodio en Escamas

Para efectos de operación y para seguridad en manejo de la sosa, así como para evitar grandes volúmenes de almacenamiento se propone almacenar este reactivo en forma sólida y preparar la solución cada 24 horas. Se propone almacenar sosa para un mes de operación.

Debido a que la solución se manejará al 30%, la cantidad requerida por mes de operación será la siguiente:

$$\text{Kg NaOH} / \text{mes} = (1.244 [\text{l/día}]) * (30 [\text{días/mes}]) = (37.320 [\text{l/mes}]) * (0.3 [\text{kg}_{\text{NaOH}}/\text{l}]) = 11.196 [\text{kg/mes}]$$

Diariamente se deberán preparar 1.3 m³ de solución de hidróxido de sodio al 30%, la cantidad de sosa a disolver es la siguiente:

$$\text{Kg NaOH} / \text{día} = (1.300 [\text{l}]) * (1 [\text{kg/l}]) * 0.3 = 390 \text{ Kg} / \text{día}$$

5.2.2.3 Tanque de preparación de NaOH al 30%. TP-OI

La preparación del hidróxido de sodio al 30% se realizará en un tanque cilíndrico con agitación mecánica. Debido a que este recipiente también actuará como tanque de día se recomienda contar con dos unidades, ya que mientras una se está descargando, en la otra se puede iniciar la preparación de la solución. Se propone una altura efectiva de 1.3 m y un bordo libre 0.5 m, esto último con la finalidad de evitar derrames por efectos de la agitación.

Para el volumen del tanque se considera el valor de 1.3 m³ obtenido en el punto anterior, el área requerida se obtiene con base en el volumen y la altura establecida:

$$A = V/h = (1.3 [\text{m}^3]) / (1.3 [\text{m}]) = 1.0 \text{ m}^2$$

Con la finalidad de favorecer la agitación se recomienda que el tanque sea circular, el diámetro requerido para el área necesaria es:

$$A = \pi D^2/4, \quad D = (A * 4/\pi)^{1/2} = (1.0 * 4/\pi)^{1/2} = 1.13 \text{ m}$$

Las dimensiones del tanque serán las siguientes:

- Diámetro = 1.13 m
- Altura Efectiva = 1.30 m
- Bordo Libre = 0.50 m
- Altura Total = 1.80 m



5.2.3 Tanque de Mezcla Rápida. TR-03

En este tanque se llevará a cabo la adición de reactivos para coagulación, se permitirá un tiempo de agitación de 5 minutos, para efectos de agitación se propone que el tanque sea cilíndrico y que la altura sea igual al diámetro. Con estas consideraciones el volumen del tanque será:

$$\text{Volumen requerido} = Q_i \cdot \text{TRH} = (1.5 \text{ [l/s]}) \cdot (5 \text{ [min.]}) \cdot (60 \text{ [s/1min.]}) \cdot (1 \text{ [m}^3\text{/1000[l]}) = 0.45 \text{ m}^3$$

Con la condición de altura igual a diámetro, ya partir del volumen se obtienen los siguientes valores:

$$V = A \cdot h = (\pi D^2/4 \cdot D) = \pi D^3/4$$

$$D = (4 \cdot V/\pi)^{1/3} = (4 \cdot 0.45/\pi)^{1/3} = 1.83 \text{ m}$$

Se propone un bordo libre de 0.20 m, con esta condición, las dimensiones del tanque serán las siguientes:

-Diámetro	= 0.83 m
-Altura Efectiva	= 0.83 m
-Bordo Libre	= 0.20 m
-Altura Total	= 1.03 m

5.2.3.1 Dosificación de Sulfato de Aluminio al 30%.

Se encontró que la dosificación de sulfato de aluminio que presentó mejores resultados fue la de 3.3 ml de solución al 30% por cada litro de lixiviado. La cantidad de reactivo a dosificar es la siguiente:

$$Q_{AL_2(SO_4)_3} = (1.5 \text{ [l/s]}) \cdot (0.0033 \text{ [l/l]}) = 0.00495 \text{ [l}_{AL_2(SO_4)_3} \text{] / [l] lixiviado}$$

la dosificación a diferentes tiempos es la siguiente:

$Q_{AL_2(SO_4)_3}$	= 0.00495 l/s
$Q_{AL_2(SO_4)_3}$	= 0.297 l/m ³
$Q_{AL_2(SO_4)_3}$	= 17.82 l/hr
$Q_{AL_2(SO_4)_3}$	= 427.68 l/día
$Q_{AL_2(SO_4)_3}$	= 12.830 m ³ /mes

5.2.3.2 Almacenamiento de Sulfato de Aluminio al 30%. TA-02

Debido a que la máxima concentración en que se puede encontrar comercialmente este reactivo es al 30%, se propone un tanque de almacenamiento para un mes de operación. De acuerdo con el cálculo del punto anterior el volumen necesario será de 12.83 m³.

Se propone el empleo de recipientes convencionales de polipropileno con las características adecuadas para el almacenamiento de este reactivo. Se recomienda el empleo de 2 recipientes uno de 10 y el otro de 5 m³. Ya que se propone la construcción de dos módulos de tratamiento de lixiviados de la misma capacidad. Resultaría conveniente adquirir 3 tanques de 10 m³ de capacidad cada uno.

El consumo mensual de reactivo seco será de:

$$K_{Q_{AL_2(SO_4)_3}} = (12.83 \text{ [m}^3\text{/mes]}) \cdot (1 \text{ [ton/m}^3\text{]}) \cdot 0.3 = 3.85 \text{ ton/mes}$$



5.2.3.3 Dosificación de Cloruro Férrico al 50%.

Se encontró que la dosificación de cloruro férrico que presentó mejores resultados fue la de 4 ml de solución al 50% por cada de lixiviado. La cantidad de reactivo a dosificar es la sigue la dosificación a diferentes tiempos es la siguiente:

La dosificación a diferentes tiempos es la siguiente:

$$\begin{aligned} Q_{FeCl_3} &= 0.006 \text{ l/s} \\ Q_{FeCl_3} &= 0.36 \text{ l/m}^3 \\ Q_{FeCl_3} &= 21.6 \text{ l/hr} \\ Q_{FeCl_3} &= 518.4 \text{ l/día} \\ Q_{FeCl_3} &= 15.552 \text{ m}^3/\text{mes} \end{aligned}$$

5.2.3.4 Almacenamiento de Cloruro Férrico al 50%. TA-03

Debido a que al incrementar la concentración del reactivo se reduce el volumen de la solución, se propone adquirir cloruro férrico al 50% para un mes de operación. De acuerdo con el cálculo del punto anterior el volumen necesario será de 15.552 m³.

Se propone el empleo de recipientes convencionales de polipropileno con las características adecuadas para el almacenamiento de este reactivo. Se recomienda el empleo de 2 recipientes uno de 10 y el otro de 5 m³. Se recomienda la adquisición de tres tanques de 10 m³, para los dos módulos de tratamiento.

El consumo mensual de reactivo seco será de:

$$Q_{FeCl_3} = (15.552 \text{ [m}^3/\text{mes]}) * (1 \text{ [ton/m}^3\text{]}) * 0.5 = 7.776 \text{ ton/mes}$$

5.2.4 Tanque de coagulación. TR-04

En esta etapa se llevará a cabo la formación de floculos, propiciada por la adición de reactivos en la fase anterior. En este caso se permitirá un tiempo de retención de 30 minutos, la agitación mecánica será lenta, (aproximadamente 10 RPM), por tal motivo se propone un tanque cilíndrico para efecto de favorecer la floculación. Se considera aceptable una profundidad del tanque de 1.5 m, el caudal de diseño es de 1.5 l/s por lo tanto el volumen requerido es de:

$$Volumen\ requerido = Ql * TRH = (1.5 \text{ [l/s]}) * (3600 \text{ [s/hr]}) * ((\text{m}^3 / 1000)) = 2.7\text{m}^3$$

Con la altura establecida y el volumen calculado, el área requerida será:

$$A = V/h = (2.7 \text{ [m}^3\text{]}) / (1.5 \text{ [m]}) = 1.8 \text{ m}^2$$

Con la finalidad de favorecer la agitación se recomienda que el tanque sea circular, el diámetro requerido para el área calculada es:

$$A = \pi D^2/4, D = (A*4/\pi)^{1/2} = (1.8*4/\pi)^{1/2} = 1.51\text{m}$$

Se propone un bordo libre en el tanque de 0.375 m, con esta consideración, las dimensiones del tanque serán las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{-Diámetro} &= 1.51 \text{ m} \\ \text{-Altura Efectiva} &= 1.50 \text{ m} \\ \text{-Bordo Libre} &= 0.375 \text{ m} \\ \text{-Altura Total} &= 1.875 \text{ m} \end{aligned}$$



5.2.5 Sedimentador de alta tasa. TS-01

Para llevar a cabo la sedimentación de las partículas floculadas en el proceso anterior se propone el empleo de un sedimentador de alta tasa, para tal efecto se recomienda que "sea cuadrado, ya que con un diseño especial de tolvos se evitará el empleo de rastras, con una carga superficial de 20 m³/m² día el tiempo de retención hidráulica de 2.5 horas. Con la finalidad de evitar el empleo de rastras se propone que el tanque cuente con cuatro tolvos, una en cada cuadrante de la base, con una inclinación de 60° con respecto a la horizontal con la finalidad de promover la auto limpieza.

Con la información anterior se procede a calcular el volumen necesario, empleando para ello el tiempo de retención hidráulica:

$$V = Q_i \cdot TRH = (1.5 [Vs]) \cdot (2.5 [hr.]) \cdot (3.6 [m^3/hr]) = 13.5 m^3$$

Con el caudal y carga superficial se obtiene el área requerida:

$$A = Q_i / CS = \frac{129.6 [m^3/día]}{20 [m^3/m^2/día]} = 6.48 m^2$$

Con base en el área calculada, de la altura de la pared húmeda será de:

$$h = V/A = (13.5 [m^3]) / (6.48[m^2]) = 2.08m$$

Debido a que se consideró construir el sedimentador en forma cuadrada, los valores de cada lado son de:

$$\text{Área} = L^2, \quad L = \sqrt{A} = (6.48m^2)^{1/2} = 2.55m$$

Las dimensiones en que se construirá el tanque de sedimentación, considerando un bordo libre de 0.52 m, son las siguientes:

Lados	= 2.55 m
Altura	= 2.08 m
Efectiva	= 0.52 m
Bordo Libre	= 2.60 m

5.2.6. TANQUE DE OXIDACIÓN CON PEROXIDO DE HIDRÓGENO AL 50%. TR-05

La oxidación se llevará a cabo en un tanque rectangular provisto de mamparas alternadas para promover la reacción en un reactor tipo pistón. Se permitirá un tiempo de contacto da 40 minutos, asimismo se propone una altura efectiva de 1 m, con estas condiciones el volumen requerido es:

$$\text{Volumen requerido} = Q_i \cdot TRH = (1.5 [l/s]) \cdot (40/60) \cdot (3.6 [m^3/s]) = 3.6m^3$$

Con base en la altura propuesta el área resultante es de:

$$A = V/h = (3.6 [m^3]) / (1 [m]) = 3.6m^2$$



Debido a que se propone un tanque rectangular, se recomienda que la relación largo ancho sea de 5:1, la longitud de cada lado será de:

$$\text{Área} = L \cdot 1.5L = 1.5L^2, \quad L = (A/1.5)^{1/2} = (3.6\text{m}^2/1.5)^{1/2} = 1.55\text{m}$$

Considerando un bordo Libre de 0.25 m, las dimensiones del tanque serán las siguientes:

-Largo	= 3.10 m
-Ancho	= 1.55 m
-Altura Efectiva	= 1.00m
-Bordo libre	= 0.25 m
-Altura Total	= 1.25m

5.2.7 Sedimentador de alta tasa. TB-O2

Para llevar a cabo la sedimentación de los hidróxidos de hierro formados en el proceso anterior, se propone el empleo de un sedimentador de alta tasa, para tal efecto se recomienda que sea cuadrado, con una carga superficial de 20 m³/m² día, el tiempo de retención hidráulica de 2.5 horas. Con la finalidad de evitar el empleo de rastras se propone que el tanque cuente con cuatro tolvas, una en cada cuadrante de la base, con una inclinación de 60° con respecto a la horizontal con la finalidad de promover la auto limpieza.

Con la información anterior se procede a calcular el volumen necesario, empleando para ello el tiempo de retención hidráulica:

$$\text{Volumen requerido} = Q_i \cdot TRH = (1.5 \text{ [l/s]}) \cdot (2.5) \cdot (3.6 \text{ [m}^3\text{/s} \cdot \text{hr]}) = 13.5\text{m}^3$$

Con el caudal y carga superficial se obtiene el área requerida:

$$A = Q_i / CS = \frac{129.6 \text{ [m}^3\text{/día]}}{20 \text{ [m}^3 \text{/ m}^2\text{/día]}} = 6.48 \text{ m}^2$$

Con base en el área calculada, la altura de la pared húmeda será de:

$$h = V/A = (13.5 \text{ [m}^3\text{]}) / (6.48 \text{ [m}^2\text{]}) = 2.08\text{m}$$

Debido a que se consideró construir el sedimentador en forma cuadrada los valores de cada lado son de :

$$\text{Área} = L^2, \quad L = \sqrt{A} = (6.48\text{m}^2)^{1/2} = 2.55\text{m}$$

Las dimensiones en que se construirá el tanque de sedimentación, considerando un bordo libre de 0.52 m, son las siguientes:

-Lados	= 2.55 m
-Altura Efectiva	= 2.08 m
-Bordo Libre	= 0.52 m
-Altura Total	= 2.60 m

5.2.8 Filtración a Presión en Lecho de Arena. FP-OI

La finalidad de la filtración a presión es evitar la construcción de filtros de altos para obtener gradientes hidráulicos para dar paso a la filtración, en la filtración a presión, la carga hidráulica se proporcionada por un equipo de bombeo que presuriza el agua dentro de un filtro cerrado.



Para el cálculo del área, necesaria para llevar a cabo la filtración rápida se propone una carga superficial de $100 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$, con esta consideración y el caudal de alimentación de 1.5 l/s , la superficie requerida es:

$$A = Q/CS = (1.5 \text{ [l/s]}) * (86.4 \text{ [m}^3\text{/l día]}) / (100 \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{día]}) = 1.3 \text{ m}^2$$

Se considera apropiada una altura total del filtro de 1.5 m .

5.2.8.1 Cárcamo de Bombeo a Filtros. TB-OI

Con objeto de contar con un almacenamiento de agua para bombear al sistema de filtración, es recomendable contar, con un cárcamo de bombeo, para tal efecto se considera que 1 m^3 de almacenamiento es suficiente.

Las dimensiones del cárcamo son las siguientes:

-Largo	=1.0m
-Ancho	=1.0m
-Altura efectiva	=1.0m
-Bordo Libre	=0.2m
-Altura Total	=1.0m

5.2.8.2 Tanque de Almacenamiento de Agua Tratada. TAT-OI

Con objeto de contar con un almacenamiento de agua tratada para emplearla en el retrolavado del sistema de filtración, es recomendable contar con un tanque de almacenamiento, para tal efecto se considera que 1.6 m^3 de almacenamiento es suficiente.

Las dimensiones del cárcamo son las siguientes:

-Largo	=2.0m
-Ancho	=1.0m
-Altura efectiva	=0.8m
-Bordo Libre	=0.2m
-Altura Total	=1.0m

5.2.9 Manejo de Lodos

Los lodos generados en las etapas de sedimentación tanto en la coagulación como en la precipitación de fierro, serán conducidos hacia un cárcamo en el cual se almacenarán hasta alcanzar la máxima capacidad del tanque.

Los lodos serán deshidratados en una decantadora centrífuga, el transporte hacia ella será con una bomba, el trayecto se adicionará un polímero con la finalidad de generar un mayor aglomeramiento entre las partículas y obtener un lodo con un contenido mínimo de humedad.

5.2.9.1 Drenado de lodos

De acuerdo con las observaciones realizadas durante la fase experimental y los valores obtenidos en ella, se considera que los lodos generados en el proceso de tratamiento tendrán un valor cercano al 10% del caudal total tratado.



Con la consideración anterior y estableciendo que los drenados se realizaran cada cuatro horas y que el período de purga no excederá los 10 minutos, el caudal de purga por día y por drenado para cada sedimentador es el siguiente:

Sedimentador de coagulación, se considera que este proceso contribuirá con el 70% del total de lodos generados, el caudal descargado será:

$$CAUDAL_{dia} = (1.5 \text{ [lps]}) * (0.1) * (0.7) * (86.4) = 9.072 \text{ [m}^3/\text{ día]}$$

La purga cada 4 horas será de:

$$PURGA_{4HR} = (9.078 \text{ [m}^3/\text{ día]}) * (0.167 \text{ [días]}) = 1.52 \text{ [m}^3 \text{]}$$

Considerando que el tiempo de purga será de 10 minutos, el caudal será de:

$$Q_p = (1520 \text{ [l]}) / (600 \text{ [s]}) = 2.53 \text{ [l/s]}$$

Para enviar la sedimentación de sólidos dentro de la línea de conducción, se propone que el fluido se maneje a una velocidad mínima de 0.6 m/s, con esta consideración y el caudal de purga el área necesaria para la conducción será de:

$$A = Q_p/V = (0.00253 \text{ [m}^3/\text{ s]}) / (0.60 \text{ [m]}) = 0.004217 \text{ [m}^2\text{]} = 42.17 \text{ cm}^2$$

El diámetro necesario es:

$$D = (A * 4/\pi)^{1/2} = (4.17 \text{ [cm}^2\text{]} * 4/\pi)^{1/2} = 7.32 \text{ cm}$$

Este valor equivale a una tubería de 3" de diámetro, debido a que se propone que la purga de cada sedimentador se realice a diferentes tiempos, la línea de purga del sedimentador de coagulación y la conducción principal hacia el cárcamo de lodos será de 3 pulgadas.

$$CAUDAL_{dia} = (1.5 \text{ [lps]}) * (0.1) * (0.3) * (86.4) = 3.888 \text{ m}^3/\text{ día}$$

La purga cada 4 horas será de:

$$PURGA_{4HR} = (3.888 \text{ [m}^3/\text{ día]}) * (0.167 \text{ [días]}) = 0.65 \text{ m}^3$$

Considerando que el tiempo de purga será de 10 minutos, el caudal será de:

$$Q_p = (650 \text{ [l]}) / (600 \text{ [s]}) = 1.08 \text{ l/s}$$

Para enviar la sedimentación de sólidos dentro de la línea de conducción, se propone que el fluido se maneje a una velocidad mínima de 0.6 m/s, con esta consideración y el caudal de purga el área necesaria para la conducción será de:

$$A = Q_p/V = (0.00108 \text{ [m}^3/\text{ s]}) / (0.60 \text{ [m]}) = 0.00065 \text{ [m}^2\text{]} = 6.5 \text{ cm}^2$$

El diámetro necesario es:

$$D = (4 * A/\pi)^{1/2} = (6.5 \text{ [cm}^2\text{]} * 4/\pi)^{1/2} = 2.8 \text{ cm}$$

Este valor equivale a una tubería de 1.5" de diámetro, debido a que se propone que la purga de cada sedimentador se realice a diferentes tiempos, la línea de purga del sedimentador de precipitación de fierro será de 1 1/2" y se interceptará con la línea de conducción principal hacia el cárcamo de lodos que es de 3 pulgadas.



5.2.9.2 Cárcamo de Lodos

El cárcamo de lodos empleara para almacenar y aviar a tratamiento los lodos generados en los diferentes procesos del sistema de depuración de lixiviados.

para efectos de diseño se considera que el cárcamo tendrá capacidad suficiente para almacenar el total de 2.5 periodos de drenado, suponiendo purgas del 10% del caudal total tratado y que estas se llevaran a cabo en seis etapas durante el día.

Con las consideraciones anteriores el volumen requerido es de 5.4 m³. Con este volumen y suponiendo una estructura cuadrada y fijando la altura en 1.35 m, las dimensiones serán de:

$$A = V/h = (5.4 [m^3]) / (1.35 [m]) = 4 m^2$$

Debido a que se propone cuadrado, el largo será igual al ancho por lo tanto:

$$A = L * W, \quad W = L, \quad A = L^2, \quad L = \sqrt{A} = \sqrt{(2 [m^2])} = 2 m$$

Las dimensiones de este tanque serán de:

Largo	= 2.00 m
Ancho	= 2.00 m
Altura efectiva	= 1.35 m
Bordo Libre	= 0.15 m
Altura total	= 1.50 m

Con la finalidad de proteger tanto el equipo de bombeo como la decantadora centrífuga, el cárcamo contará con un sistema de electro niveles para paro y arranque de estos equipos por bajo y alto nivel, se proponen electro niveles de pera con núcleo de mercurio y exteriores de PVC.

5.2.9.3 Acondicionamiento de lodos.

El Acondicionamiento de Lodos consistirá en la adición de un primero, el cual favorecerá al aglomeramiento de los sólidos y permitirá un deshidratado con mayor eficiencia.

De acuerdo con la experimentación a nivel laboratorio se detectó que el polímetro que mejor funciona con este desecho es el Catfloc, un polímetro no iónico de lata densidad.

La adición del polímetro se realizara en línea, por lo que no es necesario algún equipo adicional, la dosificación de polímetro será de 4.5 kg/ton de material seco. La concentración de sólidos en el cárcamo será del 5%, el caudal total por etapa de decantamiento es de 5.4 m³ de lodos por lo tanto la masa de sólidos es de:

$$MS = (5.4 [m^3]) * (0.05 [ton/m^3]) = (0.27 [ton/etapa]) * (6 [etapas/día]) = 1.62 ton/día$$

La cantidad de polímetro requerida por etapa de tratamiento y por día es de:

$$4.5 [Kg. polímetro / tonMS] * 0.27 [tonMS / etapa] = 1.215 [Kg. polímetro / etapa] = 7.29 [Kg. polímetro / día]$$

Debido a que el polímetro se suministran forma líquida y en recipientes de 200 litros con una densidad de 1.5 kg/l, un tambo de esta capacidad contendrá 300 kg de polímetro y será suficiente para un periodo de operación de 30 días.



5.2.9.4 Deshidratación de Lodos

El lodo de la etapa de coagulación del de precipitación de fierro son enviados a un cárcamo de lodos donde son homogeneizados y enviados por bombeo a la decantadora. Una segunda bomba lleva polímetro a la línea de alimentación de lodos. El lodo flocula y los sólidos son separados por la decantadora, transportados con un tomillo y descargados para su posterior disposición, confinamiento o cubierta para celda de residuos hospitalarios en 3a y 4a etapas.

La secuencia dentro de la decantadora es la siguiente: El producto entra a la decantadora a través del tubo de alimentación y es transportado al espacio de centrifugación a través de un distribuidor. El nivel del líquido se ajusta por medio de unos anillos de retención.

Debido a la fuerza centrífuga las partículas se mueven hacia las paredes del tambor en donde el tomillo las transporta a la sección cónica donde son desaguadas, secadas y sacadas de la máquina. El líquido clarificado sale de la cámara de centrifugación por gravedad sobrenadando los anillos de retención o diafragmas.

5.2.9.5 Transporte y Disposición

La producción máxima de lodos por día, incluyendo los dos módulos de tratamiento, será de 1.44 toneladas con un contenido de humedad del 10% y tendrán un volumen aproximado de 0.8 m³, por lo tanto un contenedor de 6 m³ se llenará en 7.5 días.

Se recomienda que para evitar la construcción de un confinamiento especial, estos sólidos sean empleados como material de cubierta en los confinamientos de residuos hospitalarios tanto de la tercera como de la cuarta etapa.

5.3 Generalidades diseño estructural

La cimentación dada las condiciones del terreno de alta compresibilidad se dio en dos partes: La techumbre ligera que cubre los trenes de tratamiento y por otra parte los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico y la bodega de NaOH es a base de láminas soportadas por vigas metálicas que transmiten las cargas a columnas metálicas y estas transmiten las cargas al terreno por medio de zapatas aisladas de concreto armado.

Los tanques de almacenamiento son de polietileno de alta densidad, los tanques de proceso son de concreto armado, la caseta es a base de loza maciza de concreto armado que transmiten su carga a traves de muros.

El deshidratador de lodos consta de dos niveles, esta techado con láminas soportadas sobre vigas metálicas, el entepiso es una losa de concreto armado con malla, y una lámina metálica que servirá de cimbra y sostenida por columnas metálicas. Todos estos elementos transmiten sus cargas al terreno por medio de losas de cimentación de concreto armado con traves de borde perimetral que quedara dividida en partes para que no sufra fracturas dadas sus dimensiones.

La cerca perimetral estará sostenida por una zapata corrida de concreto armado.



5.4 Generalidades Diseño arquitectónico.

De acuerdo con las condiciones de generación de lixiviados, se estableció que la planta de tratamiento debería de considerar un gasto de diseño de 3 l/s para una operación continua de 24 horas. Así mismo, se consideró conveniente el establecer dos módulos de tratamiento de 1.5 l/s cada uno ubicados paralelamente aunque con estructuras manejando el gasto total, por ejemplo, el cárcamo de lixiviados, todos los elementos para el manejo de los lodos de desecho, la caseta de operación y las estructuras auxiliares son únicas aun considerando el posible incremento en la capacidad nominal de la planta.

Es conveniente destacar por otro lado, que las condiciones de sembrado de las unidades y en general la distribución de los elementos que integran el sistema de tratamiento tuvieron que sujetarse a la disponibilidad del terreno alargado en el camino lateral a la primera etapa, condición que limitó el diseño arquitectónico. A pesar de estas limitaciones, la distribución de los elementos se sujetó a dar condiciones adecuadas de operación y mantenimiento a los equipos. En forma práctica se establecieron tres áreas generales. La primera alaja al sistema de tratamiento propiamente dicho, incluyendo el tanque de influente, el tren de tratamiento, el manejo de los lodos de desecho y el almacenamiento de los reactivos considerados no peligrosos. La segunda área incluye los elementos para el manejo de los reactivos peligrosos como son el ácido sulfúrico concentrado y la sosa cáustica; en esta misma zona se identifica el almacenamiento de agua potable que puede ser utilizada en casos de emergencia, y la subestación eléctrica. La tercer zona esta destinada principalmente al alajo de

la caseta de operación y vigilancia, el laboratorio de control y los servicios sanitarios a operadores. Finalmente se definen las áreas. de tránsito vehicular que deben de tomar en cuenta los espacios requerido para maniobras de carga y descarga.

Por las características de operación y los instrumentos de control y las áreas de proceso y de almacenamiento de reactivos estarán cubiertas con láminas metálicas sobre estructuras ligeras, intercalando láminas translúcidas para iluminación durante el día. Se considera por otro lado la cerca perimetral, los drenajes sanitario y pluvial, la distribución de agua potable y el alumbrado en vialidad y áreas de trabajo.

5.6 Generalidades Diseño del sistema de Conducción de Lixiviados al sistema de Tratamiento.

La conducción de los lixiviados hacia el sistema de tratamiento será por gravedad, empleando la diferencia de altura existente entre los registro de control de lixiviados de cada etapa y la planta de tratamiento. ,

La conducción se...realizará por medio una tubería de polipropileno de alta densidad flexible de 4 pulgadas de diámetro.

5.6.1 Conducción de la Primera Etapa a la Planta

Del registro 30 del sistema de captación lixiviados en la primera etapa, en el cual se ubican las válvulas de control, se tirará una línea de tubo Estrupak de 4" de diámetro, RD 11, hasta un registro de interconexión, de dimensiones 1'1"1 m, dentro de éste se interconectará con la línea de conducción de la segunda etapa.

Debido a la consideración anterior, los lixiviados de cada etapa se mezclarán en una sola línea, la cual abastecerá a la planta. Dentro del mismo registro se colocará una válvula de compuerta de 4" de diámetro, con la cual se podrá controlar el flujo de lixiviados hacia la planta.

Asimismo dentro del registro ,mencionado se instalará una derivación en 4" con válvula de control, esta línea descargará lixiviado hacia una laguna de almacenamiento cuando la planta este fuera de servicio o bien en el momento en que la producción de lixiviados sobrepase la capacidad de tratamiento de la planta.



5.6.2 Conducción de la segunda Etapa a la Planta

El transporte del lixiviado de la segunda etapa a la planta de tratamiento presenta la problemática de tener que atravesar el brazo de regulación horaria, para tal efecto se propone el empleo de un tubo puente.

La línea de conducción de lixiviado iniciará en el registro 24 del sistema de captación de la segunda etapa, se empleará tubería Estrupak de 4" de diámetro RD 11.

Esta línea interceptará la tubería proveniente de la primera etapa en el registro de interconexión arriba mencionado.

El paso a través de brazo de regulación será a ,través de un tubo puente, el cual estará anclado en las dos orillas mediante "muertos" de 30 cm de ancho, 40 cm de largo y 1m de alto, con zapatas de acuerdo a como se muestra en el detalle del plano correspondiente.

5.7 Generalidades Estructuras complementarias.

5.7.1 sistema de Agua Potable.

Las características específicas de la zona en que se localizará la planta de tratamiento de lixiviados, hace difícil el establecer un sistema común de abastecimiento de agua potable. De acuerdo con información proporcionada por operadores y administradores del relleno sanitario, existe una línea de agua potable en las cercanías a las oficinas de control de la primera y segunda etapas, desde donde se realizó una conexión para alimentar los servicios de esas instalaciones. A pesar de que es factible el considerar la construcción de una línea de alimentación hasta la planta de tratamiento, se estableció necesario el considerar la posibilidad

de alimentación del sistema en forma directa mediante pipas, requiriendo por lo tanto una capacidad de almacenamiento para dos o tres días de consumo normal. Es conveniente destacar que parte del agua potable deberá ser empleada en actividades de limpieza, preparación de reactivos y, para condiciones de emergencia por derrame de reactivos tales como ácido o sosa.

En total se considera la participación en promedio de 7 personas diariamente, lo que equivale a un volumen de aproximadamente 420 l por día a una dotación de 60l/personal/día. Para actividades del laboratorio y limpieza en general se estima un consumo de 500 l/día si se considera que la preparación de la solución de sosa cáustica se puede llevar a cabo empleando efluente clarificado. Bajo este esquema es posible prever un almacenamiento de 7 m³ para asegurar que no se tendrán problemas de suministro.

Por otro lado, es necesario tener un volumen extra para condiciones de emergencia en caso de accidentes por derrame de reactivos peligrosos. De acuerdo con los volúmenes a manejar se estableció adecuado contar con un volumen extra de por lo menos 5 m³ que pudieran ser manejados en forma eficiente mediante un equipo hidroneumático para cortar permanentemente con presión de operación.

Bajo estas condiciones y tomando en cuenta la limitación para utilizar tanques enterrados, se decidió emplear tinacos de polietileno de alta densidad de 10 m³ de capacidad para almacenar un mínimo de 20 m³, acoplados a un sistema hidroneumático con capacidad de mantener una presión en el sistema de distribución de 10 a 15 psia, que se considera una presión adecuada ara el caso de manejar accidentes. El sistema de distribución de tomar en cuenta hidrantes de servicio en las áreas de operación y de manejo de reactivos, así como en la caseta de operación, sanitarios y vialidades.



5.7.2 Drenaje sanitario.

Al igual que con el agua potable, no existen estructuras específicas para manejar las aguas servidas, aunque la zona de operación es ampliamente cocida por contar con los principales drenes de aguas residuales de la ciudad de México. De hecho, como se mencionó anteriormente, el sitio donde se ubicará la planta de tratamiento se encuentra muy cerca del lago de regulación horaria hacia donde será factible canalizar el drenaje sanitario.

De acuerdo con la estimación de 420 l/día para servicios y de 500 l/día para limpieza, es posible esperar un gasto medio de .01 l/s, aunque con gastos máximos cercanos a los 2 l/s. En todo caso es factible manejar estos; desechos utilizando tubos de albañal comunes; sin embargo se recomienda el empleo de tubos de Polietileno de alta densidad para poder reducir sin peligro el colchón mínimo, ya que por, las restricciones de excavación y las condiciones de nivel freático, será necesario conservar los ductos lo menos profundo posible.

5.7.3 Drenaje pluvial.

El agua de lluvia será captada por un sistema de drenaje separado que simplemente canalizará los escurrimientos hacia los terrenos aledaños, cuidando de no afectar las plataformas de cimentación.

Por las condiciones de techado y de pavimentación, se prevé que prácticamente la totalidad del agua de lluvia, salvo la que se evapore, escurrirá hacia el drenaje.

De acuerdo con estudios hidrológicos desarrollados por la DGCOH, en la zona donde se ubicará la planta se ha definido una precipitación máxima de 30 mm, que para un periodo de retomo de 50 años dará alturas de lluvia de 48, 57.6 y 63.84 mm para duraciones de 30, 60 y 120 min. respectivamente, e intensidades de 96, 57.6 y 31.92 mm/hr. Considerando el arrea de 63 por 21 m, los gastos esperados para duraciones de 30, 60 y 120min son 32.76, 19.66 y 10.89 l/s respectivamente. En todo caso es posible manejar estos flujos con conductos de 15 cm de diámetro y pendientes del 1 %. Cabe recordar que únicamente el tramo de emisor podrá establecerse de 20 cm para asegurar un flujo adecuado.

5.7.4 Cerca perimetral.

Tomando en cuenta las características de operación, la utilización de equipo e instrumentación electromecánica y el manejo de reactivos peligrosos, será necesario el establecer una barrera de protección que impida el acceso sin control a las instalaciones. Se propone la instalación de una cerca perimetral de malla ciclónica con puertas de acceso para personal y vehículos de operación. Se recomienda una altura superior al 1.80 m y el empleo de alumbrado eficiente para control nocturno.

5.7.5 Laboratorio.

Para control del proceso se considera la instalación de un laboratorio para desarrollo de las pruebas físicas, fisicoquímicas y biológicas mas representativas, ya que la determinación de parámetros especiales como metales pesados y orgánicos deberán realizarse en laboratorios externos. Se considera por lo tanto la adquisición de equipo y materiales para la determinación de los siguientes parámetros:

- pH
- Temperatura.
- Conductividad eléctrica.
- Alcalinidad.
- Acidez.
- Sólidos totales totales
- Sólidos totales fijos.
- Sólidos disueltos totales.



- Sólidos disueltos fijos.
- Sólidos sedimentables.
- Demanda quim.J.ca de oxígeno.
- Demanda bioquímica de oxígeno.
- Cloruros.
- organismos coliformes.
- Cuenta estándar.

Se deberá contar además con el equipo necesario para el desarrollo de pruebas de jarras y deshidratación de lodos.



6
CATALOGO DE OBRA Y
PRESUPUESTO

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
SISTEMA DE CAPTACION					
1	TRAZO, LIMPIEZA Y DESPALMES NORMA DE CONSTRUCCION D.D.F. 3.01.01.001	M	4113.90	2.19	9004.50
BF13B	EXCAVACIONES A MANO EN CEPZA ZONA A CLASE I EN SECO MEDIDO EN BANCO. INCLUYENDO AFINE, TRSLAPEOS, SEÑALIZACION PASARELAS Y EXTRACCIONES A BORDE DE CEPZA EXCAVACION DE 0.00 A 2.00 M DE PROF.	M3	1546.23	30.20	46693.98
BF13BB	EXCAVACIONES POR MEDIOS MECANICOS EN CEPZA ZONA "A" CLASE I, EN MATERIAL SATURADO CON ACARREO LIVRE DE 20 M MEDIDO EN BANCO. INCLUYE BARRERAS DE PROTECCION Y SEÑALIZACION EXCAVACION DE 0.00 A 2.00 M DE PROF.	M3	8163.67	11.98	97812.20
BN16B	ACARREO EN CAMION CON CARGA MECANICA DE TIERRA Y MATERIAL MIXTO, PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES QUE NO SEAN ROCA. MEDIDOS EN BANCO PRIMER KILOMETRO	M3	4356.85	14.90	64916.19
BP12DC	RELLENO DE EXCAVACIONES PARA ESTRUCTURAS Y/O PARA ALCANZAR NIVELES DE PROYECTO, EN CAPAS DE 20 CM. DE ESPESOR COMPACTADAS CON RODILLO VIVRATORIO AL 90% PROCTOR PREVIA LA INCORPORACION DEL AGUA NECESARIA, MEDIO COMPACTO. INCLUYE TODOS LOS ACARREOS EN ANCHOS NO MAYORES DE 3.00 M RELLENO DE EXCVACIONES CON TEPETATE	M3	5567.79	124.84	695661.95
BP12BB	RELLENO DE EXCAVACIONES ABASE DE GRAVA DE 1/2" A 1". INCLUYE MATERIAL, MANO DE OBRA Y ACARREOS A 20M	M3	8452.50	15.23	128734.96
OD14BE	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUVERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENCIDAD CORRUGADA Y PERFORADA CON FILTRO DE CALCETIN MARCA HANCOR Y TODO LO NECESARIO PARA SU COLOCACION				
S/C	REGISTRO DE CONCRETO ARMADO HECHO EN OBRA F' C 200 KG/CM2, DE 1.00*1.00Y DE 1.00 A 2.00 M DE PROFUNDIDAD MEDIDAS INTERIORES INCLUYE CIMENTADO APARENTE, ARMADO, COLADO, CURADO, DESCIMBRADO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CONSTRUCCION	PZA	94.00	3450.84	324378.96

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
OL12	CAJA DE CONCRETETO ARMADO PARA OPERACIÓN DE VALVULAS DE 1.00 A 2.00 M DE PROFUNDIDAD DE 1.50*1.50 M	PZA	2.00	4543.91	9087.83
OM16C	SUMINISTRO Y COLOCADO DE EXTREMIDAD BRIDA DE EXTRUPEAK DE 4" DE DIAMETRO INCLUYE SOLDADURA POR TERMO FUSION MATERIAL, MANO DE OBRA Y TODO LO NECESARIO PARA SU COLOCACION,	PZA	6.00	362.30	2173.82
OK12DE	SUMINISTRO Y COLOCACION DE VALVULA DE PVC BRIDA DE 4" DE DIAMETRO	PZA	4.00	1742.99	6971.97
SUBTOTAL DEL SISTEMA DE CAPTACION					\$ 1,376,348.53

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
OBRA EXTERIOR					
B1A	TRAZO, LIMPIEZA Y DESPALMES NORMA DE CONSTRUCCION D.D.F. 3.01.01.001	M	798.00	2.19	1746.66
BF	EXCAVACIONES A MANO EN CEPZA ZONA A CLASE 1 EN SECO MEDIDO EN BANCO INCLUYENDO AFINE, TRASLAPEOS, SEÑALIZACION PASARELAS Y EXTRACCION A BORDE DE CEPZA	M3	8.00	39.76	318.11
BN12BB	ACARREOS EN CARRETILLA DE TIERRA Y MATERIAL MIXTO. PRODUCTO DE LA EXCAVACIONES QUE NO SEAN ROCA. INCLUYE CARGA Y DESCARGA EN ESTACIONES DE 20 M IDA Y VUELTA. MEDIDO EN BANCO PRIMERA ESTACION	M3	8.00	13.90	111.17
BN15BB	ACARREO EN CAMION DE CARGA MANUAL, DE TIERRA Y MATERIAL MIXTO PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES QUE NO SEAN ROCA. MEDIDOS EN BANCO, PRIMER KILOMETRO	M3	8.00	30.81	244.87
BN15BC	KILOMETRO SUPSECUENTES ZONA URBANA	M3-KM	40.00	4.20	167.81
BP12CB	RELLENO DE EXCAVACIONES PARA ESTRUCTURAS Y/O PARA ALCANZAR NIVELES DE PROYECTO. EN CAPAS DE 20 CM. DE ESPESOR COMPACTADAS CON PISON AL 90% PROCTOR. PREVIA LA INCORPORACION DE AGUA NECESARIA. MEDIDO COMPACTO INCLUYE TODOS LOS ACARREOS PARA VOLUMENES MENORES DE 50 M3 CON MATERIAL PRODUCTO DE LA ESCAVACION	M3	8.00	21.92	175.38
BP12CC	RELLENO DE EXCAVACIONES PARA ESTRUCTURAS Y/O PARA ALCANZAR NIVELES DE PROYECTO. EN CAPAS DE 20 CM. DE ESPESOR COMPACTADAS CON PISON AL 90% PROCTOR. PREVIA LA INCORPORACION DE AGUA NECESARIA. MEDIDO COMPACTO INCLUYE TODOS LOS ACARREOS PARA VOLUMENES MENORES DE 50 M3 CON TEPETATE	M3	684.00	122.90	84065.93
FE12DB	CONCRETO SUMINISTRADO POR EL PROVEEDOR. RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE CIMIENTOS (ZAPATAS, CONTRATRABES, TRABES DE LIGA, DADOS, ETC. INCLUYE: ACARREOS, MUESTREO, VIBRADO, CURADO, DESPERDICIO Y EQUIPO. CONCRETO F' C=300 KG/CM2 TMA 20MM	M3	102.90	1711.29	176091.56

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
DB13CC	HABILITADO Y ARMADO DE ACERO DE REFUERZO PROPORCIONADO POR EL CONTRATISTA	TON	8.35	2066.71	17257.00
QH12JB	CONSTRUCCION DE CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO, ELAVORADO EN PLANTA. INCLUYE EL SUMINISTRO DEL ASFALTO, MANO DE OBRA, EQUIPO HERRAMIENTA, CARGA Y DESCARGA COMPACTADA AL 95 % DE SU TDP CARPETA DE 10 CM CON ACARREO DEL 1er KM.	M2	587.84	76.44	44932.73
SB14EF	BANQUETAS DE CONCRETO SIMPLE PREMESCLADO O FABRICADO EN OBRA, F' C= 150 KG/CM2 CON AGREGADO MAXIOMO DE 40 MM, INCLUYENDO SU EQUIPO Y ERRAMIENTA, CON ACABADO, ESCOBILLADO Y RAYADO. SE DEBERA COLOCAR EN TRAMOS ALTERNADOS DE 2'2 M. INCLUYE CIMBRA Y JUNTAS DE 10 CM DE ESPESOR	M2	57.15	97.60	5577.58
SC12CC	GUARNICIONE DE CONCRETO SIMPLE DE F'C=200 KG/CM2 CON AGREGADO MAXIMO DE 40MM. DE SECCION TRAPEZOIDAL INCLUYENDO SUMINISTRO DE MATERIAL, MANO DE OBRA EQUIPO, HERRAMIENTA Y CIMBRA. SECCION DE 15*20*50 CM	M	152.30	168.31	25633.55
GF12BB	SUMINISTRO Y COLOCACION DE MAYA SICLONICA GALVANIZADA CALVIRE NUM 10.5 Y ABERTURA DE 55*55 PARA CERCA	M2	303.20	36.74	11140.24
GF13FB	POSTE GALVANIZADO CALIBRE 18, DE 42MM DE DIAMETRO, INTERMEDIO.PARA CERCA DE MALLA DE 2.00 M DE ALTURA, INCLUYE: AMARRES, TENSOR, CAPUCHA, Y CIMENTACION DE CONCRETO F'C= 100 KG/CM2	PZA	46.00	135.52	6234.07
GF13GB	POSTE GALVANIZADO CEDULA 30, DE 60 MM DE DIAMETRO, PARA ESQUINA, PARA CERCA DE MALLA DE 2.00 M DE ALTURA, INCLUYE: AMARRES, TENSOR, CAPUCHA, Y CIMENTACION DE CONCRETO F'C= 100 KG/CM2	PZA	4.00	283.87	1135.49
GF13JB	SUMINISTRO Y COLOCACION DE RETENIDA Y BARRAS PARA CERCAS DE MALLA GALVANIZADA RETENIDA HORIZONTAL DE 42 MM DE DIAMETRO, CEDULA 30, PARA CERCA	M	303.20	52.66	15965.48
GF13MC	SUMINISTRO DE ALAMBRE GALBANIZADO DE PUAS NUMERO 12.5	M	303.20	3.32	1005.84

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1ª Y 2ª ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
GF13NB	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PUERTA TIPO INDUSTRIAL DE UNA HOJA INCLUYENDO ACCESORIOS PARA SU COLOCACION DE 4.00M. DE ANCHO Y 2.00 M DE ALTURA	PZA	2.00	1680.87	3361.75
CB12B	CIMBRA Y DESCIMBRA EN CIMENTACION INCLUYENDO CHAFLANES Y GOTERAS CUANDO SEAN NECESARIOS CIMBRA EN LOSAS Y TRABES	M2	81.56	98.88	8064.95
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.23	7411.43	1704.63
HG12CB	REJISTRO: CON MUROS DE TABIQUE RECOCIDO DE 14 CM. DE ESPESOR, APLANADO PULIDO INTERIOR CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1-5. PLANT. DE CONC. F'C= 100 KG/CM. DE ESPESOR MEDIA CAÑA EN FONDO DE 0.40*0.60 Y 0.75 M DE PROFUNDIDAD MEDIDAS INTERIORES CON REJILLA DE PISO CON MARCO Y DOS BISAGRAS DE FO.FO	PZA	3.00	456.46	1369.37
HG12CC	REJISTRO: CON MUROS DE TABIQUE RECOCIDO DE 14 CM. DE ESPESOR, APLANADO PULIDO INTERIOR CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1-5. PLANT. DE CONC. F'C= 100 KG/CM. DE ESPESOR MEDIA CAÑA EN FONDO DE 0.40*0.60 Y 1.00 M DE PROFUNDIDAD MEDIDAS INTERIORES CON REJILLA DE PISO CON MARCO Y DOS BISAGRAS DE FO.FO	PZA	7.00	561.32	3929.27
HG12CB	REJISTRO: CON MUROS DE TABIQUE RECOCIDO DE 14 CM. DE ESPESOR, APLANADO PULIDO INTERIOR CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1-5. PLANT. DE CONC. F'C= 100 KG/CM. DE ESPESOR MEDIA CAÑA EN FONDO Y TAPA DE CONCRETO F'C= 150 KG/CM2 DE 8 CM DE ESPESOR ARMADA CON VARRILLA 7.9 MM (5/16") DIAMETRO FY= 4200 KG/CM2 A C/15 CM AMBOS SENTIDOS DE 0.40*0.60 Y 0.75 M DE PROFUNDIDAD MEDIDAS INTERIORES CON REJILLA DE PISO CON MARCO Y DOS BISAGRAS DE FO.FO	PZA	3.00	456.52	1369.57
HG12CC	REJISTRO: CON MUROS DE TABIQUE RECOCIDO DE 14 CM. DE ESPESOR, APLANADO PULIDO INTERIOR CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1-5. PLANT. DE CONC. F'C= 100 KG/CM. DE ESPESOR MEDIA CAÑA EN FONDO Y TAPA DE CONCRETO F'C= 150 KG/CM2 DE 8 CM DE ESPESOR ARMADA CON VARRILLA 7.9 MM (5/16") DIAMETRO FY= 4200 KG/CM2 A C/15 CM AMBOS SENTIDOS DE 0.40*0.60 Y 1.00 M DE PROFUNDIDAD MEDIDAS INTERIORES CON REJILLA DE PISO CON MARCO Y DOS BISAGRAS DE FO.FO	PZA	5.00	561.32	2806.62

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
GH12CB	FIRMES DE CONCRETO F'C= 150 KG/CM2 SINTERMINADO ESPECIAL, INCLUYENDO PREPARACION DE LA BASE Y CURADO DE 5 CM DE ESPESOR	M2	353.13	45.37	16022.21

SUBTOTAL OBRA EXTERIOR

\$ 430,431.81

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE RECEPCION DE LIXIVIADOS					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.192	7411.425	1422.99
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	55.13	103.16	5687.13
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	4.32	1669.23	7211.09
S/C	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ACERO INOXIDABLE DE 3/16" PARA RECUBRIMIENTOS INCLUYE MATERIALES PARA SU HECHURA Y COLOCACION	PZA	1.00	2863.28	2863.28
SUBTOTAL TANQUE DE RECEPCION DE LIXIVIADOS					\$ 16,984.49

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE ACIDIFICACION					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.33	7411.425	2445.77
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	32.40	103.16	3342.34
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R. N. PARA MUROS.	M3	1.80	1669.23	3004.62
S/C	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ACERO INOXIDABLE DE 3/16" PARA RECUBRIMIENTOS INCLUYE MATERIALES PARA SU HECHURA Y COLOCACION	PZA	1.00	1565.21	1565.21
SUBTOTAL TANQUE DE ACIDIFICACION					\$ 10,357.94

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1ª Y 2ª ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE NEUTRALIZACION					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.14	7411.425	1037.60
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	23.85	103.16	2460.33
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM2 T. M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	1.95	1669.23	3255.01
S/C	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ACERO INOXIDABLE DE 3/16" PARA RECUBRIMIENTOS INCLUYE MATERIALES PARA SU HECHURA Y COLOCACION	PZA	1.00	1152.17	1152.17
SUBTOTAL DEL TANQUE NEUTRALIZACION					\$ 7,905.11

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE MEZCLADO RAPIDO					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.07	7411.425	518.80
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	11.22	103.16	1157.44
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	1.48	1869.23	2470.47
S/C	SUMINISTRO Y COLOCACION DE RECINA APOXICA INCLUYE TODOS LOS MATERIALES PARA SU COLOCACION Y DESPEDIOS	M2	3.45	542.03	1869.99
SUBTOTAL DEL TANQUE DE MEZCLADO RAPIDO					\$ 6,016.70



**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE COAGULACION					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.17	7411.425	1259.94
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	28.27	103.16	2916.29
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADSO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL CONCRETO F' C= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	2.26	1669.23	3772.47
S/C	SUMINISTRO Y COLOCACION DE RECINA APOXICA INCLUYE TODOS LOS MATERIALES PARA SU COLOCACION Y DESPEDIOS	M2	8.90	1365.70	12154.69
SUBTOTAL TANQUE DE COAGULACION					\$ 20,103.39

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1ª Y 2ª ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
SEDIMENTADOR SECUNDARIO					
BF13B	EXCAVACIONES A MANO EN CEPA ZONA A CLASE II-A EN SECO MEDIDO EN BANCO. INCLUYENDO AFINE, TRSLAPEOS, SEÑALIZACION PASARELAS Y EXTRACCIONES A BORDE DE CEPA EXCAVACION DE 0.00 A 2.00 M DE PROF.	M3	7.40	25.84	191.24
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADSO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	16.22	1669.23	27074.97
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISE DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	228.16	103.16	23538.67
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	1.37	7411.43	10153.65
LG14B	PINTURA EPOXICA. INCLUYE: PREPARACION DE LA SUPERFICIE, APLICACION DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE EN PISOS DE CONCRETO	M2	144.50	30.29	4376.88
S/C	MAMPARAS DE FIBRA DE VIDRIO LOSA DE 1.70*2.55M INCLUYE ANGULOS SE ACERO INOXIDABLE EN SUS EXTREMOS PARA FIJARLOS A TANQUES	PZA	80.00	456.30	36504.00
SUBTOTAL DE EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO					\$ 101,837.41

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE OXIDACION CON PEROXIDO DE HIDROGENO					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.18	7411.425	1334.06
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBASAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	30.75	103.16	3172.13
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPARDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F'c= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	3.04	1669.23	5074.47
LG14B	PINTURA EPOXICA. INCLUYE: PREPARACION DE LA SUPERFICIE, APLICACION DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE EN PISOS DE CONCRETO	M2	15.38	30.29	465.86
SUBTOTAL TANQUE DE OXIDACION CON PEROXIDO DE HIDROGENO					10,046.51

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE NEUTRALIZADOR					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA $F_y=4200$ KG/CM ² DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.1	7411.425	741.14
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	16.00	103.16	1650.54
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREGO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO $f'c=250$ KG/CM ² T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	1.32	1669.23	2203.39
SUBTOTAL DE TANQUE NEUTRALIZADOR					\$ 4,595.07

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1ª Y 2ª ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
CARCANO DE BOMBEO					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.96	7411.425	7114.97
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	16.00	103.16	1650.54
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADSO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F'C= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	1.32	1669.23	2203.39
LG14B	PINTURA EPOXICA, INCLUYE: PREPARACION DE LA SUPERFICIE, APLICACION DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE EN PISOS DE CONCRETO	M2	8.40	30.29	254.43
SUBTOTAL CARCANO DE BOMBEO					8 11,223.33

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE AGUA TRATADA					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLEUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.22	7411.425	1630.51
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	72.00	103.16	7427.42
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	2.88	1669.23	4807.39
LG14B	PINTURA EPOXICA, INCLUYE: PREPARACION DE LA SUPERFICIE, APLICACION DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE EN PISOS DE CONCRETO	M2	18.50	30.29	560.36
SUBTOTAL TANQUE DE AGUA TRATADA					\$ 14,425.69

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1ª Y 2ª ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
CASETA DE VIGILANCIA Y LABORATORIO					
GS22ED	MUROS DE BLOK DE BARRO ROJO NATUARAL PERFORADO VERTICAL DE 10*14*20 cm SANTA JULIA, JUNTEADO CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:5 EN JUNTA DE 5mm DE ESPESOR, CON CASTILLOS AHOGADOS A CADA 90cm DE CONCRETO f _c = 150 KG/CM2 T.M.A. 20 mm Y UNA VARILLA DEL No 2.5. INCLUYE: ANCLAJE Y LIMPIEZA HASTA QUIENTO NIVEL. MURO DE 14 cm VIDRIADO, COLORES DE LINEA	M2	38.06	729.372	27759.90
GC31BC	CASTILLOS DE CONCRETO f _c = 150 KG/CM2 AHOGADOS EN MUROS DE TABIQUE O BLOK HUECO VERTICAL DE HASTA 10 cm DE ESPESOR, INCLUYE ANCLAJE DE VARILLA. CON UNA SOLA VARILLA DEL No 3, 9.52 mm (3/8")	M	48.05	16.02	769.62
GC32BB	ANCLAJE DE VARILLAS PARA CASTILLOS AHOGADOS A ESTRUCTURAS, INCLUYE: TRAMO DE VARILLA AMARRADA AL ARMADO DE ESTRUCTURA, RESANE CON CONCRETO A CUALQUIER NIVEL Y ROTURA UNICAMENTE PARA TRABAJOS DE REABILITACION, CON UNA VARILLA DE 3/8" Y 0.50m DE LONGITUD.	PZA	23.00	37.40	860.28
LB16EB	SUMINISTRO Y COLOCACION DE LAMBRIN DE AZULRJO DE 11*11 CM, PEGADO CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:4 LECHADOS CON CEMENTO BLANCO.	M2	5.00	229.19	1145.93
EG15BB	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PUERTAS DE LA PUERTAS DE LAMIN ACANALADA, INCLUYE PIUNTURA ANTICORROSCIVA, HABILITADO, MACILA, SOLDADURA, ESMERILLADO, HERRAJES, ACCIONADORES, ACARREOS, ELEVACIONES, DESPERDICIOS, HERRAMIENTA Y MANO DE OBRA.	PZA	2.00	562.27	1124.54
EH12	SUMINISTRO Y COLOCACION DE ALUMINIO ANONZADO NATURAL TIPO "E" INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACION	M	11.34	72.88	826.46
LH14DB	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CERRADURAS DE SOBRE PONER CERRADURA MARCA PHILIPS MODELO 625	PZA	2.00	347.72	695.45
S/C	SLIDA DE INSTALACION HIDRAULICA A BASE DE TUBO DE COBRE Y GALVANIZADO INCLUYENDO MANO DE OBRA Y TODOS LOS MATERIALES NECESARIOS PARA SU COLOCACION	SAL	6.00	622.33	3733.98

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1ª Y 2ª ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
HI17CB	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE ACCESORIOS DE SOBREPONER CROMADOS, LINEA ECONOMICA, INCLUYE MATERIALES DE FIJACION				
HI17CC	PORTA PAPEL MOD- AE-4 HELVEX	PZA	1.00	70.81	70.81
HI17CD	GANCHO DOBLE MODELO AE-6 HELVEX	PZA	1.00	41.18	41.18
HI17CF	JABONERA PARA TINA O REGADERA MODELO AE-8 HEL	PZA	1.00	48.22	48.22
HI17DD	SUMINISTRO, COLOCACION Y PRUEBAS DE COLADERAS "HELVEX", INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACION COLADERA HELVEX MODELO 262-H PARA PISO	PZA	2.00	537.27	1074.54
GH13BD	PISOS DE CONCRETO R.N. FC= 150 KG/CM2 PULIDO INTEGRAL CON LLANA METALICA, INCLUYE PREPARACION DE LA BASE Y CURADO DE 8CM DE ESPESOR	M2	15.00	83.78	1256.68

SUPTOTAL CASETA DE VIGILANCIA Y LABORATORIO

\$ 39,407.57

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
CONTENEDOR DE ACIDO SULFURICO CONCENTRADO					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM ² DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.06	7411.43	444.69
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBASAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	72.00	103.16	7427.42
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM ² T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	2.88	1669.23	4807.39
TRABES CONTENEDOR ACIDO SULFURICO					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM ² DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.12	7411.43	889.37
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBASAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	21.00	103.16	2166.33
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F' C= 250 KG/CM ² T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	2.00	1669.23	3338.47
S/C	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TABIQUE ANTIACIDO INCLUYE MATERIAL MANO DE OBRA Y DESPERDICIOS	M2	61.16	1117.20	68327.95
SUPTOTAL CONTENEDOR DE ACIDO SULFURICO CONCENTRADO					\$ 87,401.62

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
ALMACEN DE ACIDO SULFURICO					
CB12BK	CIMBRA Y DECIMBRA A UNA ALTURA MAXIMA DE 4.00 M. INCLUYE: CHAFLANES Y GOTEROS CUANDO SEAN NECESARIOS EN LOSAS Y TRABES	M2	16.00	98.88	1582.14
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.23	7411.43	1704.63
DB12CD	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 12.7 mm (1/2") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.48	7231.53	3471.14
SUPTOTAL ALMACEN DE ACIDO SULFURICO					\$ 6,757.90

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
CONTENEDOR DE TANQUES DE PEROXIDO DE HIDROGENO					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.39	7411.43	2890.46
CB12BH	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS PLANOS	M2	38.70	85.77	3319.44
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR, RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL CONCRETO F'c= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	1.48	1669.23	2470.47
S/C	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TABIQUE ANTIACIDO INCLUYE MATERIAL MANO DE OBRA Y DESPERDICIOS	M2	19.35	1117.20	21617.82
SUPTOTALCONTENEDOR DE TANQUES DE PEROXIDO DE HIDRÓGENO					\$ 30,298.18

**CATALOGO DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS
LIXIVIADOS GENERADOS EN LA 1a Y 2a ETAPAS DEL RELLENO SANITARIO BORDO
PONIENTE**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODOS					
DB12C	ACERO DE REFUERZO GRADO DURO CON LIMITE DE FLUENCIA FY=4200 KG/CM2 DE DIAMETRO 9.5 mm (3/8") LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO Y COLOCACION Y AMARRE, GANCHOS Y DESPARDICIO	TON	0.17	7411.43	1259.94
CC14BI	CIMBRA Y DESCIMBRA EN ACABADO APARENTE INCLUYE: CHAFLANES, LIMPIEZA, QUITANDO REBABAS Y PERDIENDO JUNTAS A UNA ALTURA MAXIMA DE ENTREPISO DE 4.00 M PARA MUROS CIRCULARES	M2	28.00	103.16	2888.44
FE16CB	CONCRETO SUMINISTRADO POR PROVEEDOR. RESISTENCIA NORMAL PARA ELEMENTOS DE SUPERESTRUCTURA (MUROS, PRETILES, FALDONES), INCLUYE: ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, DESPERDICIO Y EQUIPO EN CUALQUIER NIVEL. CONCRETO F'c= 250 KG/CM2 T.M.A. 20mm R.N. PARA MUROS.	M3	1.95	1669.23	3255.01
LG14B	PINTURA EPOXICA, INCLUYE: PREPARACION DE LA SUPERFICIE, APLICACION DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE EN PISOS DE CONCRETO	M2	14.70	30.29	445.26
SUPTOTAL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LODOS					\$ 7,848.65
TOTAL DE LA OBRA CIVIL					\$ 2,181,989.89

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



7 ESPECIFICACIONES GENERALES Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCION

Trazos y nivelación

Son trabajos topográfico necesarios para ubicar la posición de la obra de que se trate, en el terreno donde se realizará.

Comprende la localización de los ejes, cotas y referencias necesarias para el desplante de la obra, de acuerdo con lo señalado en el proyecto y/o por las indicaciones de la empresa. que realice la obra.

Materiales

Los materiales necesarios para trazos y nivelaciones deberán cumplir con lo que especifique el proyecto en cada caso.

Equipo

Los equipos é instrumentos de topografía para trazos y nivelaciones deberán estar en condiciones de ajuste que garanticen la precisión solicitada según lo requiera, el proyecto

Requisitos de ejecución

Los trazos y nivelaciones, en razón de la precisión requerida, podrán ejecutarse mediante el empleo de hilos, estacas, plomada, brújula, cinta métrica estatal, baliza, niveleta, nivel de manguera, nivel montado, dinamómetro, tránsito o los aparatos topográficos y otros equipos que sean necesarios y de mayor precisión para la correcta ejecución de los trabajos.

Los trazos de los ejes de las construcciones, sobre el terreno, deberán estar de acuerdo con los planos del proyecto. Su ubicación estará referida a. los linderos del terreno, construcciones ya existentes o mojonera s reconocidas.

7.1 DESMONTE Y CORTE DE ÁRBOLES

Desmante

Definición y ejecución. El desmante es la serie de trabajos que se realizan con el propósito de eliminar la vegetación existente sobre un terreno, para preparación del mismo en las áreas donde vaya a desplantarse una estructura o iniciarse una excavación, así como en aquellas otras señaladas en los planos del proyecto y/o ordenadas por el Ingeniero responsable de la obra. Los trabajos de desmante podrán comprender alguna o varias de las operaciones siguientes:

- a) Tala, consistente en la labor de cortar los árboles y arbustos.
- b) Desenraicé, consistente en las operaciones para extraer los troncos y tocones cortando las raíces de ellos.
- c) Roza que consiste en la remoción de la vegetación superficial, como hierba, maleza o residuos de sembrados.
- d) Limpia, consistente en retirar del área de los trabajos los residuos producto de las operaciones anteriores o los resultantes de su incineración.



Los trabajos indicados podrán ser ejecutados indistintamente a mano o mediante el empleo de equipo mecánico adecuadamente. Toda la materia vegetal producto de las operaciones de desmonte deberá colocarse fuera de las áreas destinadas a la construcción, transportándola a los bancos de desperdicio que para el efecto señale el Ingeniero responsable de la obra.

Solamente se harán trabajos de desmonte, desenraicé, o roza y limpia en las áreas de construcción mostradas en los planos de proyecto, así como en aquellas que ordene el Ingeniero responsable de la obra.

Todo material maderable aprovechable producto de los trabajos de desmonte y corte de árboles será propiedad de la D.G.S.U. o quien realice la obra y deberá ser cortado en trozos y destinado en los sitios que señale el Ingeniero responsable de la obra, o bien, transportado para su almacenamiento en donde ordene el mismo.

Todo el material no aprovechable producto de desmontes y cortes de árboles, deberá ser quemado, previa autorización del Ingeniero responsable de la obra, tomándose las precauciones adecuadas para evitar incendios y daños a terceros. Los fuegos deberán ser supervisados mientras ardan y serán extinguidos antes de que el supervisor se retire del lugar de la quema.

Los trabajos de desmonte deberán ejecutarse invariablemente con anticipación a los restantes trabajos de construcción, para no entorpecer el desarrollo de éstos.

Todos los daños y perjuicios producidos por los trabajos de desmonte y corte de árboles indebidamente ejecutados, dentro o fuera de las áreas de construcción y derechos de vía, serán de la exclusiva responsabilidad del contratista.

Clasificación de materiales

Dentro del ámbito geográfico en el que se ejecutan obras de la competencia de D.G.S.U. o quien realice la obra, podrán presentarse los siguientes tipos de vegetación.

Región desértica, cultivada o pastizal. Se clasificará así la constituida predominantemente por cactáceas, plantas de sembrad los y zacatales; como por ejemplo de los cuales se señalan enunciativa y no exhaustivamente: sahuarón, órganos, nopales, biznagas, candelillas guayules, gobernadoras, ocotilos, mezquitillos, pitahayas y magueyes, sembrad los de maíz trigo, cebada, zacate y herbáceas.

Región árida o semiárida. Vegetación constituida predominantemente por árboles de poca altura y diámetro reducido o por arbustos; como ejemplo de los cuales se tiene: mezquitales, pirules, tejocotes, huizaches y espinos.

Región de bosque. Con vegetación típica de climas templados y fríos en zonas altas como ejemplo de la y cual son: encinos eucaliptos pinos, madroños, oyameles, etc.

Otros requisitos de ejecución

Cuando el desmonte se ejecute empleando herramienta manual, el corte de los árboles quedará a una altura máxima de un metro y el de los arbustos de 50 cm, excepto en las áreas para las que se especifique u ordene el desenraicé.

En áreas de bancos de materiales de préstamo o desperdicio, el desmonte se hará hasta cinco metros de distancia fuera de los límites perimetrales de las mismas salvo otra orden del Ingeniero responsable de la obra.

El empleo de explosivos en forma de detonaciones aisladas para extraer raíces o troncos, solamente se permitirá en áreas deshabitadas, previa autorización del Ingeniero responsable de la obra y adoptando todas



las precauciones convenientes para no causar daños a terceros. Su uso; será de la exclusiva responsabilidad del Contratista.

La tala de árboles ubicados en avenida, calles, jardines y otras áreas urbanas, incluirán su derribe, desramado, carga, acarreo y descarga dentro de la obra, con la madera producto de los mismos troceada a disposición de D.G.S.U. o quien realice la obra El correspondiente precio unitario para estos casos no incluirá la extracción de troncos y desenraice. Los perímetros de los troncos se medirán a una altura de 00 m sobre el nivel medio del terreno.

Medición y pago. Para fines de estimación y pago, los trabajos de desmonte y tala de árboles serán medidos empleados como unidades el metro cuadrado o la hectárea, según el caso, aproximando los resultados a 1 o 2 decimales respectivamente.

Los porcentajes de vegetación que se medirán como a continuación se indica:

Para las zonas de región desértica, cultivada o pastizal, se considerará el 100% en todos los casos.

Para las áreas de construcción ubicadas en "Región árida o semiárida" en los desmontes se considerará un porcentaje de 100% cuando existan 59 m² de sección de corte de madera por hectárea, medidos a una altura de 1.0 m, tratándose de árboles ya 50 cm de altura, tratándose de arbustos. Para otras superficies de sección de corte de madera por hectárea, se aplicará el precio unitario estipulado en el contrato, multiplicando por el porcentaje correspondiente a la superficie de la sección efectivamente cortada.

Cuando se tratará de "Región de bosque", se considerará 100% cuando haya 100 metros cuadrados de superficie de corte de madera por hectárea, medida a 1.0 m de altura, tratándose de árboles ya 50 cm en arbustos. Para otra superficie de corte de madera por hectárea, se aplicará el precio unitario por hectárea estipulado en el contrato multiplicando por el porcentaje correspondiente.

La limpia y el desyerbe simple de terrenos será medida para fines de estimación y pago empleando el metro cuadrado como unidad.

La tala de árboles ya fuera aislados en grupos, que se encuentren ubicados en áreas urbanas, será medida para fines de pago empleando la pieza y el correspondiente concepto de trabajo incluirá las operaciones, indicadas anteriormente en estas especificaciones, con las exclusiones señaladas en la fracción aquí citada, que se pagaran por separado.

Desmonte de áreas de construcción en región desértica, cultivadas o pastizal, incluyendo tala, roza, desenraicé, limpia y quema, ejecutado a juicio del contratista. (Ha)

Desmonte, desyerbe y desenraicé acamellonado común en áreas urbanas y suburbanas. (m²)

Tala de árboles, incluyendo su derribe, desramado, carga, acarreo y descarga dentro de la obra, con madera troceada a disposición de la D.G.S.U. o quien realice la obra excluyendo la extracción de tocones hasta un metro de altura, ni desenraice, con perímetro de tronco medio de:

- a) De 0.25 a 0.75 m . (pza.)
- b) De 0.76 a 1.50 m , (pza.)
- c) De-1.51 a 2.50 m , (pza.)
- d) De 2.51 a 3.75 m , (pza.)
- e) De 3075 y mayores, (pza.)

Extracción de tocones, incluyendo excavación, desenraice, acarreo y descarga dentro de la obra, para perímetros de medidos a 1.0 m del terreno natural:

- a) De 0.25 a 0.75 m . (pza.)



- b) De 0.76 a 1.50 m , (pza.)
- c) De-1.51 a 2.50 m , (pza.)
- d) De 2.51 a 3.75 m , (pza.)
- e) De 3075 y mayores, (pza.)

Desmante de áreas de construcción en región desértica, cultivadas o pastizal, incluyendo tala, roza, desenraice, limpia y quema, ejecutado a juicio del contratista. (Ha).

Desmante de áreas de construcción en región árida o semiárida, incluyendo tala, roza, desenraice, limpia y quema, con % de densidad, ejecutando con equipo mecánico o herramienta de mano. (Ha).

Desmante de área de construcción en región de bosque, tala, roza, desenraice, limpia y quema, con % de ejecutando con equipo mecánico o herramienta de mano.

7.2 Despalme de excavaciones y bancos de préstamo

Despalme.

Definición y ejecución. Se entenderá por despalme la extracción y retiro de la capa superficial del terreno natural que por sus características resulte inadecuado para emplearse en la construcción de las obras o para recibir cimentaciones.

Material Clase I es el poco o nada cementado, que puede ser excavado con pala de mano y cargado eficientemente con herramienta manual, sin ayuda de equipo mecánico, aún en el caso de que ésta la utilizase el contratista para obtener mayores rendimientos. Se considera como ejemplos de material Clase I: los suelos agrícolas, arenas, limos y cualquier otro material blando o suelto con partículas hasta de 7.5 cm de diámetro.

Material Clase II es el que, pudiendo ser excavado a mano, por sus características solo puede excavar y cargarse eficientemente con equipo mecánico; ejemplo de las cuales se tiene: las rocas fragmentadas alteradas, los conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas tepetates y piedras sueltas con diámetros mayores de 7.5 cm y menores de 75 cm.

Material Clase III es el que solo puede ser excavado mediante cuña y, marro empleando explosivos ejemplos del cual son: rocas basálticas, areniscas y/o conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos, andesitas sanas y todas las piedras sueltas mayores de 75 cm. para fines prácticos y de estimación esta se considera como excavación en material III (Roca)

Material saturado o lodoso es aquel que por su elevado contenido de agua se adhiere o escurre de la herramienta o maquinaria utilizada para su extracción, reduciendo por tanto la eficiencia del trabajo.

A los materiales que por sus características no pueden ser considerados total mente dentro de alguna de, las clasificaciones anteriores, se les fijará una clasificación intermedia, asignándoles porcentajes de material Clases I, II y III, en proporción a las cantidades y características de cada uno de los materiales que se involucran, mencionando cada uno de ellos mediante el porcentaje que le corresponda a cada cual y respetando el orden de clasificación I, II y III, de manera que la suma de los porcentajes de todos sea 100.

Los despalmes se ejecutaran en las áreas destinadas a la construcción y en los bancos de préstamo de materiales señalados por los planos del proyecto u ordenados por el ingeniero responsable de la obra, quien decidirá en cada caso sus límites, para separar las operaciones propias del despalme de las que correspondan a conceptos de excavación, cuando esta vaya a existir.

Para controlar el espesor del despalme, antes de ejecutarlo se seccionara la superficie del terreno no debiendo alterarse las referencias y bancos de nivel durante le ejecución de los trabajos para una vez despalmdo el terreno se seccione nuevamente para fines de ubicación.



Solo se considerará el costo del despalme ejecutado con herramientas manuales en los casos siguientes:

- a) Cuando se realice en lugares inaccesibles a la maquinaria.
- b) Cuando se ejecute en lugares alejados o aislados en los que el costo del transporte de la máquina genere un precio unitario mayor al correspondiente al ejecución manual, a juicio de la D.G.S.U. o quien realice la obra
- c) En los casos especiales previamente autorizados por la D.G.S.U. o quien realice la obra

No se permitirá el empleo de maquinaria para efectuar despalme en los casos siguientes:

- a) En fajas limitadas por líneas situadas a 2 m de los parámetros de cualquier construcción o instalación.

Todo material al producto de despalme se controlara secciones nivelado secciones separadas: entre si las distancias siguientes:

- L/10, cuando L mayor que 200 metros;
 - L/15, cuando L sea mayor que 200 y menor que 500 metros;
 - L/20, cuando L sea mayor que 500 metros;
- siendo L la longitud del lado del área normal a las secciones.

7.3 Excavaciones y formación de terraplenes con sus acarreos

Excavaciones de canales y drenes

Definición de ejecución. Se entiende por excavación el conjunto de operaciones necesarias para remover y extraer materiales de una excavación a cielo abierto, par formar canales o drenes o para alojar cimentaciones, ductos e instalaciones, etc., Comúnmente excavación en cubeta se paga mas que la efectuada a tajo.

Materiales. Los materiales producto de la excavación se clasificaran de acuerdo con la dificultad que presenten para su extracción y retiro, conforme al siguiente criterio:

Material Clase I es el poco o nada cementado, que puede ser excavado con pala de mano y cargado eficientemente con herramienta manual, sin ayuda de equipo mecánico, aún en el caso de que ésta la utilizase el contratista para obtener mayores rendimientos. Se considera como ejemplos de material Clase 1: los suelos agrícolas, arenas, limos y cualquier otro material blando o suelto con partículas hasta de 7.5 cm de diámetro.

Material Clase II es el que, pudiendo ser excavado a mano, por sus características solo puede excavar y cargarse eficientemente con equipo mecánico; ejemplo de las cuales se tiene : las rocas fragmentadas alteradas, los conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas tepetates y piedras sueltas con diámetros mayores de 7.5 cm y menores de 75 cm.

Material Clase III es el que solo puede ser excavado mediante cuña y marro empleando explosivos ejemplos del cual son: rocas basálticas , areniscas y conglomerados fuertemente cementados ,calizas, riojitas, granitos, andesitas sanas y todas las piedras sueltas mayores de 75 cm.

Material saturado o lodoso es aquel que por su elevado contenido de agua se adhiere o se escurre de la herramienta o maquinaria utilizada para su extracción, reduciendo por tanto la eficiencia del trabajo .



A los materiales que por sus características no pueden ser considerados totalmente dentro de alguna de las clasificaciones anteriores, se les fijará una clasificación intermedia, asignándoles porcentajes de material Clases I, II, III, en proporción a las cantidades y características de cada uno de, ellos que se involucren mencionando cada uno mediante el porcentaje que le corresponda a cada cual y respetando el orden de clasificación I, II y III, de manera que la suma de los porcentajes de todos sea cien (100) .

Los taludes y plantilla de las excavaciones para canales y drenes se afinarán conforme a lo mostrado en los planos del proyecto, de manera que ningún punto de la sección excavada quede a una distancia mayor de 10 centímetros del correspondiente a la sección del proyecto, cuidando que esta desviación no se repita en forma sistemática y que en ningún caso reduzca en más de un 10% en el área útil del canal o dren.

Cuando el material producto de la excavación tenga características adecuadas para formar con el bordos o terraplenes, a juicio del Ingeniero responsable de la obra, será depositado lateralmente para la construcción de dichas estructuras. El material que a juicio del Ingeniero responsable de la obra no sea adecuado para dicho empleo será retirado del área de construcción y transportado a los bancos de desperdicio señalados por el Ingeniero responsable de la obra, los cuales podrán quedar o no comprendidos en la II Zona de colocación libre *, conforme a lo señalado en los planos del proyecto u órdenes del Ingeniero responsable' de la obra.

En los casos en que, hubiere material sobrante, éste se colocará ampliando los bordos o terraplenes hasta la "Línea límite de colocación libre ", previa orden a aprobación, del Ingeniero responsable de la obra , conservando en esta ampliación el mismo nivel de la corona de los bordos salvo orden en otro sentido por el Ingeniero responsable de la obra.

La "Línea límite de la zona de colocación libre" será la mostrada en los planos del proyecto, con las modificaciones que ordene el Ingeniero responsable de la obra, quien tendrá la responsabilidad de que dicha zona no cause interferencia con los servicios y vías públicas ni invada propiedades a terceros. En ausencia de otra indicación u orden, la "línea límite de la zona de colocación libre" cuando las ;excavaciones; se ejecuten con equipo mecánico, será la línea paralela la intersección de los taludes de la excavación con el terreno; natural, distante 20 metros de esta intersección. Cuando ,las excavaciones se ejecuten a mano la "Línea límite de la zona de colocación libre" se determinará por la distancia de paleo libre, que en cada caso será función de las dimensiones de la excavación.

Cuando fuere necesario el empleo explosivo para ejecutar las excavaciones, el Ingeniero responsable de la obra regulará y restringirá su uso en aquellos lugares o zonas en que su utilización pudiere causar perjuicios a las obras, o bien, cuando por utilizarse los explosivos dentro o fuera de zonas urbanas se pudieran generar daños, molestias o perjuicios a sus habitantes.

La D.G.S.U. O quien realice la obra mediante los planos del proyecto, fijará las holguras, geometría y, tolerancia de las excavaciones, así como la inclinación de los taludes para construir las obras motivo del contrato.

El contratista tomará las precauciones necesarias para proteger las construcciones e instalaciones vecinas a las zonas de excavación. Si la D.G.S.U. o quien realice la obra lo considere necesario, se harán nivelaciones de dichas construcciones durante la excavación, para controlar posibles asentamientos que pudieran generarse.

Se entenderá como sobre excavación, toda excavación que quede fuera de las líneas y niveles mostradas para la propia excavación en los planos del proyecto o ,en las instrucciones del Ingeniero responsable de la obra."El Contratista no recibirá ningún pago por concepto de las sobre excavaciones en que incurriere en sus operaciones, bien fuere por; las condiciones del terreno, por la acción de agentes naturales sobre el mismo, por operaciones que ejecutase para facilitar la construcción o por cualquier otra cosa.

El contratista tendrá la obligación de rellenar las sobre excavaciones ñeque incurriere y que les sean ordenadas, ya que con material producto de la propia excavación, con o sin tratamiento de compactación según se requiere a juicio del Ingeniero responsable de la obra; o bien con mortero, concreto o mampostería y; por estas operaciones no recibirá ningún pago adicional, ya que, será de su responsabilidad adoptar las



precauciones necesarias para que las excavaciones se ajusten a las líneas y niveles de proyecto y que sus superficies se conserven en condiciones adecuadas para el uso a que se destinarán.

Quando lo juzgue conveniente o necesario, la D.G.S.U. o quien realice la obra, aprobará el empleo e instalación de ademes. El contratista tendrá el derecho y obligación de solicitar la autorización para, instalar ademe, cuando las condiciones de la excavación a su juicio lo justifiquen, pero será derecho exclusivo de la D.G.S.U. o quien realice la obra, autorizar o denegar su empleo.

Medición y pago. Para fines de estimación y pago, las excavaciones de canales y drenes serán medidas empleando como unidad el metro cúbico con aproximación de un decimal, empleando para tal en estaciones de 20 metros o las distancias que más convenga de acuerdo con la configuración del terreno. La medición será hecha en el sitio de la propia excavación y no se considerará ningún coeficiente de abundamiento

No serán estimadas para fines de pago las excavaciones hechas por el Contratista fuera de las líneas y niveles mostradas en los planos del proyecto, con las modificaciones que ordenará el Ingeniero responsable de la obra, ni aquellos volúmenes de excavación cuyo producto no hubiere sido correctamente dispuesto en los bordos o terraplenes ilustrados en los planos del proyecto, con las modificaciones que le ordenará el Ingeniero responsable de la obra, ni aquellos volúmenes de excavación cuyo producto no hubiere sido correctamente dispuesto en los bordos o terraplenes ilustrados en los planos del proyecto, o que no fueren retirados a los bancos de desperdicio, en los casos en que esto fuere necesario.

Los conceptos de trabajo que amparen las excavaciones de drenes y canales, comprenderán las siguientes operaciones de construcción: excavación, carga y retiro del material, su colocación depositándolo todo simplemente en los cuerpos de los bordos o terraplenes mostrados en los planos del proyecto, o bien en la "Zona de colocación libre", así como el afine y conservación de los taludes y plantillas de las excavaciones hasta que fueren revestidos, si así lo señala el proyecto, o hasta la recepción de la obra

El acarreo de los materiales a los bancos de desperdicios indicados por el Ingeniero responsable de la obra, será pagado por separado, conforme a lo señalado en la cláusula correspondiente de estas especificaciones.

Conceptos de trabajo. Los trabajos de excavación de canales y drenes que ejecute el Contratista le serán pagados a los precios unitarios estipulados en el Contrato para alguno de los siguientes conceptos de trabajo:

Excavación con equipo mecánico para formación de canales y drenes, en material Clase I, incluyendo su carga, acarreo y depósito dentro de la zona de colocación libre mostrada en los planos del proyecto medido en banco

- a) Con volumen menor o igual a 1000 m³/Km
- b) Con volumen mayor a 1000 m³/Km

Excavaciones con equipo mecánico para formación de canales y drenes, en material Clase II, incluyendo su carga, acarreo y depósito dentro de la zona de colocación libre mostrada en los planos del proyecto, medido en banco.

- a) Con volumen menor o igual a 1000 m³/Km
- b) Con volumen mayor a 1000 m³/Km

Excavaciones con equipo mecánico, para formación de canales y drenes en material Clase III, incluyendo su acarreo y depósito dentro de la zona de colocación libre mostrada en los planos del proyecto, medido en banco.

- a) Con volumen menor o igual a 1000 m³/Km
- b) Con volumen mayor a 1000 m³/Km



Se generarán conceptos de trabajo adicionales conforme necesario, siguiendo el orden de codificación aquí mostrado.

Rectificación de canales, drenes y cauces naturales.

Definición y ejecución. Se entenderá por rectificación de secciones, las excavaciones que se ejecuten con el propósito de ampliar, desasolver reconstruir y en general modificar las secciones existentes de canales, drenes y cauces naturales.

Los taludes y las plantillas de las excavaciones se afinarán conforme a lo mostrado en los planos de proyecto

Los materiales producto de estas excavaciones serán removidos, cargados, acarreados y dispuestos, y cuyas disposiciones se aplicarán a juicio del Ingeniero responsable de la obra, según el caso.

Medición y pago. La rectificación de secciones de canales, drenes y cauces naturales, será medida en banco sin ningún coeficiente de abundamiento, empleando como unidad el metro cúbico con aproximación de un decimal; para cuyo propósito se empleará el método del promedio de áreas extremas seccionadas en estaciones a cada 20 metros o a las distancias; que mejor convenga, según la configuración del terreno.

Conceptos de trabajo. Los trabajos de rectificación de canales, drenes y cauces naturales serán pagados a los precios unitarios estipulados en el Contrato para los conceptos de trabajo siguientes:

Rectificación de secciones de canales, drenes y cauces naturales con equipo mecánico, incluyendo su acarreo y depósito dentro de la zona de colocación libre mostrada en los planos del proyecto, medido en banco, en material Clase I

a) Con volumen menor o igual a 1000 m³/Km

b) Con volumen mayor a 1000 m³/Km

Rectificación de secciones de canales, drenes y cauces naturales con equipo mecánico, incluyendo su acarreo y depósito dentro de la zona de colocación libre mostrando en los planos del proyecto, medido en banco, en material Clase II

a) Con volumen menor o igual a 1000 m³/Km

b) Con volumen mayor a 1000 m³/Km

Rectificación de secciones de canales, drenes y cauces naturales con equipo mecánico, incluyendo su acarreo y depósito dentro de la zona de colocación libre mostrada en los planos del proyecto, medido en banco, en material Clase III.

a) Con volumen menor o igual a 1000 m³/Km

b) Con volumen mayor a 1000 m³/km

Rectificación de secciones de canales, drenes y cauces naturales con herramienta manual, incluyendo su traspaleo libre, medido en banco, en material clase I.

Rectificación de sección de canales, drenes y cauces naturales con herramienta manual incluyendo su traspaleo libre, medido en banco, en material Clase II.

Rectificación en secciones de canales, drenes y cauces naturales con herramientas manual, incluyendo su traspaleo libre medido en banco, en material Clase II.

Se generarán conceptos de trabajo adicionales conforme necesario, siguiendo el orden codificado aquí mostrado.



Traspaleo y sobre paleo de material producto de excavaciones

Definición de ejecución. En general se entenderá por traspaleo de material producto de excavaciones, la operación consistente en elevar mediante paleo efectuado a mano, el material excavado a una profundidad mayor de 2.0 metros de profundidad, medida desde el nivel medio del terreno natural hasta el punto más bajo de la excavación y depositado: al igual que todo el producto de la excavación, dentro de la zona de colocación libre.

No será considerado como traspaleo la extracción del material producto de la excavación a cualquier profundidad, cuando esta se realice con el empleo de equipo mecánico.

Se entenderá por sobre acarreo de material producto de excavación la operación de transportar, dicho material hasta los bancos de desperdicio o de almacenamiento que señale el Ingeniero responsable de la obra, cuando éstos se encuentren fuera de la zona de colocación libre.

Cuando el material producto de la excavación se utilice directamente para la formación de relleno ubicado fuera de la zona de colocación libre, el acarreo de dicho material será considerado igual que el sobreacarrearse de material producto de banco de préstamo.

Sobreacarreo de material de banco de préstamo

Definición y ejecución. Se entenderá por sobreacarreo de material producto de bancos de préstamo, la operación consistente en transportar dicho material a una distancia mayor que la correspondiente al acarreo libre, desde el propio banco hasta el sitio de su utilización en las obras.

El acarreo libre desde los bancos de préstamo hasta los sitios de las obras, será el, indicado en las cláusulas de estas especificaciones constructivas de rellenos para estructuras.

Cuando se trate de bancos de préstamos laterales adyacentes a las fajas de construcción de bordos y terraplenes, y el movimiento del material se realice mediante el empleo de equipo mecánico, la distancia de sobreacarrearse será medida entre la línea límite de la zona de colocación libre y el centro de gravedad del banco de préstamo.

Para los sobreacarreos de material producto de bancos de préstamo transportados en camiones o motoescrepas, las distancias del sobreacarrearse se medirán entre el centro de gravedad del banco de préstamo y el centro de gravedad del bordo o terraplén en la sección o cadenamamiento correspondiente a éstos.

Acarreos en zonas urbanas

Definición y ejecución. Se entenderá por acarreos Y sobreacarreos en zonas urbanas, aquellos que se realicen de materiales producto de excavaciones, demoliciones y bancos de préstamo, cuando el equipo de transporte tenga que transitar parcial o totalmente por vías comprendidas dentro de los perímetros de zonas urbanas y suburbanas en las que el tránsito natural de las mismas se les cause interferencias, con la consecuente reducción en su velocidad.

Para estos propósitos, en los cálculos y consideraciones relativas a los precios unitarios de los respectivos conceptos de trabajo se considerarán las siguientes velocidades promedio de los camiones de carga.

- a) 18 Kilómetros por hora, en zona urbana.
- b) 30 Kilómetros por hora, en zona suburbana.
- c) 50 Kilómetros por hora, en carretera.

Estos valores corresponderán al promedio del viaje redondo incluyendo la transportación, cargado y el regreso vacío, el recorrido se medirá en forma mixta, conforme a la que transite el vehículo.



7.4 Relleno en cepas

El relleno es el conjunto de operaciones necesarias para llenar una cepa hasta el nivel original del terreno natural o hasta los niveles señalados por el proyecto y/o la D.G.S.U. o quien realice el proyecto.

Existen algunos conceptos que intervienen o pueden intervenir en rellenos de cepas, conceptos que deberán sujetarse en lo que corresponda, a lo indicado en, las cláusulas de Materiales, Equipo, Requisitos de Ejecución, sistema de Medición, Conceptos de obra y Base de Pago.

Materiales

Los materiales necesarios para los rellenos deberán cumplir con lo que especifique el proyecto en cada caso y/o lo indicado por la D.G.S.U. o quien realice el proyecto, de acuerdo con los requisitos establecidos en el libro quinto, correspondientes a los materiales.

Equipo

El proyecto determinará y/o la D.G.S.U. señalará si las operaciones de relleno deberán ejecutarse en forma manual o con maquinaria, o una combinación de ambos; El equipo utilizado para los rellenos será el adecuado y necesario, previamente autorizado por la D.G.S.U.

Requisitos de ejecución

Previo a la ejecución de cualquier relleno, se deberán cumplir con las siguientes disposiciones :

a) No se deberá proceder a efectuar ningún relleno, sin, antes obtener la aprobación de la D.G.S.U. o de quien realice el proyecto, en caso contrario este podrá ordenar la total extracción del material utilizado en rellenos no aprobados por él.

b) Todo material de relleno y el lugar que se va a rellenar estará libre de carbón, cenizas, basura, material orgánico, vegetales, terrones, rocas, piedras y otros que en opinión de la D.G.S.U. o quien realice el proyecto sean inapropiados.

Cama.- Cuando el proyecto y/o la D.G.S.U. o quien realice el proyecto lo indique se colocará previo al tendido de la tubería, una capa de material seleccionado que podrá, ser arena, tezontle, tepetate, pedacearía de tabiques, y/o el material que indique el proyecto.

En casos excepcionales y cuando así lo juzgue, la D.G.S.U. o quien realice el proyecto la cama se hará de concreto.

En todos los casos, la cama se apisonará perfectamente antes de tender la tubería o desplatar mamposterías o concreto, de tal forma que no sobresalgan terrones, piedras o cualquier otro objeto que impida el apoyo uniforme del tubo en toda su longitud

Cuando se trate de terrenos rocosos, las piedras o rocas se eliminarán completamente en una profundidad de por lo menos 15 cm abajo de la rasante y también 15 cm a cada lado, para tubos de 406 mm (16") de diámetro y menores, y 25 cm en ambas partes para tubos mayores. El espacio bajo el tubo deberá llenarse hasta la rasante con arena, arcilla o algún otro material similar, usando éstos mismos materiales para llenar firmemente el espacio entre el tubo y los lados de la cepa.

Si la cama se hace en el terreno uniforme, la cepa se excavara 10 cm como mínimo y 20 cm como máximo abajo de la rasante de la cama. Este espacio se llenará con material aprobado por el supervisor en capas de 10 cm. Cada capa se apisonará firmemente, hasta conseguir una compactación a satisfacción de la propia D.G.S.U. o quien realice el proyecto, que asegure un apoyo continuo y uniforme para el tubo.



Salvo que el proyecto y/o la D.G.S.U. o quien realice el proyecto indique otra cosa en generar los niveles de la rasante de la cama deberán ser paralelos a los niveles de la rasante hidráulica de la tubería.

En terrenos de mala calidad cuando el fondo de las cepas sea inestable o conténgase cenizas, carbón, basuras, vegetales, cualquier otro material orgánico o grandes masas o fragmentos de material orgánico, los cuales a juicio de la D.G.S.U. deban removerse, el contratista excavará y quitará el material inadecuado que indique la misma D.G.S.U. o quien realice el proyecto y el espacio resultante que rellenará con material previamente aprobado.

Cuando se tenga que construir camas especiales debido a que el fondo de las cepas sean de material inestable en alto grado, ya juicio de la D.G.S.U. no pueda ser removido o reemplazado como se indica en el inciso anterior, el contratista deberá construir bases para los tubos de acuerdo con los diseños que indique la D.G.S.U. o quien realice el proyecto.

Cuando el proyecto y/o la D.G.S.U. o quien realice el proyecto lo indiquen las tuberías deberán ser acostilladas, en cuyo caso se procederá en la forma siguiente:

Una vez que esté la tubería alineada y nivelada se procederá, llenar con el material indicado en el proyecto y/o por la D.G.S.U. o quien realice el proyecto ambos lados del tubo.

El material del relleno se colocará en capas de 10 cm hasta alcanzar una altura de 30 cm sobre el lomo de la tubería, teniendo cuidado de no causar daños a las superficies impermeabilizadas o a las instalaciones o construcciones localizadas en el lugar.

Con objeto de evitar hundimientos posteriormente en las zonas de cepas, se le deberá dar la importancia requerida a los rellenos y en términos generales se ejecutarán en la forma siguiente:

1.- Para las zonas de arroyos de las obras en construcción, los rellenos se efectuarán con materiales limo arcilloso colocado en cepas no mayores de 15 cm compactadas al 90% de su peso volumétrico máximo verificado por pruebas de laboratorio: este relleno deberá llenarse hasta el nivel de subrasante.

2.- Para los rellenos de cepas que estén localizados dentro de pavimentos existentes, se procederá como sigue:

a)- Cuando el espesor de los rellenos sea superior a 1 m la D.G.S.U. o quien realice el proyecto indicará si parte de éstos se efectúan con material producto de la excavación.

b)- Si la excavación llega un nivel inferior al de la subrasante, se harán los relleno en la misma forma que indica el inciso anterior.

c)- Para la zona correspondiente a la sub-base se emplearán materiales que cumplan con las especificaciones indicadas en el proyecto y se mejorará con cemento al 8% en peso, el cual se compactará con el equipo adecuado hasta lograr un mínimo del 95% de su peso volumétrico seco máximo en capas no mayores de 15 cm.

d)- En la zona que corresponde a la base hidráulica se empleará material nuevo mejorado al 8% en peso con cemento y se compactará al 98% de su peso volumétrico seco máximo.

e)- En las zonas correspondientes a las capas asfálticas, se empleará mezcla asfáltica de 3/4" con cemento asfáltico número 6, compactada en capas no mayores de 7.5 cm de material suelto hasta alcanzar un grado mínimo de 90% de su densidad teórica máxima, debiendo quedar al mismo nivel y con el mismo acabado del pavimento adyacente.



conceptos de obra y base de pago

Camas de arena en cepas.- El precio unitario incluye: el suministro de la arena en la obra, carga descarga, acarreo hasta 20 m y desperdicios, la mano de obra para: el extendido de la arena, la nivelación y preparación del apoyo del tubo, asimismo incluye: la herramienta necesaria para la correcta ejecución del trabajo, de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U., así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales adicionales.

La unidad de medición será el m³, con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según líneas de proyecto.

Relleno compactado con pisón de mano o neumático con material producto de banco.- El precio unitario incluye: el suministro de material producto banco, de agua, cargas, descargas, acarreo hasta 20 m, y desperdicios, la mano de obra para: el tendido de material en capas, la incorporación del agua y la compactación utilizando pisón de mano o neumático, el retiro de sobrantes, asimismo incluye: la herramienta necesaria para la correcta ejecución del trabajo, de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice el proyecto, así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales adicionales.

La unidad de medición será el m³, con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según líneas de proyecto.

7.5 Mampostería para estructuras

Las mamposterías son elementos estructurales que se construyen con piedras unidas mediante junta de mortero de cemento o cal, o sin juntar, de acuerdo con lo señalado en el proyecto o lo ordenado por la D.G.S.U. o quien realice el proyecto:

a) Mampostería de segunda clase.- Se construye con piedra toscamente labrada con cincel, para obtener aproximadamente la forma geométrica requerida, rostrada, junteada con mortero de cemento y sin el requisito de formar hiladas regulares.

b) Mampostería de tercera clase.- Se construye con piedra sin labrar, junteada con mortero de cemento o cal hidratada, sin el requisito de formar hiladas.

c) Mampostería seca.- Se construye con piedra apropiada debidamente acomodada para dejar el mínimo de vacíos, sin emplear mortero y sin el requisito de formar hiladas regulares.

Materiales

Se usará piedra natural sana y sin figuras, poros o estratos y no intemperizadas; limpia de arcillas, aceite, grasa o cualquier sustancia que reduzca la adherencia de los morteros. La piedra bola y los cantos rodados deben fragmentarse previamente para poder usarlos en mampostería. Las mezclas y morteros serán de la dosificación señalada en el proyecto u ordenada por la D.G.S.U. o quien realice el proyecto.

Las operaciones necesarias para la construcción de mampostería, se ejecutarán con el equipo necesario y adecuado, de acuerdo con el proyecto o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice el proyecto.

Requisitos de ejecución

Antes de iniciar la construcción de la mampostería, la superficie de desplante deberá estar totalmente terminada, nivelada y limpia, de materias extrañas.

Una vez terminada y afinada la superficie de desplante y salvo lo indicado en el proyecto o en las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice el proyecto compactar el terreno. Sobre esta superficie se tenderá



una plantilla de mortero, con la misma dosificación que la que se usará en mampostería con pedacearía de piedra o sin ella, y con el espesor mínimo necesario para obtener una superficie uniforme.

Antes de ser coladas, las piedras se saturarán de agua, acomodando las de mayor tamaño en la parte interior del elemento en construcción, procurando que la dimensión mayor quede normal al eje longitudinal, del mismo. Las piedras se asentarán cuatropeadas, apoyadas en todo su lecho sobre las inferiores a través de las juntas de mortero, las cuales tendrán una inclinación hacia el interior del elemento en construcción.

-Las mamposterías de segunda clase se construirán colocando en el desplante las piedras de mayores dimensiones. Estas se labrarán dándoles la forma adecuada a las del sitio de asiento, seleccionando para las esquinas u extremos de los muros las de mejor forma.

En los parámetros visibles no se admitirán salientes mayores de 2 cm con relación al plano teórico. Si las piedras son de origen sedimentario, el labrado se hará de manera que los planos de sedimentación queden paralelos a su cara mayor, colocándose de modo que los lechos de estratificación queden normales a la dirección de la resultante de las fuerzas. Se labrará cada piedra para llenar lo mejor posible el hueco formado por las piedras contiguas. Antes de asentar una piedra deberán humedecerse los desplantes. Las plantillas y las piedras sobre las que se coloque el mortero. Las piedras se unirán con mortero en la proporción que indique el proyecto, llenando completamente los espacios que queden entre las piedras contiguas; las juntas no deben ser de más de 4 cm ni menor de 2 cm de espesor. Antes de que endurezca el mortero, se vaciarán las juntas de los paramentos visibles hasta una profundidad de 4 cm para entallarlas después. En caso de que una piedra se afloje, quede mal asentada o provoque que se abra una de las juntas, será retirada y después de quitar el mortero del lecho y de las juntas, se volverá a asentar con mortero nuevo, humedeciendo nuevamente el sitio de asiento.

-Las mamposterías de tercera clase se construirán colocando las mejores caras de las piedras hacia los paramentos mostrándolas ligeramente en caso contrario. En los paramentos visibles no se admitirán salientes mayores de 4 cm con relación, al plano teórico. Si las piedras son, de origen sedimentario, se colocarán de manera que los lechos de estratificación queden normales a la dirección de la resultante de las fuerzas de asentar una piedra, esta deberá humedecerse bien; también deberán humedecerse los desplantes, las plantillas y las piedras sobre las que se coloque el mortero. Las piedras se unirán con mortero de cemento o de cal, según señale el proyecto, llenando completamente los espacios que queden entre las piedras contiguas. Se acomodará cada piedra para llenar lo mejor posible el hueco formado por las piedras contiguas. Los vacíos que resulten deberán llenarse totalmente con mortero y piedra chica. Antes de que, endurezca el mortero, se vaciarán las juntas de los paramentos visibles hasta una profundidad de 4 cm para entallarlas después. Las piedras se asentarán teniendo cuidado de no aflojar las ya colocadas. En caso de que una piedra se afloje se deberá proceder según se indicó anteriormente. Salvo que el proyecto indique lo contrario; los parámetros inclinados (escarpe) deberán formar un ángulo con la horizontal no mayor de 60 grados.

La parte de mampostería de tercera clase que pueda quedar cubierta por agua invariablemente se unirá con mortero de cemento, por lo que no se permitirá usar mortero de cal hidratada en polvo o pasta.

Las mamposterías secas se construirán colocando en el desplante las piedras de mayores dimensiones. Si las piedras son de origen sedimentario, de preferencia se colocarán de modo que los lechos de estratificación queden normales a la dirección de la resultante de las fuerzas. Las piedras se escogerán de caras planas y en lo posible de forma prismática a fin de dar un buen asiento, seleccionando para esquinas y extremos de los muros las que mejor se adapten a estos lugares. Las caras menos irregulares de las piedras se aprovecharán para los paramentos. Cada piedra se apoyará solamente cuando menos entre puntos de su sitio de asiento, acufiando las con lajas para afirmar los apoyos de unas con otras, procurando dejar la menor cantidad posible de vacíos. Los huecos en las juntas interiores no deberán ser mayores de 10 cm y en los paramentos visibles serán menores de 5 cm. Las piedras deberán cuatropearse para obtener el mejor amarre posible.

En todas las mamposterías deberán usarse piedras a tizón, distribuidas regular y convenientemente para lograr una mejor trabazón. El área expuesta de estas piedras será por lo menos una quinta parte del área del paramento.



Salvo lo que señale el proyecto u ordene la D.G.S.U. o quien realice el proyecto el juntado del paramento, en las mamposterías de segunda y tercera clase se hará mortero de la misma dosificación que el Utilizado en la mampostería, rellenando y entallando la Junta vaciada hasta el ras de la cara de la piedra. El entallado se hará después de que el mortero de la mampostería haya endurecido, humedeciendo bien la junta y rellenándola con mortero fresco, enrasándola cuidadosamente. El paramento deberá conservarse mojado mientras se entallan las juntas. La superficie junteada deberá conservarse húmeda durante tres días después de terminado el junteo. Finalmente se limpiará todo el paramento y se corregirán los defectos que llegue a tener a fin de darle una buena presentación.

Para dar por terminada la construcción de las mamposterías, se verificarán la sección en su forma y acabado, de acuerdo con el proyecto y lo ordenado por la D.G.S.U. o quien realice el proyecto, dentro de las tolerancias que se indican a continuación:

MAMPOSTERIA

CONCEPTOS	SEGUNDA CLASE	TERCERA CLASE	SECA
a) Base a nivel de desplante Ancho y longitud.	+ 3 cm	+ 5 cm	+ 5 cm
b) Coronamiento al nivel del enrase. Ancho y longitud.	+ 2 cm	+ 3 cm	+ 5 cm
c) Salientes aisladas en los paramentos visibles, con respecto al plano construido.	+ 2 cm	+ 4 cm	+ 5 cm
d) Salientes aisladas en los paramentos no visibles con respecto al plano no construido.	15 cm	15 cm	15 cm
e) Desplome de planos de paramentos con respecto al proyecto.	1: 300	1: 200	1: 200
f) Alineamiento horizontal Un milímetro por metro un centímetro máximo para tramos mayores de 10 metros. Dos milímetros por metro de altura	Aplicable	Aplicable	Aplicable

Medición

Para los conceptos de trabajo a los que se refiere este capítulo, la medición se hará tomando, como unidad el metro cúbico. Como base se considerará el volumen fijado en el proyecto con las modificaciones que sean autorizadas por la D.G.S.U. o quien realice el proyecto



Conceptos de trabajo y bases de pago

(DMA 1) Cimientos de mampostería.- El precio unitario incluye suministro de piedra brasa; materiales para el mortero cemento-arena (1:5), agua y materiales menores de consumo, carga, descarga, acarreo de desperdicios; mano de obra para trazo, nivelación, elaboración del cimiento de piedra brasa y del mortero para asentar ésta; así mismo la herramienta y equipo necesarios para la correcta ejecución del trabajo de acuerdo con el proyecto, así como los indirectos, utilidad del contratista y cargos contractuales adicionales.

La unidad de medición será el metro cúbico, con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según el proyecto.

7.6 Fabricación y colado de concreto

Concreto

Definición y ejecución. se entiende por concreto hidráulico el producto de una mezcla formada de cemento Portland, arena, grava o piedra triturada y agua, dosificados en diferentes proporciones, pudiendo o no tener aditivos que mejoren sus cualidades.

Estas especificaciones definen los requisitos mínimos que deben cumplir los materiales, equipo, mano de obra y procedimientos de fabricación, transporte y acarreo del concreto necesario para la construcción de elementos y estructuras de este material.

El control de la calidad de los materiales empleados en la fabricación del concreto será hecho por el departamento de calidad de la D.G.S.U. o quien realice la obra.

Cemento. Las estipulaciones y requisitos contenidos en las normas DGN C-1975 ASTM C150, serán aplicables al cemento, en todo lo concerniente a su calidad, almacenamiento, manejo, inspección y muestreo. Los diferentes tipos de cemento Portland se usaran como sigue, salvo que el proyecto indique otra cosa:

Tipo I, será uso general cuando no se requiera que el cemento tenga las propiedades aquí señaladas para los tipos II, III, IV y V.

Tipo II, Se empleará, en construcciones de concreto expuestas a la acción moderada de sulfatos o cuando se requiera un calor de hidratación moderado.

Tipo III, Se usará cuando se requiera una alta resistencia rápida a edad temprana.

Tipo IV, Se usará cuando se requiera un calor de hidratación bajo

Tipo V, Se usará cuando se especifique una alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Almacenamiento y manejo de cemento. El cemento que se utilice en las obras de la D.G.S.U. o quien realice la obra, podrá ser suministrado a granel o envasado en sacos, de acuerdo con lo que se estipule en las especificaciones particulares de cada obra.

Solamente se autorizará el suministro de cemento a granel, cuando el Contratista disponga del equipo adecuado para su manejo y almacenamiento. Las facilidades mínimas necesarias serán las siguientes:

a) Equipo de conducción neumática para transferir el cemento del siro del fabricante al vehículo que los transportará, sin que ocurran pérdidas ni alteraciones de su calidad o uniformidad durante dicha transferencia.



b) Vehículos especialmente acondicionados para el transporte del cemento a granel, provistos de receptáculos herméticos e impermeables para alojar el material, sin que sufra pérdidas ni alteraciones de su calidad y uniformidad durante esta transferencia.

c) Equipo de conducción neumática o mecánica para transferir el cemento del vehículo de transporte al silo de almacenamiento en la obra, sin que sufra, pérdidas ni alteraciones en su calidad y uniformidad durante esta transferencia.

d) silos de almacenamiento en la obra o planta de premezclado, hermético e impermeables, carentes de espacios muertos, con capacidad suficiente para disponer continuamente del cemento necesario, de acuerdo con las necesidades de consumo de la obra, y que garantice su conservación durante el período de almacenamiento

Cemento de sacos. Cuando no se reúnan los requisitos necesarios para el manejo de, cemento a granel, solo se autorizará su suministro envasado en sacos de papel originales de la fábrica, con capacidad nominal de 50 Kg cada uno.

El transporte deberá efectuarse en vehículos cuyos recintos destinados a la carga reúnan condiciones que garanticen que el cemento no sufra daños durante las operaciones de carga, transporte y descarga.

En la obra se deberá contar con una o más bodegas de almacenamiento que permitan conservar el cemento sin que éste sufra alteraciones en su calidad durante el período de almacenamiento, las que tendrá capacidad-suficiente para las necesidades de la obra, conforme al programa de construcción.

Las bodegas destinadas al almacenamiento del cemento en la obra deberán contar con accesos adecuados para facilitar las, operaciones de carga y descarga desde, por lo menos, dos puntos diferentes, con la finalidad de permitir el uso del cemento en el mismo orden cronológico de su recepción en el almacén; deberán disponer de área suficiente para almacenar todo el cemento necesario, sin formar pilas de más de 20 sacos y sin que las pilas perimetrales queden a menos de 60 cm de distancia de las paredes y deberán disponer de una buena ventilación y piso de madera. Cuando el piso sea de concreto, podrá autorizarse su utilización si se le colocan tarimas de madera que sirvan de apoyo a los sacos.

No se admitirá para fabricar concreto el cemento que por rotura de sacos se encuentre esparcido dentro de la bodega, destinándosele a obras secundarias, tales como mortero para mampostería o firmes de pisos, siempre y cuando se encuentre limpio y sin mostrar síntomas de hidratación.

Los agregados deberán manejarse y almacenarse en tal forma que se conserven todas las características y propiedades, desde su clasificación hasta su empleo, para lo cual se seguirán las prácticas siguientes:

a) Los agregados deberán dividirse en el mayor número práctico de fracciones, de forma que cada una de ellas sea manejada y almacenada por separado sobre superficies niveladas.

b) Se evitarán almacenamiento de gran altura en forma de pilas cónicas, por lo cual, preferentemente, después de clasificados se almacenarán en tolvas de reducida sección transversal, que en su parte inferior dispongan de compuertas para transportarlos al sitio de almacenamiento en camiones de volteo u otro tipo apropiado.

c) Los almacenamientos en los patios de agregados se harán por capas de poco espesor, con taludes escalonados en forma de terrazas, formando cada capa con el vertido sucesivo de pequeños volúmenes procedentes de la clasificadora.

d) Al tomar los agregados de los almacenamientos, se hará desde diferentes puntos, con la finalidad de propiciar su mezcla al vaciarlos en las tolvas de la planta de fabricación de concreto o en las revolventoras.



e) En los patios de almacenamiento se construirá una plantilla de concreto pobre, o bien, asfalto, suelo-cemento, etc., que sirva de base y evite la mezcla de los agregados con el suelo. Se suministrará un área por separado para cada tamaño gran volumétrico, dejando una distancia apreciable entre los pies de taludes de almacenamientos vecinos. En caso de no disponer de espacio suficiente, se construirán muros divisorios con altura conveniente para impedir la mezcla de diferentes tamaños almacenados próximamente. La plantilla o piso tendrá pendiente, para propiciar el escurrimiento del agua de lluvia.

f) Se limitará al mínimo el tiempo que permanezcan almacenados los agregados, procurando usarlos en su orden cronológico de llegada. Cuando su tiempo de almacenamiento fuere largo, deberán muestrearse antes de emplearlos.

g) Se evitará la rotura de partículas de los agregados, para lo cual no se permitirá su caída libre desde grandes alturas, empleando ya sea escalas para agregados o tubos con forma de cono truncado. Quedará prohibido el tránsito de equipo pesado con bandas tipo oruga sobre los almacenamientos de los agregados.

h) Cuando los Agregados, especialmente la arena hayan sido clasificados por la vía húmeda, se deberá dejar transcurrir un lapso mínimo de 48 horas, para propiciar que su humedad sea uniforme.

Agua. La que suministre el Contratista para ser empleada en la fabricación del concreto, deberá ser razonablemente limpia y estar libre de cualquier cantidad objetable de materia orgánica, álcalis u otras impurezas que puedan causar detrimento a las cualidades del concreto. Deberá prestarse especial atención a que el agua esté libre de aceites y grasas. Las fuentes de abastecimiento del líquido deberán cumplir los requisitos mínimos de calidad estipulados por la Dirección General de Normas.

En el manejo y almacenamiento del agua para el concreto se seguirán las prácticas siguientes, obligatoriamente:

a) Cuando no se disponga de tomas de agua corriente, se almacenará en tanques con capacidad suficiente para el consumo durante un día de trabajo, cuando menos. Los depósitos deberán ser materiales no oxidables y cubiertos para evitar contaminaciones.

b) No se aceptará para la fabricación del concreto el agua que permanezca almacenada durante más de una semana. Los depósitos de almacenamiento deberán vaciarse y limpiarse una vez al mes, cuando menos; periodo que se acortará si se observará tendencia al desarrollo de vegetación acuática. Siempre que fue re notable esta flora, el agua deberá renovarse totalmente, ya que no se aceptará su adición al concreto.

Aditivos. Se aceptarán solo aquellos aditivos que en su forma de presentación original permanezcan en condiciones estables de calidad por un lapso mayor de seis meses, que tengan envases adecuados para conservarse sin deterioro a pesar del manejo que normalmente se le da en las obras, y que no requieran un ambiente controlado de humedad y/o temperatura para su conservación.

Los aditivos líquidos deberán entregarse en recipientes resistentes y rígidos de volumen conocido. No se admitirá su presentación en envases metálicos, cuando el producto sea corrosivo, en cuyo caso deberán ser de plástico rígido.

Los aditivos cuya presentación sea en polvo o escamas y que tengan cualidades higroscópicas, deberán presentarse en envases que lo protejan contra la humedad.

Todos los envases de aditivos deberán tener impresas instrucciones concernientes a las precauciones para su manejo, su preparación, dosificación y aplicación.

Las puzolanas, bentonitas y productos minerales semejantes preparación, dosificación y aplicación.

Todos los aditivos se deberán almacenar en bodegas que reúnan los mismos requisitos señalados para almacenamiento del cemento de estas Especificaciones.



Verificación de los materiales. Diariamente al inicio de los trabajos, se deberá contar con la siguiente información concerniente a los materiales con los que se vaya a fabricar el concreto:

- a) Determinación de las cantidades de agregados, aditivos y cemento que se vayan a consumir en los trabajos del día.
- b) Constancia de que en los almacenamientos próximos a la obra o a la planta de concreto se dispone de una existencia igualo mayor que las necesidades del día.
- c) Composición granulométrica de la arena y de almacenados.

los agregados

- d) contenido de humedad en cada una de las fracciones de agregados almacenados.

Tomando en cuenta los cambios granulométricos y de humedad, el departamento de control de calidad del la D.G.S.U. o quien realice la obra hará los correspondientes ajustes al proporcionamiento del concreto, con las siguientes correcciones.

- a) Por contaminación granulométrica de los agregados, al inicio de cada turno de trabajo y cuando ocurriere un cambio que lo justifique.
- b) Por cambio de granulometría en la arena, cuando el módulo de finura de la misma difiera en exceso de /0.30 respecto a la superficie.
- c) Por cambio de humedad en los agregados, al inicio de cada turno y siempre que ocurriere un cambio que lo justifique.

Revisión y ajustes al equipo. Todos los equipos y facilidades que intervengan en la fabricación, transporte, colocación y compactación del concreto, deberán ser sometidos a revisión y ajustes rutinarios, como a continuación se señala:

- a) Cuando menos una vez por mes, el equipo para pesado del cemento y los agregados deberá calibrarse con pesos conocidos y si se encontraran diferencias fuera de las tolerancias estipuladas, de deberá ajustar el fiel indicador, o bien, preparar una gráfica de calibración. Diariamente antes de iniciar la fabricación del concreto se deberá verificar que las básculas estén limpias y que los pesos a ser dosificados estén acordes con la más reciente calibración de este estudio.
- b) Cuando menos una vez por mes deberán verificarse los dispositivos para medir el agua, extrayendo volúmenes conocidos y haciéndoles los ajustes necesarios para su calibración. Simultáneamente a esta revisión, deberá ejecutarse una limpieza total de los depósitos y conductos, renovando completamente su contenido. Diariamente al iniciarse los trabajos deberá comprobarse el correcto funcionamiento de estos aparatos.
- c) Las mezcladoras de concreto deberán lavarse perfectamente al fin de cada turno de trabajo, o bien, cuando vayan a permanecer inactivas por más de 30 minutos. Deberá inspeccionarse cuando menos una vez por semana, para eliminar cualquier porción de concreto que se hubiere adherido a su interior. Diariamente deberá engrasarse y lubricarse sus partes móviles.
- d) Diariamente se revisará el equipo para transporte del concreto, el cual deberá conservarse siempre limpio y en buenas condiciones de funcionamiento. Cualquier equipo que no reuneire las condiciones adecuadas, a juicio del Ingeniero responsable de la obra, deberá retirarse del servicio.
- e) Al inicio de cada jornada de trabajo deberá comprobarse que la cantidad de vibradores disponibles y su funcionamiento, sean los correctos. Los vibradores serán del tamaño y la frecuencia adecuados para compactar el tipo de mezcla que se vaya a colocar; de preferencia serán accionados eléctricamente o



Verificación de los materiales. Diariamente al inicio de los trabajos, se deberá contar con la siguiente información concerniente a los materiales con los que se vaya a fabricar el concreto:

- a) Determinación de las cantidades de agregados, aditivos y cemento que se vayan a consumir en los trabajos del día.
 - b) Constancia de que en los almacenamientos próximos a la obra o a la planta de concreto se dispone de una existencia igualo mayor que las necesidades del día.
 - c) Composición granulométrica de la arena y de almacenados.
- los agregados
- d) contenido de humedad en cada una de las fracciones de agregados almacenados.

Tomando en cuenta los cambios granulométricos y de humedad, el departamento de control de calidad del la D.G.S.U. o quien realice la obra hará los correspondientes ajustes al proporcionamiento del concreto, con las siguientes correcciones.

- a) Por contaminación granulométrica de los agregados, al inicio de cada turno de trabajo y cuando ocurriere un cambio que lo justifique.
- b) Por cambio de granulometría en la arena, cuando el módulo de finura de la misma difiera en exceso de /0.30 respecto a la superficie.
- c) Por cambio de humedad en los agregados, al inicio de cada turno y siempre que ocurriere un cambio que lo justifique.

Revisión y ajustes al equipo. Todos los equipos y facilidades que intervengan en la fabricación, transporte, colocación y compactación del concreto, deberán ser sometidos a revisión y ajustes rutinarios, como a continuación se señala:

- a) Cuando menos una vez por mes, el equipo para pesado del cemento y los agregados deberá calibrarse con pesos conocidos y si se encontraran diferencias fuera de las tolerancias estipuladas, de deberá ajustar el fiel indicador, o bien, preparar una gráfica de calibración. Diariamente antes de iniciar la fabricación del concreto se deberá verificar que las básculas estén limpias y que los pesos a ser dosificados estén acordes con la más reciente calibración de este estudio.
- b) Cuando menos una vez por mes deberán verificarse los dispositivos para medir el agua, extrayendo volúmenes conocidos y haciéndoles los ajustes necesarios para su calibración. Simultáneamente a esta revisión, deberá ejecutarse una limpieza total de los depósitos y conductos, renovando completamente su contenido. Diariamente al iniciarse los trabajos deberá comprobarse el correcto funcionamiento de estos aparatos.
- c) Las mezcladoras de concreto deberán lavarse perfectamente al fin de cada turno de trabajo, o bien, cuando vayan a permanecer inactivas por más de 30 minutos. Deberá inspeccionarse cuando menos una vez por semana, para eliminar cualquier porción de concreto que se hubiere adherido a su interior. Diariamente deberá engrasarse y lubricarse sus partes móviles.
- d) Diariamente se revisará el equipo para transporte del concreto, el cual deberá conservarse siempre limpio y en buenas condiciones de funcionamiento. Cualquier equipo que no reünire las condiciones adecuadas, a juicio del Ingeniero responsable de la obra, deberá retirarse del servicio.
- e) Al inicio de cada jornada de trabajo deberá comprobarse que la cantidad de vibradores disponibles y su funcionamiento, sean los correctos. Los vibradores serán del tamaño y la frecuencia adecuados para compactar el tipo de mezcla que se vaya a colocar; de preferencia serán accionados eléctricamente o



neumáticamente, y solamente se utilizarán vibradores de motor de gasolina, cuando lo autorice la D.G.S.U. o quien realice la obra.

f) Se inspeccionará sistemáticamente antes de iniciar un colado el buen estado y funcionamiento de las facilidades y herramientas necesarios para el mismo, tales como: caminos y rampas de acceso tolvas y cajas para recibir el concreto, canalones, trompas, agua, energía para iluminación, etc.; todos los cuales, en términos generales contribuirán eficientemente a la producción, transporte y colocación del concreto, propiciando la buena calidad de éste, de acuerdo con lo estipulado en el proyecto.

Dosificación. Invariablemente, la dosificación del concreto será fijada por el departamento de control de calidad de la D.G.S.U. o quien realice la obra, o por el Ingeniero responsable de la obra, cuando aquella delegue tal dificultad en éste. Por lo que respecta a los procedimientos, se sujetarán a las normas a continuación estipuladas:

a) El cemento deberá ser dosificado invariablemente por peso, en forma independiente de los restantes ingredientes del concreto, lechada o mortero al que se aplique. Cuando sea manejado a granel, la dosificación se hará con una aproximación de uno por ciento. si fuere manejado en sacos de 50 Kg, cuando el consumo de obra fuere menor de 3,000 toneladas, podrá permitirse que la dosificación se realice en sacos enteros, con una aproximación del uno y medio por ciento, que es la tolerancia también permisible para el peso de los sacos, estas deberán pesarse.

Quando la obra o grupo de obras vayan a tener un consumo igualo mayor de 3,000 toneladas, será indispensable que el cemento previamente se vierta de los sacos a una tolva o silo, provisto de equipo dosificador de peso, adecuados para dar la aproximación estipulada en el párrafo anterior para el cemento a Granel.

b) siempre que el cemento vaya a ser dosificado por sacos, deberá comprobarse sistemáticamente el peso promedio de 50 sacos tomados al azar de cada lote de 1000 sacos que se reciban en la obra. si el peso promedio así determinado resultará inferior a 50 Kg. deberá ajustarse al proporcionamiento, para que el consumo unitario de cemento no varíe respecto a la dosificación ordenada por el departamento de calidad de la D.G.S.U.

c) Al inicio de las operaciones de cada día de colado, deberá ajustarse la escala de pesadas, de forma que marque siempre cero cuando esté el equipo sin carga.

d) En obras menores que no justifiquen la instalación de una planta dosificador, se deberán emplear revolventoras con capacidad mínima de un saco, mayores con capacidades de sacos enteros, para asegurar que la cantidad de cemento permanezca constante en todas las revoluturas.

e) Cuando surgieren dudas respecto a la calidad del cemento al ser tomado para su dosificación, se deberán tomar muestras del mismo y enviarlas al departamento de calidad para su análisis, dejando pendiente el uso de tal cemento hasta recibir el dictamen correspondiente.

Dosificación de agregados. La dosificación se hará invariablemente por peso en todas las obras que requieran la fabricación de más de 500 m³ de concreto; no obstante, podrá tolerarse que la precisión con que se lleven a cabo las pesadas tengan tolerancias congruentes con la magnitud de las obras, como a continuación se indica:

a) En obras con consumo entre 500 y 5,000 m³ de concreto, podrá permitirse la dosificación de los agregados se haga manualmente en básculas, ya sea en forma independiente o acumulada, con aproximación de un 2%; en cuyo caso se tomarán los agregados directamente de sus almacenamientos para ser pesados, siempre y cuando se compruebe que en su manejo no sufran contaminación ni segregación, pues de lo contrario se exigirá que se depositen en tolvas previamente a su dosificación.



b) Se exigirá el empleo de equipo automático o semiautomático para el pesado y dosificación de los agregados, en todas aquellas obras cuyo consumo fuere mayor de 5,000 m³, exigiéndose una aproximación de 2% cuando cada tamaño de agregado se pese independientemente; en caso contrario, que todos los tamaños de agregados se pesaren acumuladamente en una sola tolva pesadora, la aproximación tolerable será reducida a uno por ciento, aproximación que será también aplicable a la dosificación del cemento, pesado por separado.

Sólo se permitirá la dosificación de agregados midiendo su volumen aparente y no pesarlos, previa aprobación de la D.G.S.U. o quien realice la obra donde el volumen de concreto se vaya a colar no exceda de 500 m³ y siempre y cuando la resistencia especificada para el concreto fuera igualo menor de 200 kg/cm², para cuyo evento serán obligatorios los requisitos siguientes:

- a) Demostrar a satisfacción de la D.G.S.U. o quien realice la obra la incosteabilidad y/o imposibilidad del empleo de un equipo para pesar los agregados en forma manual.
- b) Que los volúmenes se midan mediante recipientes rígidos, con sección transversal constante y que permitan hacer ajustes en los volúmenes por dosificar.
- c) Que la determinación de los volúmenes por medir se haga con base de cantidades en peso, convertidas a volumen mediante los pesos volumétricos conocidos de los agregados, determinados en la obra en las condiciones como se van a dosificar.
- d) Verificar diariamente que los volúmenes manejados para su dosificación correspondan realmente a los pesos previstos, haciéndose los ajustes pertinentes como se van a dosificar.
- e) No se empleará arena cuya humedad varíe en +7-3% de la que tuviere cuando se estudie el proporcionamiento de la dosificación original
- f) Que la mezcla de prueba para el departamento de control de calidad de D.G.S.U. o quien realice la obra se diseñe considerando un coeficiente de variación igual a 25%, o bien con el valor que designe el propio departamento de calidad.

Dosificación del agua. El agua deberá dosificarse mediante dispositivos que tengan una aproximación del 1%, cuando menos, para todas aquellas obras en que el volumen total de concreto sea mayor de 500 m³. Se admitirá su medida en forma volumétrica, siempre y cuando el dispositivo de medición garantice la precisión aquí estipulada y que su operación sea fácil y práctica.

En obras cuya demanda de concreto a colar sea igualo menor de 500 m³ y que reúnan las características señaladas justificantes de la dosificación de agua por volumen, podrá permitirse que el agua se mida por volumen, con tolerancia máxima de 2% respecto a las cantidades calculadas. La medición se hará empleando recipientes de sección constantes, capacidad previamente calibrada, rígidos e impermeables.

Dosificación de aditivos. Solamente serán empleados con la aprobación por escrito de la D. G. S. U. o quien realice la obra o el Ingeniero responsable de la obra por ésta delegado para ello. Podrán dosificarse por peso o por volumen, siempre y cuando se les administre con la aproximación estipulada más adelante, congruentemente con su forma de presentación y las cantidades que deban medirse para incorporarse a cada revoltura.

Se permitirá la dosificación de los aditivos por volumen mediante el empleo de recipientes de calidad perfectamente calibrada, solo en aquellas obras cuyo volumen de concreto sea menor de 500 m³ y que reúnan las características señaladas en el en estas especificaciones, justificantes de la dosificación de los agregados por volumen, en cuyo caso, si el aditivo se administrase en forma líquida, deberán hacerse perforaciones laterales a los recipientes, para que solo puedan dar cabida al volumen especificado para cada revoltura. si el aditivo no fuere soluble en agua se dosificará en forma de polvo, para lo cual deberá hacerse la medición por sacos enteros, como se estipula para el cemento.



Para obras con volumen de concreto comprendido entre 500 y 5,000 m³, se autorizará que los aditivos que se apliquen a la mezcla en forma líquida, sean medidos en forma volumétrica, manualmente, empleando para ello un recipiente perfectamente calibrado de suerte que su volúmetro sea igual a la cantidad que se incorporará a cada mezcla; o bien, utilizando un medidor volumétrico equipado con válvula de operación manual y dispositivo indicador del nivel que permita visualizar con precisión la cantidad de aditivo aplicado. Por su parte, los aditivos presentados en forma de polvo deberán siempre dosificarse por peso o aplicando sacos enteros de peso conocido.

Será obligatorio que la planta de concreto cuente con un dispositivo de operación semiautomático para incorporar los aditivos dosificados a la olla revolvedora, en todas las obras cuyo volumen de concreto sea mayor de 5,000 m³. Tales dispositivos basarán su funcionamiento en la medición directa por volumen, bien sea mediante un medidor de flujo de desplazamiento positivo o por la incorporación de sacos completos.

Tanto los aditivos líquidos como los sólidos solubles en el agua, deberán conservarse en sus envases de origen antes de su aplicación, agitándose para homogenizarlos, inmediatamente antes de su dosificación al concreto. Aquellos cuya presentación sea en forma líquida y que se incorporen a la mezcladora en su concentración original, deberán dosificarse con una aproximación de +7 -2% a un volumen por incorporar. Los aditivos cuya presentación norma 1 sea en estado sólido y que se disuelvan en agua para su incorporación, será mezclados íntima y homogéneamente con esta hasta la concentración especificada por el fabricante y conocida en el momento de su aplicación, la cual se hará con una aproximación conocida.

Los aditivos de presentación en estado sólido que suelen medirse por Kg., como las puzolanas y la bentonita que no se incorporan en solución, deberán dosificarse con la misma aproximación y tolerancia estipulada para el cemento de estas especificaciones.

Los aditivos en estado sólido que se suelen medir en términos de granos, como el polvo de aluminio y otros, deberán mezclarse con cemento al ser dosificados, para que éste actúe como vehículo, mejorando la uniformidad en su distribución dentro de la mezcladora, en cuyo caso la dosificación de la mezcla y cemento se hará con una tolerancia de +7-3% respecto al peso o volumen que debe incorporarse.

Mezclado de los ingredientes. Cuando la dosificación e incorporación de los ingredientes se realice mediante equipo mecanizado de operación ya sea automática o manual se hará conforme a las reglas siguientes:

- a) Los ingredientes del concreto, agregados, cemento, agua y aditivos, en su caso, se incorporarán a la olla revolvedora en forma simultánea, procurando que en el flujo de los materiales haya cantidades proporcionales de cada uno de ellos. Es muy importante cargar del 5 al 10 % de agua antes de incorporar los otros materiales, a continuación de lo cual el agua deberá continuar fluyendo durante todo el periodo de carga, completándose como máximo al llegarse al 25% del tiempo de mezclado que para el caso hubiere sido especificado.
- b) Si no fuere posible cargar simultáneamente todos los materiales, se incorporará a la revolvedora del 5 al 10 % del agua, a continuación de lo cual se cargará la arena y el cemento; después de esto otro 5 al 10% del agua de mezclado y continuación, los agregados gruesos, junto con el agua restante, la cual terminará de cargarse antes de completar el 25% del tiempo mezclado.
- c) Los aditivos, en su caso, se cargarán a la mezcladora en estado líquido, vaciándolos por separado simultáneamente con el agua de mezclado. Tratándose de aditivos en polvo, se habrán mezclado con el cemento previamente cargado a la revolvedora.
- d) si el caso fuere cargar a mano la olla revolvedora, se cargará primero del 5 al 10% del agua, agregando a continuación la arena y el cemento en forma alternada, después de lo cual el agregado grueso y el resto del agua, también en forma alternada. Los aditivos líquidos en su caso, se incorporarán por separado, pero simultáneamente con el agua. si se tratará de aditivo en polvo, se habrán mezclado con el cemento previamente su incorporación a la olla mezcladora.
- e) En aquellos casos en que por la pequeña escala de la obra se hubiere autorizado hacer la mezcla de concreto a mano, se formará primero una pila con los agregados, vaciando el cemento en su parte superior uniformemente distribuido. A continuación, se revolverán los materiales en estado seco y cuando menos dos



veces, partiendo siempre desde la base de la pila original, para formar una segunda. Posteriormente se le agregará al agua mientras se revuelve la mezcla por tercera vez, hasta obtener una pasta homogénea de la consistencia especificada. Solo se utilizarán mezclas fabricadas a mano en trabajos secundarios, como el caso de firmes de concreto, debiéndose incrementar el consumo de cemento en un 10%.

Invariablemente, las ollas revoledoras serán capaces de combinar los ingredientes del concreto, formando una masa homogénea, dentro del tiempo de mezclado especificado para cada caso, y de descargar el concreto sin que sufra segregación.

El tiempo de mezclado no deberá ser menor de 1.5 minutos, cuando las revolturas sean iguales o menores de 1.0 m³ y la mezcla de concreto de consistencia media con más cemento que el promedio de 300 kg/m³ (revestimiento de 10 cm.). Cuando el concreto contenga menor cantidad de cemento que el promedio antes señalado, que su mezcla sea de consistencia seca o con agregados anormalmente ásperos, el tiempo de mezclado deberá incrementarse en un 50%.

Si se tratará de mezclas con agregado grueso de tamaño grande, de bajo contenido de cemento y bajo revenimiento, preparado en mezcladoras con capacidad mayor de 1.0 m³, el tiempo de mezclado mínimo será de 1.5 minutos, más 15 segundos por cada 0.5 m³ o fracción de capacidad adicional.

En todos los casos, el tiempo de mezclado deberá medirse a partir del momento en que todos los materiales sólidos estén dentro de la revoladora y en ningún caso el tiempo empleado en la descarga se computará como parte del tiempo de mezclado. Cuando se pretenda reducir el tiempo de mezclado, se deberá primero determinar el óptimo mediante las pruebas de eficiencia de mezclado.

si el concreto fuere mezclado en el camión revolador, una vez que todos sus ingredientes, incluyendo el agua, se encuentren dentro de la olla, se le darán esta de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado especificada por el fabricante del equipo. En caso que fuere necesario tiempo adicional para el traslado del concreto hasta el sitio de su; colado, la revoladora deberá girar a la velocidad de agitación, con el propósito de mantener la homogeneidad de la mezcla.

Nunca se permitirá que el tiempo de mezclado exceda tres veces el mínimo especificado; tampoco que el tiempo de traslado sea mayor de 1.5 horas, o que la revoladora de mas de 300 revoluciones, según lo primero que alcance.

Eficiencia del mezclado. El concreto elaborado por las revoladoras tendrá como requisitos esenciales que el producto se obtenga con sus materiales uniformemente distribuidos y que la pasta cemento agua cubra satisfactoriamente la superficie de los agregados. Para lo cual las revoladoras se deberán encontrar en todo tiempo, de trabajo en buenas condiciones, diseñadas adecuadamente, especialmente sus aspas; operarias de acuerdo con las especificaciones del fabricante, sin exceder su capacidad y procurando una velocidad óptima de mezclado, llenándolas eficientemente conforme a lo estipulado en estas especificaciones.

En todo el tiempo, el interior de las revoladoras deberá estar libre de acumulaciones de concreto y nunca deberán sobrecargarse en más del 10% de su capacidad especificada por el fabricante respectivo. Las aspas de las revoladoras deberán ser reemplazadas cuando se hayan gastado más del 10% de su altura.

A discreción del Ingeniero responsable de la obra se harán comprobaciones de la eficiencia de la revoladora, determinando variaciones dentro de una misma revoltura. Estas variaciones estarán representadas por las diferencias entre los valores más altos y los más bajos obtenidos de dos muestras representativas de la primera y de la última partes de la revoltura sujeta a ensaye, respectivamente. si se cumplieren cinco de las seis condiciones señaladas a continuación, recomendadas por las normas de la ASTM, se considerará que la revoltura es uniforme y por consiguiente la mezcla eficiente:

Requisitos expresados como las diferencias permisibles máximas en los resultados de ensayos de muestras tomadas de dos lugares diferentes, extremos de la revoltura de concreto sujeta a ensaye



a) Peso volumétrico calculado sobre la base de concreto sin aire:	16 kg/m ³
b) contenido de aire, por ciento en volumen.	1.0
c) Revenimiento:	
-si el promedio fuere de 10 cm o menor:	2.5 cm
-Si el promedio fuere de 10 a 15 cm:	4.0 cm
d) contenido de agregado grueso, expresado como porcentaje por peso de cada muestra, retenido en la malla No.4 (4.76 mm) en %	6.0
e) Peso unitario del mortero sin aire basado en el promedio de todas las muestras comparativas ensayadas, en por ciento:	1.6
f) Resistencia promedio a la, compresión a los siete días de cada muestra, respecto al promedio de las resistencias de las dos muestras comparativas, en % :	7.5

7.7 Acero de refuerzo para concreto

Definición. El acero de refuerzo a que se refiere esta norma, es el que se coloca ahogado en la masa de concreto para soportar los esfuerzos generados por cargas, contracción por fraguado y cambios de temperatura.

Materiales. Los materiales necesarios para el habilitado y colocación del acero de refuerzo deberán cumplir con lo especificado en el proyecto en cada caso y/o lo indicado por D.G.S.U. o quien realice la obra así como con los requisitos de calidad estipulados en la norma vigente de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

Las operaciones necesarias para el habilitado, manejo y colocación de acero de refuerzo deberán ejecutarse con los equipos necesarios y adecuados de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra.

Requisitos de ejecución. El acero de refuerzo debe llegar a la obra sin oxidación perjudicial, a: juicio de D.G.S.U o quien realice la obra, exento de aceite o grasas, quiebres, escamas, hojeaduras y deformaciones de la sección;

El acero de refuerzo deberá almacenarse bajo cobertizos y clasificado según su tipo y sección, protegiéndolo cuidadosamente contra la humedad y alteración química.

El Contratista deberá indicar cuál es el lote de acero que se va a emplear en la obra, para hacer el muestreo y ensaye del mismo, previos al inicio de su habilitado y colocación.

El acero de refuerzo que no cumpla con la calidad señalada en el proyecto será rechazado por la D.G.S.U. o quien realice la obra y el contratista procederá a su marcado y retiro de la obra.

Las varillas deberán corresponder a la clase, diámetro y número indicados en los planos de proyecto autorizados. Todo el acero deberá estar sujeto con amarres de alambre recocido o con el tipo de acero deberán ser cubos de mortero o concreto y silletas de acero o asbesto; para esto no deberán usarse gravas, trozos de madera o pedazos de metal diferente del acero.



Solo se permitirá sustitución del diámetro o grado de refuerzo con autorización escrita por D.G.S.U. o quien realice la obra.

Además del refuerzo que señalan los planos, en columnas, trabes, contra trabes, vigas y losas se dejarán las anclas necesarias para los refuerzos de contravientos y muros, incluyendo varillas que correspondan a dalas, cerramientos y castillos.

Previo al colado, el acero de refuerzo deberá estar libre de óxido suelto, lodo, aceite o cualquier otra capa que destruya o reduzca la adherencia.

Cuando así lo señale el proyecto y/o la D.G.S.U. o quien realice la obra se harán ganchos en el extremo de las varillas; pero el término "gancho estándar" se empleará para designar:

1. Una vuelta semicircular más , una extensión de por lo menos pero no menor cuatro diámetros de la varilla, de 65 mm en el extremo libre de la varilla.
2. Una vuelta de 90° más una extensión de por lo menos doce diámetros de la varilla en el extremo libre.
3. Para anclajes de estribos y anillos solamente una vuelta de 90° o de 135° más una extensión de por lo menos seis diámetros de la varilla, pero no menor de 65 mm en el extremo libre de la varilla.

Diámetro mínimo de doblez. El diámetro del doblez para ganchos estándar, medidos en el interior de la varilla que no se utilice como ganchos de estribos y anillos, no será menor que los valores dados en la siguiente tabla, excepto que en las varillas del número tres (3) al once(11), inclusive, de grado veintiocho (28) con ganchos de ciento ochenta (180) grados solamente, el diámetro mínimo será de cinco diámetros de la varilla.

Número de la varilla	Diámetro mínimo, D
3 a 8	6 diámetros de la varilla
9,10 y 11	8 diámetros de la varilla
14 y 18	10 diámetros de la varilla

El diámetro del doblez para ganchos de dobleces en estribos anillos que no son ganchos estándar, medido en el interior de la varilla, será menor de 40 mm para varillas del No. 3, 50 mm para No.4 y 65 mm para No.5.

Los dobleces para todas las demás varillas tendrán diámetros, en el interior de la misma, no menores que los indicados en el inciso anterior.

Doblado. Las varillas se doblarán en frío; se observará que el doblez no produzca fisuramiento, laminación o desprendimientos superficiales. El doblado en caliente del acero de refuerzo requerirá la autorización previa de la D.G.S.U. o quien realice la obra y la supervisión de personal calificado; no deberá calentarse en ningún caso a más de 530°C, si no está tratado en frío, ni más de 400°C, en caso contrario.

Para las varillas parcialmente ahogadas en concreto, la temperatura de calentamiento deberá estar entre 315 y 400°C. No se permitirá en ningún caso que el enfriamiento sea rápido.

El acero de refuerzo deberá colocarse de acuerdo con lo indicado en el proyecto y/o lo señalado por D.G.S.U. o quien realice la obra tomando en cuenta lo siguiente:

- a) La separación libre entre varillas paralelas de una capa será de un diámetro de las mismas, o .13 veces el tamaño máximo del agregado grueso, pero en ningún caso menor de 2.5 cm.
- b) Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las varillas de las capas superiores deberán colocarse directamente arriba de las que están en las capas inferiores, con una distancia



libre entre capas no menor de 2.5 cm. ,

c) En muros y losas, excepto losas nervadas, la separación del refuerzo principal no será mayor que 3 veces el espesor del muro o de la losa, ni mayor de 45 cm.

d) En elementos que estarán a compresión con refuerzo helicoidal y anillos, la distancia libre entre varillas longitudinales no será menor que 1.5 veces el diámetro nominal de la varilla, ni menor de 4 cm.

e) Los paquetes de varilla no deberán contener más de cuatro dispuestas en forma cuadrada, o triangular para el caso de tres varillas

Los paquetes se sujetarán con anillos de alambre; los ganchos y dobleces de las varillas individuales se localizarán alternados y los cortes se espaciarán por lo menos 40 diámetros de la varilla.

f) En vigas o trabes, las varillas mayores del No.11 no deberán colocarse en paquete.

g) Todas las varillas de refuerzo se deberán recubrir con los espesores de concreto indicados en los planos estructurales o, en su defecto, con los que a continuación se indican:

1. Concreto colado in-situ (no presforzado)	Recubrimiento mínimo, en cm
Colocado en contacto con el terreno y permanente expuesto al mismo	7
Expuesto al terreno o al intemperismo, varillas No.6 a 18	5
Varillas del No 5 o menores	4
<i>No expuesto a intemperismo ni en contacto con el terreno:</i>	
Losas, muros y trabes:	
Varillas del No. 14, Y*18	4
Varillas del No. 11 y* menores	2
<i>Vigas, trabes y columnas:</i>	
Refuerzo principal, anillos, estribos o espirales	4
<i>Cascarones y placas delgadas:</i>	
Varillas del No. 6 y mayores	2
Varillas del No. 5 y menores	1.5
2. Concreto precolado (fabricado bajo las condiciones de control de planta)	
<i>Expuestas al terreno o al intemperismo:</i>	
Tableros por muro	4
Varillas	4
Varillas del No.11 y menores	2

**Otros miembros**

Varillas del No.14 y 18	5
Varillas Nos. 6 al 11	4
Varillas del No.5 o menores	3

No expuesto al intemperismo ni contacto con el terreno:

Losas, muros y trabes:	
Varillas del No.14 y 18	3
Varillas del No.11 y menores	1.5

Vigas, trabes y columnas:

Refuerzo principal El diámetro nominal de una varilla o alambre, pero no menor de 1.5 cm, ni mayor de 4 cm

h) Se podrán aumentar los valores anteriores, si así se especifica en el proyecto, cuando el concreto este en atmósfera corrosiva o para protegerlas del fuego.

i) El recubrimiento especificado para acero longitudinal en columnas no se reducirá en más de 5 mm. El espaciamiento será igual a 1.5 veces el diámetro nominal de la varilla, pero no menor de 4 cm.

j) En muros o losas, excepto losas nervadas, la separación máxima del refuerzo por temperatura, será de cinco veces el espesor de la pieza, pero no mayor de 45 cm.

k) Los cruces la varilla no se fijarán con puntos de soldadura, a menos que esta operación controlada por personal calificado y autorizado por D.G.S.U. o quien realice la obra.

Los empalmes que autorice la D.G.S.U. o quien realice la obra serán de dos tipos: traslapados o soldados a tope, y deberán usarse de acuerdo a lo que señale el proyecto. Salvo otra indicación en una misma sección no se permitirá empalmar más del 50 % de las varillas de refuerzo, observándose las siguientes recomendaciones:

a) No deberán traslaparse varillas mayores que las del No.8, excepto en las zapatas, cuando sean refuerzos de columnas donde se presente tensión. En tales casos, se traslaparán a espigas de menor diámetro ancladas en las zapatas, con las longitudes de traslape correspondientes.

b) En elementos sujetos a flexión, las varillas traslapadas sin contacto entre si no deben separarse más de 0.20 de la longitud de traslape ni más de 15 cm.

c) La longitud de traslape de los paquetes de varillas será la correspondiente al diámetro individual de las varillas del paquete, incrementadas en 20% para paquetes de tres varillas, y 33% para paquetes de cuatro varillas. Dentro de un paquete, las varillas que lo forman no deben traslaparse entre si.

d) Las juntas soldadas a tope deberán tener una resistencia de por lo menos 125 % de la resistencia de fluencia de las varillas soldadas. En zonas de bajo refuerzo, menor de 0.5 fy, se permitirá soldar las varillas a trastape y reducir el esfuerzo de resistencia especificada en este párrafo.

e) En los empalmes a tope, los extremos de las varillas se unirán mediante soldaduras de arco a otro procedimiento autorizado por la D.G.S.U. o quien realice la obra. La preparación de los extremos será como lo fije el proyecto y/o lo señale la D.G.S.U. o quien realice la obra.

f) Cuando el proyecto no señale lo contrario, los traslapes tendrán una longitud de 40 veces el diámetro o lado, para varillas corrugadas; y de 60 veces el diámetro o lado para varilla lisa. Se colocarán en los puntos



de mayor esfuerzo de tensión y no se harán traslapes en lugares donde la sección no permita una separación mínima libre de 1.5 veces el tamaño del agregado grueso, entre empalme y la varilla más próxima.

g) Salvo que el proyecto y/o la D.G.S.U. indiquen lo contrario, los traslapes de varillas en elementos tanto verticales como horizontales se harán de manera que en ningún caso queden alineados.

Todos los pasos para conductos en elementos estructurales Ose reforzarán en su perímetro de acuerdo con los planos. Para los demás casos, se seguirá el criterio siguientes:

a) Cuando el paso sea igualo menor que tres veces el peralte de la losa y no sea intersecado por el acero de refuerzo, se reforzará el paño del claro cercano y paralelo a la trabe con una varilla adicional del mismo diámetro que el acero longitudinal de la losa y con una longitud de anclaje a cada lado del paso, excepto que uno de los paños quede a una distancia del paño de una trabe o muros, igualo menor que 8 veces el peralte de la losa.

b) Cuando el paso sea intersecado por fierro longitudinal, este se terminará con gancho estándar al paño del paso y se pondrá un pasador. Se reforzarán los lados del paso paralelo a la varilla interrumpida, traslapando 40 diámetros en ambos sentidos fuera de los límites del paso.

c) Por ningún motivo será admisible que los pasos queden en los tercios de trabes que nulifiquen o destruyan las sección de compresión o interrumpen el armado principal de tensión. Asimismo, la existencia de pasos en trabes tendrá una ubicación adecuada de acuerdo con la resistencia a esfuerzo cortante de la trabe. si se interrumpen estribos por el paso, estos serán sustituidos, a mitad de la, separación, la parte inferior y superior de la trabe armándolos longitudinalmente con dos varillas No.4 o del mismo diámetro que el armado del lecho inferior y superior, respectivamente.

d) Invariablemente, antes de los colados, todos los pasos deberán dejarse preparados con las dimensiones especificadas, ya que no se permitirá formar un paso después del colado rompiendo o ranurando el concreto.

e) Todos los elementos ahogados en el concreto, como ductos y cajas para instalación eléctrica, anclajes para soporte de elementos posteriores de la estructura, anclajes para soporte de instalaciones, etc, deberán quedar en su posición exacta antes del colado y perfectamente anclados, ya que no se permitirá su colocación posterior.

Salvo otras indicaciones del proyecto y/o de la D.G.S.U. o quien realice la obra, toda reducción de columnas se hará como sigue:

a) Cuando la reducción sea e 5 cm o menor por cualquier o por cada paño, se permitirá "bayonetear" el fierro de la columna más grande en una pendiente máxima de 1:6, terminando el tramo indicado a 2 cm del lecho alto de la losa; desde este punto continuara a 2 cm del lecho alto de la losa desde este punto continuara a plomo hacia arriba, y por dentro del fierro de la columna de menor dimensión una longitud de anclaje a partir del alto de la losa.

Independientemente de los estribos indicados en los planos, dejarán cuatro adicionales a 7.5 cm de centro a centro de la columna de mayor sección, contados a partir del comienzo de la bayoneta hacia abajo.

b) Cuando la reducción por paño sea de 5 cm o mayor, se continuara el fierro de la columna mayor hasta el centro de la sección de la losa y se cortara. Se bajaran anclas en la nueva posición con una magnitud dentro de dos longitudes de anclaje más el peralte de la losa. Las bajaran la mitad dentro de la columna y la otra mitad quedara del eje de la losa hacia arriba para traslaparse con el fierro de la columna de la sección.

Para dar por terminado el armado y colocación del acero de refuerzo, se verificarán sus dimensiones, separación, sujeción, forma y posición, de acuerdo con el proyecto y/o lo señalado por la D.G.S.U. o quien realice la obra, dentro de las tolerancias que se indican a continuación.

a) La suma de las discrepancias medidas en la dirección del refuerzo con relación al proyecto, en losas, zapatas, cascarones, trabes y vigas, no será mayor de dos veces el diámetro de la varilla, ni más de 5 por



ciento del peralte efectivo. En columnas rige la misma tolerancia pero referida a la mínima de sección transversal.

b) En los extremos de las trabes y vigas, la tolerancia anterior se reduce a una vez el diámetro de la varilla.

c) La posición del refuerzo de zapatas, muros, cascarones, trabes y vigas, será tal que no reduzca el peralte efectivo en más de 3 mm más 0.03 del mismo peralte, ni reduzca el recubrimiento en más de 0.5 cm. En columnas, rige la misma tolerancia referida a la mínima dimensión en su sección transversal.

d) La separación del refuerzo transversal de trabes, vigas columnas medidas según el eje de dicho refuerzo, no excederá a las del proyecto en más de 1 cm. más 0.05, ni serán menores de las de proyecto en más de 3mm más 0.03 de la dimensión en la dirección que se considere la tolerancia.

e) El espesor del recubrimiento del acero de refuerzo en cualquier miembro estructural, que no diferirá al de proyecto en más de 5 mm.

f) La separación del acero de refuerzo en losas, zapatas, muros y cascarones, respetando el número de varillas en una faja de un metro de ancho, no diferirá de la proyecto en más de 1 centímetro más un décimo de la separación indicada en los planos.

g) La separación del acero de refuerzo en trabes y vigas, considerando los traslapes, no diferirá de la del proyecto en más de 1 centímetro más 10 % de dicha separación, pero sin sobrepasar el número de varillas y su diámetro, de manera que permita pasar el agregado grueso.

h) La separación del refuerzo transversal en cualquier miembro estructural, no diferirá de la del proyecto en más de 1 centímetro más 10 por ciento de dicha separación.

Medición. Para efectos de pago solo se cuantificará el acero de refuerzo habilitado y colocado según el proyecto y/o instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra No se medirán los ganchos, traslapes ni desperdicios.'

si el contratista con autorización de la D.G.S.U. o quien realice la obra sustituye el acero de refuerzo de la sección indicada en el proyecto por otro de diferente sección, se medirá el indicado en el proyecto.

Las varillas y otros elementos estructurales que se empleen como acero de refuerzo, se medirán tomando como unidad la medición de la tonelada. Como base se tomará el peso que se obtenga de la cuantificación en planos, según datos del proyecto.

La soldadura de varilla a tope se medirá tomando como unidad de medición la junta.

Conceptos de trabajo y base de pago. Suministro, habilitado y colocación del acero de refuerzo. El precio unitario incluye: suministro del acero de refuerzo, alambre recocado para amarres, descarga y desperdicios; mano de obra para manejo, enderezado, trazo, corte, habilitado, colocación y amarres; asimismo incluye herramientas y equipo necesarios para la correcta ejecución del trabajo, de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales adicionales. La unidad de medición será la tonelada con aproximación de dos decimales. Para efectos de pago, se medirá según el proyecto.

Acero de refuerzo $f_y = 2.530 \text{ kg/cm}^2$, de 6.4 mm de diámetro (1/4 pulg. /ton) \$/ton

Suministro y colocación de acero de refuerzo, con $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. El precio unitario incluye: suministro del acero de refuerzo, alambre recocado para amarres, siletas, separadores, traslapes, ganchos, elevación, carga, acarreo, descarga y desperdicios; mano de obra para manejo enderezado, trazo, cortes, habilitado, colocación y amarres; asimismo, herramientas y equipo necesarios para la correcta ejecución del trabajo, de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales adicionales.



La unidad de medición será la tonelada con aproximación de dos decimales. para efectos de pago, se medirá según el proyecto.

Acero de refuerzo grado duro $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ de 7.9 mm de diámetro (5/16 pulg.) $\$/\text{ton}$
Acero de refuerzo grado duro $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ de 9.5 mm de diámetro (3/8 pulg.) $\$/\text{ton}$
Acero de refuerzo grado duro $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ de 12.7 mm de diámetro (1/2 pulg.) $\$/\text{ton}$
Acero de refuerzo grado duro $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ de 15.6 mm de diámetro (5/8 pulg.) $\$/\text{ton}$
Acero de refuerzo grado duro $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ de diámetro (3/4 pulg.) $\$/\text{ton}$

Suministro y colocación de acero de refuerzo con $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. El precio unitario incluye suministro del acero de refuerzo, alambre recocido para amarres, siletas, separadores, ganchos, elevación, carga, acarreo, descarga y desperdicios; mano de obra para manejo, enderezado, trazo, cortes, habilitado, colocación y amarres; asimismo incluye herramientas y equipo necesarios para la correcta ejecución del trabajo de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra así como los indirectos, la utilidad de contratista y los cargos contractuales adicionales.

La unidad de medición será la tonelada con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según indique el proyecto.

Acero de refuerzo grado duro con $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, de 25 mm de diámetro en cimentación y/o estructura cuando por condiciones especiales de proyecto sea necesario usar soldadura en lugar de traslapes: $\$/\text{ton}$;

Suministro y colocación de acero de refuerzo, con $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. El precio unitario incluye suministro del acero de refuerzo, alambre recocido por amarres, siletas, separadores, ganchos, elevación, carga, acarreo, descarga y desperdicios; mano de obra para manejo, enderezado, trazo, corte, habilitado, colocación y amarres, asimismo, incluye herramientas y equipo necesarios para la correcta ejecución del trabajo, de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra, así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales adicionales.

La unidad de medición será la tonelada con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según el proyecto.

Acero de refuerzo grado duro, $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, de 32 y 38 mm de diámetro (1/4 y 1/2 pulg.) en cimentación y/o estructura, cuando por condiciones especiales de proyecto sea necesario usar soldadura en lugar de traslape: $\$/\text{ton}$.

Soldadura de tope de varilla de refuerzo acero grado duro con $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. El precio unitario incluye suministro de la soldadura, elevación carga, acarreo, descarga y desperdicios; mano de obra para biselado previo de las puntas de varilla, colocación de la soldadura en cualquier nivel y posición, m limpieza final, asimismo, incluye herramienta y equipo necesarios, para la correcta ejecución del trabajo de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra, así como los indirectos, utilidad del contratista y cargos contractuales adicionales.

La unidad de medición será la junta. según el proyecto. Para efecto de pago se medirá según el proyecto.

En varilla del No. 8 : $\$/\text{junta}$
En varilla del No. 10: $\$/\text{junta}$
En varilla del No. 2 : $\$/\text{junta}$

Habilitado y armado de acero de refuerzo en pilas. El precio unitario incluye: suministro del acero de refuerzo, alambre recocido ganchos, traslapes, desperdicios, así como los acarreo necesarios hasta los sitios de su colocación; mano de obra de habilitado y colocación, herramienta y equipo necesario para la correcta



ejecución del trabajo, de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U. o quien realice la obra, así como los indirectos, la utilidad del contratista y los cargos contractuales adicionales.

La unidad de medición será la tonelada con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirá según indique el proyecto.

Habilitado y armado de acero de refuerzo, alta resistencia, en pilas de cimentación incluyendo suministro, alambre para amarres, traslapes y desperdicios: \$/kg.

7.8 Formas y cimbras para concreto

Definición y ejecución. Las cimbras a que se refieren estas especificaciones serán estructuradas temporales, empleadas para soportar las formas que contendrán el concreto fresco durante el tiempo que este tarda en alcanzar una resistencia prefijada, antes de retirarlas.

Se entenderá por formas para el concreto, las que se emplearán para confinarlo y amoldarlo a las líneas y niveles especificados por el proyecto, o para evitar que se contamine con material producido por derrumbes o deslices de las superficies adyacentes a las excavaciones en las que aquel sea colado.

La selección de los materiales se hará capitalmente tomando en cuenta la seguridad de la construcción, la economía y el tipo de acabado que se especifique para las superficies del concreto; por lo que las formas y cimbra deberán ser lo suficientemente fuertes para resistir las presiones resultantes del vaciado y compactación correcta, y lo suficientemente fuertes para resistir las presiones resultantes del vaciado y compactación correcta, y lo suficientemente impermeables para evitar fugas de lechadas.

Los materiales que se emplearán como cimbra de contacto o formas para obtener superficies de acabado aparente, deberán ser previamente aprovechadas por la D.G.S.U. o quien realice la obra

De acuerdo a la designación 347- 63 del ACI, se recomienda que los materiales y su forma de uso para cimbras y moldes, sean como sigue:

MATERIAL	USO PRINCIPAL
Placas de acero	Cimbras pesadas, columnas, andamiajes y puntales
Aluminio	Paneles ligeros
Triplay	Acabados aparentes y paneles ligeros
Madera	Andamiaje y acabados diversos.
Papel prensado	Columnas losas y pilotes.
Cartón corrugado	Trabes y losas
Fibra de vidrio	Losas reticulares
Plástico	Acabados aparentes.

Las formas deberán tener un traspale no menor de 2.5 cm. sobre el concreto endurecido previamente colado, y serán sujetadas ajustadamente al mismo, de forma que al hacer el siguiente colado las formas no se abran y permitan desajuste de las superficies del concreto ni pérdidas de lechada en las juntas. Se instalarán



y permitan desalojamiento de las superficies del concreto ni pérdidas de lechada en las juntas. Se instalarán pernos o tirantes adicionales, cuando sea necesario, para ajustar las formas colocadas contra el concreto endurecido.

Las piezas de madera no deberán estar torcidas, ni tendrán nudos, cuando vayan a trabajar a tensión. En ningún caso se permitirá ahogar separadores de madera en el concreto.

En la fabricación de cimbras metálicas no se usarán piezas con defectos de fabricación ni las que presenten superficies corroidas, golpeadas o dañadas por el fuego. Cuando fuere necesario soldarlas, previamente se verificará el tipo de electrodo adecuado para la clase de acero empleado.

Las superficies de los moldes que vayan a quedar en contacto con el concreto, deberán ser del material adecuado para producir el acabado especificado por el proyecto, de acuerdo con las especificaciones particulares del mismo.

Los andamiajes tubulares deberán tener incorporados elementos verticales, diagonales, cabezales y piezas de ajuste, todas las cuales deberán ser firmemente atomillables. En su instalación se seguirán los procedimientos de montaje, desmantelamiento y requisitos de almacenamiento, recomendados por su fabricante.

Previamente a su habilitado e instalación, el contratista deberá presentar para la revisión, aprobación y/o modificaciones, los correspondientes planos, a la D.G.S.U. o quien realice la obra. Una vez aprobados por ésta, su construcción e instalación deberá sujetarse a los indicado en dichos planos.

Las formas deberán estar proyectadas para desmantelarse sin causar daños al concreto durante su retiro.

Deberán instalarse señales para impedir el paso a la zona a personas y vehículos no autorizados; así como andamiajes barandales y plataformas para garantizar la seguridad del personal de construcción.

La obra falsa será construida dejando las siguientes contraflechas en el centro de sus claros, para el caso de trabes rectas y losas planas:

- a) 1/400 del claro libre, en trabes.
- b) 1/200 de la longitud, en el extremo de voladizos
- c) 1/400 del claro corto en losas de tableros interiores.
- d) 1/200 del claro corto en losas de tableros de esquina.

En ausencia de contraflechas especificadas para cimbras de más de 5 m de luz, se calculará con la siguiente fórmula:

Contraflecha = claro / 27200 x profundidad

El claro entre pisos y vigas en cualquier punto en toda la longitud, deberá ser el especificado en los planos.

Se adoptarán las medidas necesarias para dejar en el concreto, los agujeros, ranuras o cajas para líneas, tuberías o cualquier otro inserto mostrado en los planos del proyecto. Tanto el material como la posición de los separadores de la cimbra que pasen a través del concreto, deberán contar con la previa autorización del Ingeniero responsable de la obra y estos deberán quedar con un recubrimiento igual al mínimo señalado en los planos para el acero de refuerzo. Cualquier oquedad que quede sobre la superficie del concreto después



de retiradas las cimbras o algún tirante, se deberá rellenar con un mortero de las mismas características del concreto.

En concretos que vayan a recibir algún recubrimiento para regularizar u ocultar las superficies coladas contra formas, deberán calafetearse las juntas cuyas aberturas no excedan de 10 mm. Este sello que resista sin deformarse o romperse al contacto con el concreto y que no produzca depresiones sin salientes que excedan de las tolerancias geométricas aplicables. Las juntas con aberturas mayores de 10 mm deberán corregirse, cambiando o ajustando las partes de cimbra que sea necesario.

En cimbras profundas y estrechas, tales como muros y columnas, se dejarán ventanas en las paredes de las mimas para hacer la limpieza previa al colado y para depositar el concreto desde una altura que no exceda de 2.0 m.

Las paredes de los moldes que vayan a estar en contacto con el concreto se recubrirá con aceite mineral o grasa antes de cada uso, para evitar la adherencia de la mezcla. Cualquier producto que se aplique a la superficie de los moldes para modificar la textura del concreto, aumentar la durabilidad de su superficie o evitar la adherencia, deberá ser previamente aprobado por el laboratorio. No se usarán agentes retardadores de fraguado superficial, ni cimbras dañadas o deformadas.

Antes de colocar el acero de refuerzo se verificarán la localización, niveles y dimensiones de las formas, y antes del colado del concreto. éstas deberán estar limpias de tierra, basura o cualquier material extraño cuya presencia fuere accidental.

Tolerancia geométricas. Los alineamientos, niveles y dimensiones de los espacios confinados dentro de las cimbras, deberán corresponder a los señalados en el proyecto. Se admitirán las siguientes tolerancias:

a) desviaciones respecto a la vertical:	Tolerancias
En líneas y superficies de columnas, muros y en aristas.	
En tramos hasta 3 m,	6 mm
En tramos hasta 6 mm,	12 mm
En tramos mayores de 6 mm,	25 mm
b) En esquinas aparentes de columnas, ranuras de juntas de control y otras líneas principales,	
En tramos hasta de 6 m,	6 mm
En tramos mayores de 6 m,	12 mm,
c) Desviaciones respecto a niveles o pendientes de proyecto (medidas antes de retirar los puntales de soporte)	
En cimbras para terminado aparente,	1/500 del claro
En cimbras: para terminado común ,	1/300 del claro
d) En dinteles aparentes, parapetos y ranuras horizontales.	
En tramos hasta 6 m.	6 mm
En tramos mayores de 6 m,	12 mm
e) Desviaciones de alineamientos respecto a la posición establecida en planta ya la posición relativa de columnas, muros y divisiones,	
En tramos hasta 6 m,	12 mm



En tramos mayores de 6 m,

25 mm

f) Desviaciones en las dimensiones y localización de las piezas, de acoplamiento y aberturas en pisos y muros,

-6 y + 12 mm

g) Desviaciones en las dimensiones de las secciones transversales de columnas y vigas en el espesor de losas

-6 y + 12 mm

h) Desvíos en zapatas

variación de la dimensión en planta Excentricidad o desplazamiento

-12 y + 50 mm

20% del ancho de zapata dirección del desplazamiento sin exceder de 50 mm.

Cimbras para concreto aparente. En los planos de construcción se deberán indicar las aberturas en la cimbra, así como las juntas de construcción, las de colado o de expansión. Se señalará el tipo del material de contacto y, cuando fuere necesario, el procedimiento constructivo de la cimbra. El retiro de las formas deberá hacerse hasta que el colado alcance una resistencia (cuando menos 48 horas después de terminado el colado) que no se dañen las superficies durante el descimbrado. Las piezas de los moldes deberán ajustar perfectamente, por lo que no se permitirá calafatear sus juntas.

Sistemáticamente, antes de iniciar los colados del concreto, deberá verificar lo siguiente:

- Que los soportes verticales tengan suficiente apoyo, en concordancia con las condiciones del suelo o piso.
- La localización, número adecuado y verticalidad de los puntales, comprobando que éstos estén dotados de rastras y cuñas de ajuste, las cuales deberán estar bien sujetadas.
- Los alineamientos, dimensiones y niveles, de acuerdo con lo estipulado anteriormente en estas especificaciones.
- Atlazamiento diagonal y lateral de marcos puntales. Empalmes y traslapes de pies derechos, largueros, madrinan y puntales; comprobando la firmeza de los costados mediante yugos, separadores y barrotes.
- En su caso, el apuntalamiento de pisos inferiores. Los puntales de pesos superiores deberán coincidir con los de los inferiores, en la misma vertical, hasta llegar al suelo natural.
- Estanqueidad y limpieza de las formas. Correcta colocación del ochovamiento en las arista a menos que los planos no señalen su colocación
- Humedecimiento de la cimbra de madera inmediatamente antes del colocado del concreto.
- Adecuada estructuración de la obra falsa, para resistir presiones laterales del viento o vibraciones por cargas móviles.

Durante y después del colado, se inspeccionará a la cimbra para detectar deflexiones, asentamientos, pandeos o desajustes de las formas o de la obra falsa.

Cuando se considere necesario, se controlará la secuencia y rapidez del colado, para evitar o disminuir excentricidad de cargas debidas al concreto colocado o al equipo que se utilice en su colado.



Descimbrado. Durante el retiro de las formas y cimbras se evitarán choques o vibraciones que dañen en cualquier forma el concreto. En esta etapa no se permitirán cargas de construcción en la zona descimbrada.

Salvo que el proyecto estipule otros valores, los tiempos mínimos para el descimbrado en condiciones medias de temperatura serán los siguientes:

a) Costados de da las y castillos,	24 horas
b) Columnas, muros y costados de trabes,	36 horas
c) Losas y fondos de trabes,	10 a 12 días *
d) Voladizos,	14 a 16 días **

(*) Cuando el concreto alcanza 65% de su resistencia a los 28 días, usando cemento normal.

(**) Cuando el concreto alcanza 80% de su resistencia a los 28 días usando cemento normal.

En caso de usarse cemento de :fraguado rápido, los tiempos indicados en los renglones c) y d), podrán reducirse a la mitad.

Después de retirada la cimbra se dejarán puntuales que soporten el peso del concreto, mas la carga viva considerada durante la construcción.

Los puntuales se retirarán hasta que el concreto alcance su resistencia de proyecto, salvo que las condiciones estructurales se considere que pueden retirarse cuando el concreto alcance el 90% de su resistencia de proyecto, (de 20 a 22 días, aproximadamente) .

En la construcción de cascarones y estructuras de grandes claros, no se retirará la cimbra hasta que el ensayo de los cilindros de concreto representativos del mismo, curados en las mismas condiciones de la estructura, demuestren que han alcanzado la resistencia especificada en el proyecto.

7.9 Limpieza

Conjunto de operaciones realizadas en una obra para desalojar los materiales sobrantes de su construcción demolición, desmantelamiento o desconexión y los escombros resultantes de la misma, así como el aseo durante su proceso ya su terminación, para la entrega de la misma.

Materiales

Los materiales que se utilicen en las limpiezas serán fijados en cada caso por el proyecto y lo por la D.G.S.U. o quien realice la obra, considerando las características de los mismos.

Equipo

El proyecto y/o la D.G.S.U. fijará en cada caso el tipo de limpieza que deberá ejecutarse, para lo cual, se empleará el equipo y herramienta adecuados y necesario previamente autorizados.

Requisitos de ejecución

Los materiales, equipo, herramienta y la mano de obra, deberán ser suministrados por el contratista para la ejecución de las operaciones de limpieza.

Cuando en las limpiezas se incluya la remoción de escombros y de materiales sobrantes se deberá observar, en términos generales, lo siguiente:



- a) Se deberá procurar al remover los escombros y materiales sobrantes, no dañar ni manchar las zonas de las obras a elementos, de éstas que sean circunvecinas.
- b) La carga a los vehículos de transporte, se deberá efectuar lo más próximo a la zona donde se encuentran almacenados provisionalmente los escombros y materiales sobrantes, teniendo cuidado de no dañar la obra terminada.
- c) Cuando los escombros y materiales sobrantes se encuentren depositados provisionalmente sobre un piso ya terminado, se deberá tener especial cuidado al retirarlos, para no dañarlo. Inmediatamente después de retirarlos, el piso deberá ser cuidadosamente barrido. Cuando la D.G.S.U. o quien realice la obra lo ordene se lavará con agua y cepillo.
- d) Cuando los materiales sobrantes sean aprovechables deberán ser clasificados de acuerdo a cada tipo y características. Cuando sean propiedad de la D.G.S.U. o quien realice la obra esta indicará el lugar en que deberán ser entregados acompañados de un inventario.

El proyecto y/o la D.G.S.U. señalará cuando deba utilizarse obra falsa o andamiaje para realizar las operaciones de limpieza.

Sistema de medición

Las operaciones de limpieza, para cada tipo de ellas, se medirán de acuerdo con una de las cuatro modalidades siguientes:

- a) Por longitud, tomando como unidad de medición el metro lineal para cada tipo.
- b) Por superficie, tomando como unidad de medición el metro cuadrado para cada tipo.
- c) Por unidad, tomando como unidad de medición la pieza para cada tipo.
- d) Por conjunto, tomando como unidad de medición el lote para tipo.

Conceptos de obra y base de pago

Limpieza de muros y losas.- El precio unitario incluye: el suministro de los materiales menores de consumo y desperdicios; la mano de obra para la operación del equipo para la limpieza de superficies de concreto a base de chorro de agua a presión, su movilización, retiro, andamiaje, el equipo necesario y adecuado para la ejecución del trabajo, así mismo incluye la herramienta necesaria para la correcta ejecución del trabajo de acuerdo con el proyecto y/o las instrucciones de la D.G.S.U., así como los indirectos y la utilidad del contratista, y los cargos contractuales adicionales. La unidad de medición será el m² con aproximación de dos decimales. Para efecto de pago se medirán las unidades ejecutadas en la obra.



8 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

8.1 Fundamentos del Proceso

8.1.1 coagulación-Floculación

La coagulación se refiere a la adición de químicos en una solución acuosa para combinar pequeñas partículas dispersas en grandes aglomerados que pueden ser removidos por algún otro método, tales como la sedimentación, flotación con aire o filtración. Muchas veces las operaciones de coagulación se emplean para disminuir el nivel de sólidos suspendidos de un agua residual, durante el desarrollo de la operación se obtienen beneficios adicionales por la formación de precipitados que remueven algunos compuestos solubles, como los fosfatos.

La remoción de la turbiedad por coagulación depende de la naturaleza y concentración de los contaminantes coloidales; tipo y dosificación de coagulantes químicos; uso de ayuda coagulantes; y características del agua, tales como pH, temperatura y carácter iónico. Debido a la naturaleza compleja de las reacciones de los coagulantes, el tratamiento químico de aguas se basa principalmente en datos empíricos derivados de estudios de laboratorio y campo.

En la desestabilización de coloides, se han descrito dos mecanismos básicos como auxiliares en la formación de grandes agregados para facilitar la sedimentación. La primera esta referida como coagulación, la cual reduce las fuerzas eléctricas repulsivas en la superficie de las partículas por electrolitos en solución. El segundo mecanismo, conocido como floculación, la cual es una agregación o polimerización, de las partículas por efectos químicos.

8.1.1.1 coagulantes

Los coagulantes más comúnmente usados para el tratamiento de agua y agua residual son las sales de aluminio y de hierro. La sal del metal más común es el sulfato de aluminio, el cual es un buen coagulante para aguas que contienen una apreciable cantidad de materia orgánica. Los coagulantes de hierro operan sobre un rango amplio de pH y son generalmente mas efectivos en la remoción de color del agua; sin embargo, son usualmente más costosos. Los poli electrolitos catiónicos pueden servir como coagulantes primarios, pero su aplicación típica es como un ayuda coagulante. Los ayudas convencionalmente adoptados para coagulantes metálicos incluyen cal, carbonato de sodio, silica activada y poli electrolitos.

La elección final del coagulante y ayudas químicos para una agua particular debe ser basado en pruebas de control de coagulación, experiencias anteriores en tratamiento de agua de calidad similar y un análisis total de los costos involucrados.

8.1.1.2 Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es el coagulante estándar usado en tratamiento de agua. La concentración del producto comercial se encuentra entre el 15 y 22% como Al_2O_3 con una hidratación de casi 14 moles de agua. Una formula usada para el alumbre es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O$ con un peso molecular de 600. El material es transportado y alimentado en forma granular, si es que se encuentra en forma de sólida.

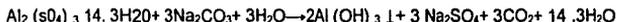
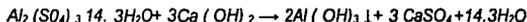
El sulfato de aluminio reacciona con la alcalinidad natural en el agua para formar un floculo de hidróxido de aluminio.



Cada mg/l de alumbre disminuye la alcalinidad en el agua en 0.50 mg/l (como $CaCO_3$) y produce 0.44 mg/l de dióxido de carbón. La producción de CO_2 es indeseada ya que incrementa la corrosividad del agua.



Si el agua no contiene suficiente alcalinidad para reaccionar con el alumbre, se debe alimentar con carbonato de sodio para proporcionar la alcalinidad necesaria.

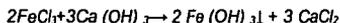
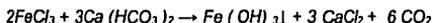


Una ventaja del empleo de carbonato de sodio es que a diferencia de la cal, no incrementa la dureza del agua, solo la corrosividad. La cal, más popular, es menos costosa que el carbonato de sodio.

La dosificación de alumbre usada en el tratamiento de aguas residuales municipales se encuentra entre 5-50 mg/l. El rango de pH para una coagulación efectiva esta entre 5.5 y 8 unidades.

8.1.1.3 Cloruro Férrico.

El sulfato y cloruro férrico se encuentran disponibles como coagulantes bajo una gran variedad de marcas comerciales. Las reacciones de estas sales con alcalinidad natural y con cal se muestran enseguida.



Las ventajas de los coagulantes férricos son: 1) la coagulación es posible dentro de un rango muy amplio de pH, generalmente entre 4 y 9 unidades para una gran variedad de aguas; 2) el precipitado que forma es un floculo pesado y totalmente sedimentable; 3) es más efectivo en la remoción de color, olor y sabor.

El cloruro férrico se suministra ya sea en forma cristalina o líquida. Aunque el cloruro férrico puede ser usado en el tratamiento de aguas de suministro, su más frecuente aplicación es en aguas residuales.

8.1.2 oxidación Química

La oxidación química es un proceso en el cual el estado de oxidación de una sustancia se incrementa. En forma contraria, la reducción química es un proceso en el cual el estado de oxidación se reduce.

En las reacciones de óxido-reducción en compuestos inorgánicos simples, la oxidación es equivalente a pérdida de electrones y la reducción a ganancia de ellos. Esta definición no es directamente aplicable a reacciones orgánicas.

Lavoisier originalmente describía la oxidación como la adición de oxígeno a una sustancia química para formar un óxido. Clark (1960) atribuyó la oxidación de compuestos orgánicos a las siguientes reacciones: 1) adición de oxígeno, 2) salida de hidrógeno o 3) salida de electrones, con o sin salida de protones.

El propósito de la oxidación en el tratamiento de aguas residuales es el de convertir los compuestos orgánicos indeseables en compuestos inertes y de cadena corta principalmente CO₂ y agua. Aunque se ha encontrado que ninguno de los oxidantes en la práctica realiza los procesos de oxidación en forma total. La molécula de fenol tóxica, por ejemplo, puede ser oxidada cuantitativamente a di óxido de carbón y agua con un agente oxidante fuerte, dependiendo del oxidante y de las condiciones de oxidación, sin embargo, durante el proceso se forman compuestos de mucha menor toxicidad. La oxidación absoluta de estos compuestos no es totalmente requerida, ya que nos es justificable desde el punto de vista económico.

Debido a que oxidante que se empleara en el tratamiento es el peróxido de hidrógeno cabe mencionar algunas de sus características principales.



El peróxido de hidrógeno es uno de los productos más versátiles disponibles en la actualidad, seguro y deseable desde el punto de vista del medio ambiente. La seguridad y eficiencia de sus operaciones han conducido al desarrollo de numerosas aplicaciones. Por ejemplo, el peróxido de hidrógeno se usa como un agente oxidante en la obtención de productos químicos orgánicos e inorgánicos, como un agente de blanqueo en la industria textil o de celulosa y papel, y también en el tratamiento de desechos industriales y municipales. Debido a las propiedades favorables del peróxido de hidrógeno, se han logrado desarrollar un sin número de aplicaciones.

El peróxido de hidrógeno reduce la demanda química de oxígeno (DQO) de varios compuestos orgánicos e inorgánicos. Las aguas residuales normalmente contienen contaminantes que contribuyen a la DQO. En casos donde no existen datos específicos para el tratamiento, se recomienda realizar pruebas de laboratorio para determinar las condiciones óptimas necesarias para reducir la DQO. Algunas de las variables que se pueden manejar son; pH, concentración y dosificación de peróxido de hidrógeno, catalizadores y temperatura. Un mg/l de peróxido de hidrógeno (base 100 %) ocasionará una reducción de 0.47 mg/l de la DQO a una eficiencia del 100%. ciertos compuestos, por ejemplo, el sulfito de sodio son fácilmente oxidados por peróxido de hidrógeno a altas eficiencias sobre un amplio rango de condiciones. El ácido acético es un ejemplo de un compuesto orgánico difícil de oxidar y requiere el uso de la reacción de Fenton. Esta es una reacción de radicales libres de peróxido de hidrógeno que requiere condiciones ácidas y un metal de transición como catalizador, sales de hierro por ejemplo. Estas condiciones resultan en una alta tasa de generación de radicales libres. Los radicales libres atacan agresivamente una gran variedad de compuestos orgánicos.

La reacción de Fenton se debe realizar con un ligero exceso de peróxido de hidrógeno con concentraciones de hierro en el agua residual de 10 a 2,000 mg/l ya un rango de pH de 3.0 a 5.5 unidades.

La cantidad de peróxido remanente debe ser evaluada y cuantificada antes de correr un prueba de DQO con dicromato. si existe algún remanente de peróxido, éste interferirá con la prueba de DQO por reducción del dicromato. Esto producirá un valor aparente de DQO que es mayor a la DQO inicial. Por cada mg/l de peróxido remanente se deben restar 0.47 mg/l de la DQO total para obtener la DQO verdadera. Un procedimiento alternativo es descomponer el exceso de peróxido de hidrógeno por tratamiento con una base a un pH de 13-14 y/o calentando la muestra. Un agente reductor como el meta sulfito de sodio puede ser empleado para destruir el peróxido de hidrógeno, pero se debe tener cuidado de no emplearlo en exceso ya que como agente reductor interfiere en la prueba de DQO. Una técnica no destructiva es el uso de enzimas de catalasa a temperatura ambiente y pH neutro.

8.2.1 Descripción del Proceso

El sistema de tratamiento de lixiviados esta dividido en varios procesos unitarios, cada uno de ellos cumple una función específica dentro de la secuencia de tratamiento.

Para obtener las condiciones óptimas de operación de cada proceso involucrado fue necesario desarrollar un gran número de pruebas a nivel laboratorio.

El proceso de tratamiento inicia con la captación y conducción de los lixiviados generados en las etapas 1 y 2. La captación se realizará colocando en una cepa una línea de polietileno de alta densidad corrugada de 4" de diámetro protegido con un filtro. El lixiviado es conducido hacia un registro de control en el cual se encuentran instaladas válvulas para control de caudal, la conducción se realizará por gravedad ya que las tuberías tendrán pendiente hacia los registros de control.

El lixiviado ya dentro de la planta será bombeado hacia un tanque, en el cual se llevará a cabo la adición de ácido sulfúrico hasta un pH de 1.5 unidades.



El lixiviado acidificado será alimentado por gravedad hacia otro tanque en el cual se recuperará el pH hasta un valor de 6.5 unidades mediante la adición de hidróxido de sodio al 30%. Este reactivo será preparado dentro* de las planta en el tanque construido para tal fin.

El lixiviado ya acondicionado para la coagulación será alimentado a un tanque de mezclado rápido en el cual se adicionaran los coagulantes, sulfato de aluminio y cloruro férrico.

Posteriormente se transfiere el líquido hacia un recipiente en el cual se llevará a cabo la floculación se las partículas en suspensión y en forma coloidal.

El siguiente paso consiste en permitir la separación de los sólidos, para tal efecto se alimenta la solución al sedimentador de alta tasa. En este proceso se obtiene un efluente clarificado con un pH ácido y una alta concentración de sales de hierro disueltas.

Después de la sedimentación el lixiviado se somete a una oxidación química con peróxido de hidrógeno, esta reacción se realiza con mayor eficiencia empleando algún metal de transición y condiciones ácidas como catalizador, coincidentemente estas condiciones se obtienen del efluente de la coagulación.

Ya que se llevo a cabo la oxidación, el siguiente paso consisten eliminar el hierro en exceso, para tal efecto se adiciona hidróxido de sodio, con la finalidad de precipitar el hierro como hidróxido, el cual se separa en un sedimentador de alta tasa.

El sistema de tratamiento de lixiviados finaliza con una filtración posterior a la segunda sedimentación. El proceso concluye con el deshidratado de los lodos producidos en los dos sedimentadotes que integran el tratamiento y el agua de retrolavado de los filtros.

8.2.2 Parámetros de diseño

Cuando se diseña una planta, el proyectista debe apoyarse en valores recomendados para ciertas características de la planta; por ejemplo el tiempo de retención hidráulica, el cual se emplea para dimensionar los tanques en que se lleva a cabo el tratamiento.

Dichas características son comúnmente llamados parámetros de diseño y sus valores son dictados tanto por experimentación en escala piloto, como por la experiencia operacional de que se disponga.

Una vez construida la planta y alcanzado el estado operativo, estos parámetros sirven para evaluar el funcionamiento y algunos de ellos para controlar la operación.

Los parámetros de diseño que se emplearon para realizar el dimensionamiento de los equipos fueron evaluados a nivel laboratorio y posteriormente comprobados en una planta continua a escala piloto.

En cada uno de los procesos involucrados se determinaron las condiciones de operación; tiempo de retención hidráulica, dosificaciones de reactivos, tipos de mezclado y valores óptimos de pH.

8.2.3 Factores que Afectan al Proceso

En términos generales el buen funcionamiento de la planta se basa en el estricto control de parámetros fundamentales en cada uno de los procesos que componen el sistema de tratamiento.

pH. - Es importante mantener los valores de pH dentro de un rango mínimo de variación, ya que de otra forma no se obtienen los resultados esperados en las etapas subsecuentes.



En la etapa de acidificación es fundamental mantener el valor del pH en 1.5 unidades, ya que de esta forma se asegura la total desnaturalización de la materia orgánica y con ello se adecua para el tratamiento de coagulación.

En la neutralización el pH de operación es 6.5 unidades. A pesar de que el cloruro férrico puede ser empleado para coagulación dentro de un rango muy amplio de pH, para este tratamiento se encontró que los mejores resultados de remoción de contaminantes se obtienen: en el valor arriba señalado.

Dosificación de reactivos. Es primordial mantener la dosificación de reactivos indicada ya que de otra forma se afectarían en forma importante los valores de pH para las dos primeras etapas del tratamiento y en la eficiencia de remoción de contaminantes para la etapa de coagulación.

Concentración de Reactivos. Al igual que en la dosificación de reactivos, es importante manejar las concentraciones de reactivos recomendadas, ya que de otra forma el proceso se alteraría si es que no se contempla un cambio en la dosificación. En caso de modificar la concentración de algún reactivo se debe modificar la dosificación volumétrica con objeto de mantener los requerimientos de cada compuesto. Cabe destacar que un incremento en la concentración del hidróxido de sodio podrá ocasionar taponamiento de las líneas de conducción y cristalización en el tanque de preparación si es que en algún momento se detiene la agitación.

8.3 Planta de Tratamiento de Lixiviados, operación y Mantenimiento Preventivo.

El contenido de esta sección tiene fundamentalmente los siguientes objetivos:

- a) Permitir la adecuada identificación de equipos, dispositivos y/o aditamentos que integran la planta. Con este objeto se presenta una descripción breve de las diferentes etapas de tratamiento y su localización en la planta, así como las características del lixiviado influente y los colectores que la captan y conducen hacia ella.
- b) Ayudar al operador a ordenar y sistematizar las actividades que debe realizar para poner en funcionamiento una o varias etapas y/o equipos de tratamiento. Para tal efecto se presentan las secuencias de operación respectivas para cada una de las etapas del proceso con que opera la planta, así como algunas guías de mantenimiento preventivo.

Para obtener el máximo aprovechamiento de esta sección se sugiere recurrir inicialmente, al plano correspondiente a la etapa de tratamiento que se desea operar, el cual se presenta Junto con su descripción respectiva. Posteriormente consultar su diagrama de flujo que incluye las secuencias de operación numeradas desde la alimentación del lixiviado a la etapa de tratamiento hasta la salida de la misma. Una vez que se ha visualizado el o los números de secuencia a seguir para poner en funcionamiento los diferentes equipos que conforman dicha etapa, se llevarán a cabo las actividades sugeridas en las guías, las cuales se refieren principalmente a abrir (parcial o totalmente) válvulas de: alimentación, dosificación, purga y recirculación, así como arrancar motorreductores, motobombas y otros equipos electromecánicos, para lo cual se proporcionan los planos de localización de válvulas.

8.3.1 Descripción de la Planta

8.3.2 Localización

La planta de tratamiento de lixiviados generados en la 1a y 2a etapas del relleno sanitario de Bordo Poniente se encuentra ubicada el sitio de disposición final del mismo nombre, en la Zona Federal del Ex-lago de Texcoco, ocupa un área de 1,365 m² aproximadamente, al norte y oriente esta limitada por la primera etapa del relleno, al sur y poniente. por la vialidad de acceso a la segunda etapa y camino federal.



8.3.3 Características Generales

La planta está diseñada para tratar un caudal total de 3 l/s, en dos módulos, de 1.5 l/s cada uno, mediante un proceso fisicoquímico. El tren de tratamiento consta de: acidificación, neutralización, coagulación-floculación-sedimentación, oxidación química, precipitación-sedimentación de hierro y filtración.

Además cuenta con equipo e instalación para el deshidratado de los lodos generados por los procesos de coagulación-sedimentación y precipitación-sedimentación.

8.3.4 sistema de Captación y Conducción

La planta es abastecida por un sistema de captación y conducción de lixiviados generados en cada una de las dos etapas. En cada etapa existe un sistema de captación, en la parte más cercana a la planta se ubica un registro con un par de válvulas, con las cuales se puede controlar el caudal de lixiviados hacia la planta. El sistema de captación esta compuesto por tubería de polietileno de alta densidad perforada de 4" de diámetro. De cada registro de control sale una línea de estru pak de 4" de diámetro, por gravedad descargan al cárcamo de bombeo de lixiviados. Por otro lado cabe destacar que la planta también puede ser abastecida por el lixiviado almacenado en la laguna cercana a la tercera etapa.

8.3.4.1 Caracterización de Lixiviados Influyente

En función del tipo y concentración de parámetros y algunos otros datos generados en el análisis, como lo son las relaciones que se muestran en la misma tabla, se puede clasificar este lixiviado como altamente contaminado.

A excepción del pH todos los parámetros sobrepasan los límites establecidos para aguas residuales muy contaminadas, estos valores podrían tener semejanza con algún tipo de desechos industriales.

8.3.5 Alimentación y conducción del lixiviado hacia la Acidificación

El influente a la planta llega por gravedad directamente de los registros controladores de flujo instalados en cada una de las dos etapas. El caudal es controlado por una válvula de compuerta de 4" colocada dentro del registro de mezcla de lixiviados. Esta obra se encuentra fuera de la planta, dentro de él existe la interconexión entre las 11neas de conducción provenientes de cada etapa, esta obra permite controlar el caudal influente sin necesidad de que el operador se desplace a los registros de cada etapa. Asimismo es posible cerrar el paso del lixiviado hacia la planta y poder descargar hacia una posible laguna de regulación de lixiviados..

El lixiviado entra a la planta conducido por una línea de 4" de diámetro de estru pak y descarga al cárcamo de bombeo, de aquí el influente es bombeado hacia los tanques de acidificación con una bomba centrífuga de 2 HP de potencia.

8.3.5.1 Secuencia de operación

La secuencia de operación para cada proceso se indicará de aquí en adelante, cabe mencionar que toda la secuencia esta referida al primer módulo del tratamiento, para poner en funcionamiento el segundo módulo, únicamente se tendrán que operar las válvulas y equipos correspondientes a cada etapa del tratamiento con la misma secuencia, salvo indicación contraria.

1.- Ya la válvula VI-01, localizada dicha válvula, ésta se abre totalmente para permitir la entrada de lixiviado hacia el cárcamo de bombeo. Este cárcamo cuenta con un sistema de electro niveles de burbuja, al momento de alcanzar el nivel máximo de almacenamiento la bomba de alimentación se pondrá en funcionamiento automáticamente, para tal efecto es necesario que el interruptor termomagnético de la bomba EB-01 se



encuentre cerrado. El sistema de alimentación de lixiviados contempla únicamente el empleo de un equipo de bombeo para los dos módulos. El otro equipo se encuentra en espera.

2.- Con la válvula VCI-O1 controlar el caudal y manejarlo a 1.5 lps, para tal efecto se podrá emplear el indicador totalizador de flujo IF-O1 instalado en la línea de alimentación. Una vez estabilizado el caudal, se mantiene en operación el equipo de bombeo hasta que el tanque de acidificación alcance su nivel máximo, en ese momento se para la alimentación y se procede a realizar la acidificación. Cabe mencionar que esta operación solo se realiza en el arranque y puesta en marcha de la planta.

3.- Ya que el tanque se encuentra a su máximo nivel, cerrar los interruptores de la bomba dosificadora de ácido sulfúrico, BDA-O1, del indicador controlador de pH, ClpH - O1 y del agitador EAA-O1.

4.- Al entrar en funcionamiento el controlador ClpH-O1 automáticamente entrará en operación la bomba dosificadora con equipo de seguridad, guantes y pechera antiácido y goggles. El operador ajustará la dosificación aumentando o disminuyendo la carrera del émbolo de la bomba BDA-O1, hasta obtener un flujo de 13.5 ml/s o bien 0.81 lpm, para lograr esto el operador se ayudará de una probeta graduada de 1000 ml.

El ajuste de la dosificación de ácido se realiza manualmente, para tal efecto será necesario que el operador se proteja con equipo de seguridad, guantes y pechera antiácido y goggles. El operador ajustará la dosificación aumentando o disminuyendo la carrera del émbolo de la bomba BDA-O1, hasta obtener un flujo de 13.5 ml/s o bien 0.81 lpm, para lograr esto el operador se ayudará de una probeta graduada de 1000 ml.

Una vez alcanzada la dosificación el operador esperará hasta que el valor del pH en el líquido sea de 1.5 unidades, en ese momento pondrá en funcionamiento la bomba de alimentación de lixiviados para iniciar la alimentación hacia el tanque de neutralización.

8.3.6 Neutralización

El proceso de neutralización consiste en aumentar el valor del pH del líquido proveniente de la etapa de acidificación, para tal efecto se emplea una solución de hidróxido de sodio al 30%. Esta solución deberá ser preparada antes de iniciar la secuencia de arranque de la planta.

Se prepararán 1.17 m³ de hidróxido de sodio en uno de los tanques de preparación de este reactivo, para tal efecto se descargarán 14 sacos de sosa en escamas en el recipiente, posteriormente se adicionarán 1.17 m³ de agua, hasta la marca del tanque. Una vez lleno el recipiente se pondrá en funcionamiento el agitador EPS-O1 hasta la completa disolución de la sosa en el agua y permanecerá en funcionamiento mientras el impulsor se encuentre sumergido mínimo 30 cm dentro del líquido.

8.3.6.1 Secuencia de operación

1.- Esperar a que el tanque alcance su máxima capacidad con el lixiviado acidificado y en ese momento parar la alimentación del influente.

2.- Cerrar los interruptores del agitador EAN-O1, de la bomba dosificadora BDS-O1 y del control indicador de pH ClpH-O2 cuidando de mantener en este equipo en operación solo para el módulo 1. Debido a que el sensor de pH detectará un valor inferior a 6 unidades automáticamente pondrá en funcionamiento la bomba BDS-O1.

3.- Ajustar el flujo de sosa empleando el procedimiento descrito en el punto 4 del inciso anterior. El caudal a manejar es de 14.4 ml/s o bien 0.864 lpm, para ello se modificará la carrera del pistón del equipo BDS-O1 y se empleará una probeta graduada de 1000 ml. Las alarmas para paro y arranque la bomba se activan a valores de pH de 6 y 7 respectivamente. El valor de pH de operación es de 6.5 unidades.



4.- Una vez alcanzada la dosificación de reactivo y el valor del pH, poner en funcionamiento la bomba de alimentación de lixiviado crudo asimismo cerrar los interruptores de la dosificación de ácido. A partir de este momento la operación deberá ser continua.

8.3.7 Mezcla Rápida

En esta etapa se realiza la adición de los coagulantes, cloruro férrico y sulfato de aluminio, con la finalidad de promover la desestabilización de cargas superficiales de las partículas y promover la formación de flocúlos en la etapa siguiente del tratamiento.

8.3.7.1 Secuencia de operación

En los tanques TAF-01 al 03 se encuentra almacenado el cloruro férrico al 50%, mientras que en los tanques TAA1-01 a 03 se almacena el sulfato de aluminio al 30%. El primer paso consiste en abrir las válvulas VC-01 para el paso de $FeCl_3$ y la Val-01 para el $Al_2(SO_4)_3$, en seguida se ponen en funcionamiento las bombas dosificadoras de ambos reactivos, la BDC-01 y la BDAI-01.

Se calibra el gasto de alimentación que debe ser de 3 ml/s o bien 0.18 lpm de cloruro férrico y de 4.95 ml/s o bien 0.297 lpm de sulfato de aluminio. Para realizar la calibración el operador se deberá modificar la carrera del émbolo de la bomba y se ayudará con una probeta graduada de 500 ml. Una vez obtenida la calibración de los caudales a manejar y observando que el nivel de líquido dentro del tanque es suficiente para que el impulsor del agitador este sumergido dentro de él, se procederá a poner en funcionamiento el agitador EAMR-01.

Una vez alcanzadas las condiciones de estabilidad, la operación de este proceso consiste en checar que la dosificación de reactivos sea la deseada. El efluente de este proceso descargará por la parte superior para alimentar a la siguiente etapa.

8.3.8 coagulación

En el tanque de coagulación se lleva a cabo el agregado de las partículas para formar flocúlos de tamaño suficiente para poder ser removidas por sedimentación por gravedad.

8.3.8.1 Secuencia de Operación

La operación de este sistema se reduce a poner en funcionamiento el agitador EAC-01 y cuidar su buen funcionamiento.

8.3.9 Sedimentación

En esta fase del tratamiento se lleva a cabo la separación del líquido de los flocúlos formados en la etapa de coagulación. Para tal efecto se dispone de un sedimentador de alta tasa, cuadrado y con cuatro tolvas. en el fondo para colección de lodos, cada tolva tiene un dren de 4" de diámetro que se interconectan en una sola línea que conduce los lodos de purga hacia el cárcamo de bombeo de lodos.

8.3.9.1 Secuencia de Operación

- 1.- La operación de este sistema se reduce a realizar purgas de lodos. En principio se piensa que deberán realizarse cada seis horas, sin embargo esta práctica deberá perfeccionarse durante la operación de la planta.
- 2.- Las purgas se deberán realizar cuando el colchón de lodos exceda los 50 cm sobre el nivel máximo de las tolvas y terminará en el momento que el colchón se encuentre 30 cm sobre el nivel mínimo de la tolva.



3.- Para realizar la purga se deberá abrir a la mitad de la abertura total la válvula VPP-01, para tal efecto se contarán las vueltas del volante hasta el tope final y se regresarán cuantas vueltas sean necesarias para mantener la abertura media. Se recomienda que el tiempo máximo de drenado sea de 10 minutos, aunque esto último así como la posición de la válvula se determinará prácticamente de acuerdo con las consideraciones del punto anterior.

4.- Para cuantificar el volumen de purga será necesario medir la diferencia de niveles entre el nivel máximo de líquido y el mínimo alcanzado durante la purga. Una vez obtenido este valor deberá ser multiplicado por 6.76 (m²) que es el área del tanque. El tiempo de drenado se multiplicará por el gasto de alimentación (1.5 lps o 0.0015 m³/s), el producto de estas dos operaciones se sumará y el resultado serán los m³ de lodos purgados.

5.- Ejemplo de aplicación. Si el operador purga durante 10 minutos y obtiene una diferencia de niveles de 0.05 m, el volumen drenado es el siguiente:

$$VOL_{nivel} = 6.76m^2 * 0.05m = 0.338m^3$$

$$VOL_{caudal} = 0.0015 m^3/s * 600s = 0.9m^3$$

El volumen total purgado será de:

$$VOL_{nivel} = VOL_{purga} = 0.9m^3 + 0.338m^3 = 1.238m^3$$

8.3.10 Oxidación Química

La oxidación química se llevará a cabo empleando peróxido de hidrógeno al 50%, para tal efecto se dispone de cuatro tanques de almacenamiento de 10 m³ de capacidad cada uno. A nivel laboratorio se encontró una dosificación óptima de una parte de DQO por cinco de peróxido, esta relación deberá ser evaluada en la planta nivel real y de ser necesario efectuar las modificaciones pertinentes.

8.3.10.1 Secuencia de operación

- 1.- Abrir la válvula de alimentación de peróxido VCP-01 y poner en funcionamiento la bomba BDP-01, para tal efecto será necesario cerrar el interruptor de este equipo.
- 2.- Ajustar el flujo de alimentación, para tal efecto será necesario que el operador cuente con el equipo de seguridad indispensable, guantes y pechera antiácido y goggles.
- 3.- Se deberá calibrar la dosificación a 18.7 ml/s o bien a 1.125 lpm, para tal efecto operador disminuirá o aumentará la carrera del émbolo de la bomba dosificadora y se ayudará con una probeta graduada de 1000 ml.
- 4.- La operación en condiciones estables consiste en mantener el flujo de alimentación en el valor requerido.

8.3.11 precipitación de Hierro

La precipitación consiste en adicionar hidróxido de sodio al 30% al efluente para eliminar el hierro que se encuentra en exceso por la adición de una alta cantidad de cloruro férrico en la coagulación.

El reactivo que se empleará es el mismo que se alimenta en la etapa de neutralización.

8.3.11.1 Secuencia de operación

1.- Abrir la válvula VSP-01 y poner en funcionamiento el equipo controlador indicador de pH ClpH-O3, cuidando que únicamente opere para el módulo uno. Asimismo se deberá cerrar el interruptor del agitador EAP-01. Al entrar en funcionamiento el instrumento ClpH-O3 automáticamente se abrirá una válvula solenoide



normalmente cerrada y permitirá el paso de la sosa hacia el tanque. La alimentación se realizará con el mismo equipo empleado para la neutralización, la línea de suministro tiene una derivación hacia el tanque de precipitación.

2.- Se deberá ajustar la dosificación en 6 ml/s o bien 0.36 lpm será necesario modificar la carrera del émbolo de la bomba BDS-01. Es importante mencionar que con esta acción la dosificación de sosa al tanque de neutralización se incrementará, por lo que será necesario controlar el paso del reactivo hacia el tanque de precipitación, para tal efecto será necesario cerrar cuanto sea necesario la válvula VSP-01.

3.- El instrumento CIPH-03 esta calibrado para accionar la válvula solenoide cuando el valor del pH exceda de 7 unidades.

4.- Para cuantificar el volumen de purga será necesario medir la diferencia de niveles entre el nivel máximo de líquido y el mínimo alcanzado durante la purga. Una vez obtenido este valor deberá ser multiplicado por 6.76 (m²) que es el área del tanque. El tiempo de drenado se multiplicará por el gasto de alimentación (1.5 lps 00.0015 m³/s), el producto de estas dos operaciones se sumará y el resultado serán los m³ de lodos purgados.

5.- Ejemplo de aplicación. Si el operador purga durante 10 minutos y obtiene una diferencia de niveles de 0.05 m, el volumen drenado es el siguiente:

$$VOL_{nivel} = 6.76m^2 * 0.05m = 0.338m^3$$

$$VOL_{caudal} = 0.0015 m^3/s * 600s = 0.9m^3$$

El volumen total purgado será de:

$$VOL_{nivel} = VOL_{purga} = 0.9m^3 + 0.338m^3 = 1.238m^3$$

8.3.12 Sedimentación

En esta unidad, con las mismas características que el empleado para la separación de los lodos de la coagulación, se llevará a cabo la separación del hidróxido de hierro precipitado por la adición de sosa. Las consideraciones y secuencia de operación son prácticamente las mismas que las descritas para el otro sedimentador.

8.3.12.1 Secuencia de Operación

1.- La operación de este sistema se reduce a realizar purgas de lodos. En principio se piensa que deberán realizarse cada seis horas, sin embargo esta práctica deberá perfeccionarse durante la operación de la planta.

2.- Las purgas se deberán realizar cuando el colchón de lodos exceda los 50 cm sobre el nivel máximo de las tolvás y terminará en el momento que el colchón se encuentre 30 cm sobre el nivel mínimo de la tolva.

3.- Para realizar la purga se deberá abrir a la mitad de la abertura total la válvula VPS-01, para tal efecto se contarán las vueltas del volante hasta el tope final y se regresarán cuantas vueltas sean necesarias para mantener la abertura media. Se recomienda que el tiempo máximo de drenado sea de 10 minutos, aunque esto último así como la posición de la válvula se determinará prácticamente de acuerdo con las consideraciones del punto anterior.

4.- Para cuantificar el volumen de purga será necesario medir la diferencia de niveles entre el nivel máximo de líquido y el mínimo alcanzado durante la purga. Una vez obtenido este valor deberá ser multiplicado por 6.76 (m²) que es el área del tanque. El tiempo de drenado se multiplicará por el gasto de alimentación (1.5 lps o 0.0015 m³/s), el producto de estas dos operaciones se sumará y el resultado serán los m³ de lodos purgados.



5.- Ejemplo de aplicación. Si el operador purga durante 10 minutos y obtiene una diferencia de niveles de 0.05 m, el volumen drenado es el siguiente:

$$VOL_{nivel} = 6.76m^2 * 0.05m = 0.338m^3$$

$$VOL_{caudal} = 0.0015 m^3/s * 600s = 0.9m^3$$

El volumen total purgado será de:

$$VOL_{nivel} = VOL_{purga} = 0.9m^3 + 0.338m^3 = 1.238m^3$$

8.3.13 Filtración a presión

En la filtración se separaran los sólidos remanentes de la sedimentación, para tal efecto se cuenta con dos equipos uno en operación y el otro en espera para entrar en funcionamiento cuando el primero requiera retrolavado. Los filtros propuestos son muy versátiles ya que se puede realizar el retrolavado con la misma unidad de bombeo con que efectúa la filtración.

El efluente del sedimentador descarga a un tanque de 1m³ de capacidad, dentro de él se encuentra la succión de la bomba, esta envía agua a presión hacia la cama filtrante, la filtración se efectúa al través del lecho y descarga a otro tanque de capacidad similar al anterior, esto último es con el objeto de contar con agua filtrada para realizar el retrolavado de la cama filtrante.

Cada uno de los tanque arriba mencionados cuenta con un sistema de protección por electro niveles, los cuales actúan por bajo y alto nivel de líquido.

8.3.13.1 Secuencia de operación

- 1.- Checar que la válvula VF-01 se encuentre totalmente abierta y la VP-02 completamente cerrada.
- 2.- Poner en funcionamiento la bomba BFP-01 y checar la presión en el manómetro IP-01. El tiempo de operación de cada filtro antes de la saturación esta calculado para 8 horas, sin embargo el operador podrá ampliar o disminuir este tiempo dependiendo de la lectura del indicador de presión IP-01.
- 3.- El operador deberá llevar un registro de la presión dentro del filtro, cuando ésta se incremente en 1.5 kg/cm² será necesario realizar el retrolavado del filtro.
- 4.- Una vez que se alcanzó la presión máxima, se deberá parar el equipo BFP-01, cerrar la válvula VF-01 y abrir la VF-02. Se pondrá en funcionamiento el equipo de filtración BFP-02 y continuar con la operación.
- 5.- El retrolavado del equipo BFP-01 se realizará moviendo a la dirección contraria la válvula selectora VR-01 y poner en marcha el equipo BFP-01 durante 5 minutos o hasta observar que el agua de desechos que descarga al cárcamo de lodos sea clara. En ese momento se detiene el equipo BFP-01, en seguida se regresa la válvula selectora VR-01 a su posición original.
- 6.- Parar el equipo BFP-02, cerrar la válvula VF-02 y abrir la VF- 01. Ya realizada esta operación se pone en funcionamiento el equipo BFP-01 y se continua con la operación.

Todo el ciclo se repite cada exista saturación del lecho filtrante



8.3.14 Tratamiento de Lodos

Los lodos generados en la etapa de coagulación y separados en el sedimentador correspondiente así como los producidos por efecto de la precipitación de fierro, se conducen y descargan a un cárcamo de bombeo

Del cárcamo son enviados por bombeo hacia una centrífuga en la cual se lleva a cabo el proceso de deshidratado. El equipo opera en forma continua, los lodos se descargan por la parte inferior hacia una tolva y el agua por la parte lateral, directamente al proceso de oxidación química.

8.3.14.1 Secuencia de operación

- 1.- El cárcamo de lodos cuenta con electróniveles para paro y arranque la bomba de alimentación BL-01 y la decantadora horizontal EDH-01. En el momento en que el nivel de líquido alcance la capacidad máxima el electrónivel accionara los equipos arriba mencionados. Para tal efecto se deberán accionar los interruptores de estos equipos.
- 2.- Se deberá checar el funcionamiento de la decantadora continuamente, así como la producción de lodos deshidratados. Para tal efecto, al inicio de cada ciclo la compuerta ubicada en el fondo de la tolva de colección deberá permanecer cerrada y únicamente se abrirá cuando alcance su máxima capacidad o bien si es que el medio de transporte que la conducirá a la disposición final se encuentra dentro de la planta y en posición para recibir los sólidos.
- 3.- Una vez que se han deshidratado los lodos almacenados en el cárcamo y el líquido dentro de él alcance el nivel mínimo los equipos automáticamente saldrán de operación.
- 4.- Debido a que la descarga de lodos no se realizará en forma continua, la decantadora operará intermitentemente.

8.3.15 Edificio Central

Consta de una sola planta, en la cual se alojan las siguientes instalaciones:

- Laboratorio
- Oficinas

8.3.16 Subestación Eléctrica

Para el suministro de energía eléctrica, existe una subestación provista de un transformador 13.2-440/254 V, 3 fases, 60 CPS, enfriamiento "OA", conexión Delta-Estrella, con 4 derivaciones de 2.5% cada una, dos arriba y dos abajo de la tensión nominal indicada, de 45 KVA.



CONCLUSIONES Y ASPECTOS IMPORTANTES

DEFINICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Se entiende por residuo sólido cualquier material que pueda o no tener utilidad alguna. El término **residuo** no corresponde con la acepción de la palabra desecho, pues ésta trae implícita la no utilidad de la materia. En la ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en el artículo 3º (frac. XXXI) se define **residuo** de la siguiente manera:

Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya cualidad no permita usarlo nuevamente.

PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El manejo adecuado de los residuos sólidos (figura 1) incluye el control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, transporte, procesamiento y disposición final. Todos ellos deben ser efectuados bajo criterios que tomen cuestiones de salud pública, economía, tecnología, estética, así como la conservación y el uso eficiente de los recursos.

Los objetivos que se buscan mediante el manejo de los residuos son los siguientes:

- Controlar la diseminación de enfermedades
- Evitar problemas de contaminación del suelo, agua y aire
- Optimar el uso de los recursos mediante el reciclado
- Mejorar la imagen de las ciudades
- Organizar y controlar la "pepena" de los residuos sólidos.

De los anteriores, una parte importante la ocupa el control de las enfermedades, como las mostradas en la tabla 1, cuya propagación se efectúa por medio de vectores (transmisores de enfermedades) como son las moscas y cucarachas.

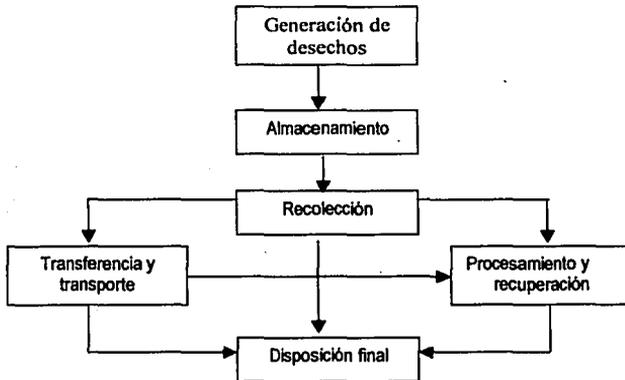


Figura 1. Etapas del procesamiento de los residuos sólidos

**Tabla 1. Vectores de enfermedades por exposición a residuos sólidos**

VECTOR	ENFERMEDAD
Mosca común	Fiebre, tifoidea, salmonelosis, shigelosis, disentería, diarrea infantil.
Cucaracha intestinal,	Cólera, fiebre tifoidea, lepra, intoxicación alimenticia, disentería, infecciones
	Gastroenteritis
Mosquitos	Paludismo, dengue, tripanosomiasis, encefalitis viral, fiebre amarilla.
Ratas	Peste bubónica, rabia, rickettsiosis vesiculosa, disentería, leptospirosis,
enfermedades	Diarreicas, fiebre de Harverthi.

Adaptado de: OPS-OMS, 1998

El manejo metódico de los desechos sólidos se inició en 1930, en Inglaterra. Las técnicas con que se contaba en esa época, y que aún subsisten para el manejo de residuos sólidos en países pobres, son:

1. **Vertido sobre terreno.** Son los comúnmente llamados **basureros a cielo abierto**. Su aplicación es muy popular debido a la facilidad para deshacerse de los residuos sólidos de la comunidad. Constituye un foco de atención para ratas, moscas y otros insectos por ello, la mayoría de las veces, se acostumbra quemar los residuos sólidos en forma periódica.
2. **Vertido al agua.** Esta practica es poco usada en la actualidad y se limita a comunidades muy pequeñas y casi siempre situadas junto al mar.
3. **Mezclado con el suelo.** Se aplica únicamente a restos orgánicos (generalmente, agropecuarios) y al barrido de calles. Se emplea poco ya que requiere grandes áreas de terrenos y una separación previa de los desechos.
4. **Alimento para animales.** Se utiliza con desechos de alimentos y cuando el punto de generación se localiza de las granjas, en especial, las porcinas. Esta práctica favorece la propagación de las enfermedades como la triquinosis.
5. **Recuperación de grasas y aceites.** Se aplica solo a cierto tipo de desechos. Consiste en separar las porciones líquidas y sólidas para recuperar la grasa en cada una de ellas. Con este material se fabrican pomadas, perfumería barata, y grasa para vagones.

GENERACIÓN

La generación se inicia cuando un consumidor decide que un producto se toma no deseable y/o sin unidad para él. Este momento varía dependiendo el criterio de cada individuo, de las costumbres de la colectividad y de la disponibilidad de ciertos recursos. Asimismo, la generación se encuentra íntimamente relacionada con el grado del desarrollo de una localidad (tabla 2) la conciencia sobre el empleo de embalajes no necesarios, la densidad de población y el ingreso económico.

Tabla .2. Generación municipal per capita

CLASIFICACIÓN	Kg/hab · d
Urbano	1.070
Metropolitano	1.070
Semiurbano	0.820
Rural	0.671

Fuente: OPS-OMS, 1998



A nivel nacional

En 1985, de acuerdo con la Sedue, el promedio nacional de producción de residuos sólidos municipales era de 0.731 kg/hab·d, de los cuales 70% era de origen doméstico. 52% de los residuos sólidos provenía de poblaciones con menos de 5000 habitantes mientras que 24%, aproximadamente lo generaban poblaciones mayores. Para 1994, la generación se incrementó a 0.893 kg/hab·d y además paso de ser densa a voluminosa. De la generación nacional, 24% 819 379/d) provenía de localidades con mas de 500 000 habitantes (Sedesol, 1994). La figura compara la generación total de residuos entre 1992 y 1995 para diversas zonas del país.

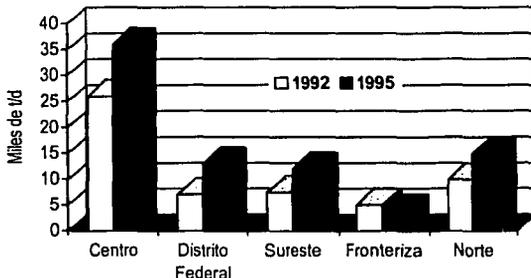


Figura 2. Residuos sólidos municipales por región en miles de toneladas diarias en 1992 y 1995

Adaptado de INEGI (1994) e INE (1995)

Es importante mencionar que en la producción de residuos es muy desigual en cada ciudad, como lo muestra la grafica siguiente y que también varia en función de la fuente (tabla 5.3).

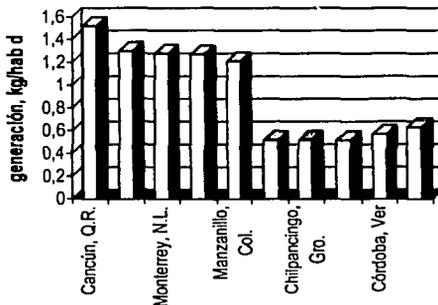


Figura 3. Generación de residuos sólidos per per en diferentes ciudades de la República Mexicana

Adaptado de: Semarnap, 1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Distrito Federal

En 1950, en la Ciudad de México, se producían 370g de residuos sólidos por capita y eran predominantemente, biodegradables. Para 1987 este valor ascendió a 0.960 kg/hab·d y el contenido de materia biodegradable descendió en 50%. En 1994 el volumen aumentó 20% y la proporción de residuos no biodegradables en 600% (tabla 5.4)

Actualmente, se generan en el Distrito Federal cerca de 11 mil toneladas de residuos sólidos al día, destacando en los de composición orgánica con 41%. Los residuos domiciliarios representan la principal fuente de generación ya que constituye con 46% del volumen total, en tanto que los comercios, servicios de la ZMVM, el volumen asciende a cerca de 20 mil toneladas al día y se calcula que para el año 2002 se producirán 25 mil ton/d, de las cuales 54% corresponderán al Distrito federal y 46% a los municipios conurbados.

Tabla 3. Generación unitaria por fuente generadora en el Distrito Federal



TIPOS DE FUENTES GENERADORAS	SUBCLASIFICACIÓN	GENERACIÓN UNITARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS	
Domiciliarios	Unifamiliar y plurifamiliar	0.605 kg/hab-d	
Comercio	Establecimientos comerciales		
	Tiendas comerciales	637.00 kg/establecimiento-d	
	Tiendas departamentales	368.00 kg/establecimiento-d	
	Locales comerciales	6.650 kg/local-d	
	Mercados		
	Carnes	4.430 kg/local-d	
	Frutas y legumbres	7.920 kg/local-d	
	Abarrotes	1.025 kg/local-d	
	Preparación de alimentos	14.960 kg/local-d	
	Varios	0.803 kg/local-d	
	Mercados sobre ruedas-tianguis	575.800 kg/tianguis-d	
	Servicios	Restaurantes y bares	25.442 kg/establecimiento-d
		Centros de espectáculos y recreación	
Centros de espectáculos		1.230 kg/emplead-d	
Instalaciones deportivas		2.620 kg/emplead-d	
Centros culturales		0.330 kg/emplead-d	
Servicios públicos			
Oficinas de servicios		3.460 kg/establecimiento-d	
Servicios de reparación y mantenimiento		1.940 kg/establecimiento-d	
Estaciones de gasolina		53.120 kg/establecimiento-d	
Hoteles			
5 estrellas		1016.90 kg/establecimiento-d	
4 estrellas		218.500 kg/establecimiento-d	
3 estrellas		16.810 kg/establecimiento-d	
Centros educativos			
Preescolar		0.040 kg/alumno-d	
Primaria		0.055 kg/alumno-d	
Capacitación para el trabajo		0.060 kg/alumno-d	
Secundaria		0.065 kg/alumno-d	
Técnico		0.060 kg/alumno-d	
Bachillerato		0.060 kg/alumno-d	
Superior	0.070 kg/alumno-d		
Oficinas publicas	0.207 kg/emplead-d		
Especiales	Unidades medicas		
	Nivel 1	1.279 kg/consultorio-d	
	Nivel 2	4.730 kg/cama-d	
	Nivel 3	5.390 kg/cama-d	
	Laboratorios	6.340 kg/laboratorio-d	
	Veterinarias	1.700 kg/emplead-d	
	Terminales terrestres	2103.000 kg/central-d	
	Terminal aérea	28 887.000 kg/aeropuerto-d	
	Vialidades	31.383 kg/km-d	
	Centro de readaptación social	0.540 kg/interno-d	
Otros	Áreas verdes	0.149 kg/km ²	
	Objetos voluminosos	28.85 kg residuos sólidos	
	Materiales de construcción y Reparaciones menores	20.85kg residuos sólidos	



Fuente: OPS-OMS, 1998.

Tabla 4. Composición porcentual de residuos

SUBPRODUCTO	PORCENTAJE EN PESEO
Cartón papel	24
Materiales	4
Vidrio	7
Textiles	1
Plásticos	11
Orgánicos	41
Otros	12

Fuente: Sedesol-INE, 1994

Tabla 5. Residuos peligrosos o especiales presentes en los residuos sólidos municipales

FUENTE	ORIGEN ESPECÍFICO	TIPO DE RESIDUOS
Domiciliar	Unifamiliar Plurifamiliar	Algodón Grasa
		Grasa
	Vendas	
	Químicos	
	Lubricantes	
	Insecticidas	
	Baterías portátiles	
	Residuos de pintura	
	Selladores	
	Solventes	
	Anticongelantes	
	Ácidos y sales	
	Asbestos	
Baterías de carro		
Manejo especializado	Unidades medicas	Grasa, venda, jeringas, agujas, fármacos, etc.
	Laboratorios	Fármacos diversos
	Veterinarias	Cosméticos y similares
	Transporte terrestre	Residuos de laboratorios
	Transporte aéreo	Lodos
	Centros de readaptación	Residuos indefinidos
	Instituciones militares	Peligrosos
		Infecciosos
	Químicos	
	Fármacos mezclados	
	Solventes	
	Ácidos y sales	
	Lubricantes y selladores	
	Baterías	
	Pinturas	

Adaptado de: Sedesol-INE, 1994.

En la tabla 6 se presenta la generación de los residuos sólidos municipales por delegación. Destacan Iztapalapa, Cuahutemoc y Gustavo A. Madero debido a su alta producción por lo que requiere mayor atención en el servicio de recolección para cubrir la demanda de dichas zonas.



Tabla 6. generación de residuos sólidos municipales por tipo de fuente en el Distrito Federal

DELEGACIONES	POBLACIÓN HAB.	COMPOSICIÓN PORCENTUAL					TOTAL POR	
		DOMICILIO S %	COMERCIO %	SERVICIOS %	ESPECIAL S %	OTRO S %	TON %	%
A.Obregón	688 923	67	13	9	5	6	570 129	5
Azcapotzalco	439 188	50	24	17	3	6	489 321	4
Benito Juárez	376 576	33	32	23	5	7	613 679	5
Coyoacan	703 085	55	232	14	2	6	781 798	7
Cuajimalpa	147 341	64	20	7	3	6	134 846	1
Cuahuatemoc	538 315	26	35	30	4	5	1220 539	11
G. A. Madero	1214 626	51	24	14	4	7	1550 703	14
Iztacalco	414 048	49	24	17	4	6	444 417	4
Iztapalapa	1717 259	58	25	11	1	5	1993 928	17
Central de abastos		0	100	0	0	0	556 150	5
Magdalena Contreras	221 462	72	15	6	2	5	218 282	2
M. Hidalgo	367 495	33	25	21	5	16	647 103	6
Milpa Alta	75 866	60	16	13	5	6	72 709	1
Tláhuac	264 349	65	16	10	4	5	261 449	2
Tlalpan	600 703	58	20	11	2	9	681 605	6
Venustiano Carranza	471 241	34	36	19	5	6	840 211	7
Xochimilco	326 658	55	21	13	3	5	346 975	3
Total	8567 135	5279 944	3315 322	1737 993	364 654	725	11423 755	100
%		46	29	15	3	842		100
						7		

Fuente OPS-OMS, 1998.

Este tipo de almacenamiento se encuentra limitado por la disponibilidad del espacio y la descomposición de los residuos orgánicos. Su duración se debe exceder de 8 días para desechos municipales. El costo y operación de esta etapa es responsabilidad del generador, quien aplica sus propios criterios ambientales. En

ALMACENAMIENTO IN SITU



las casas unifamiliares uno mismo es el encargado. En condominios y multifamiliares se dispone de un área común ex profeso (0.058m³/fam.)¹⁷ que además de ser un lugar cerrado debe tener acceso limitado, ventilación permanecer limpio y estar alejado de la zona habitacional.

RECOLECCIÓN

Comúnmente, son las autoridades las encargadas de efectuar la recolección de los residuos de cada uno de los puntos donde se genera. En México el servicio se realiza a través de las delegaciones en el Distrito Federal y, en la provincia, por medio de los municipios. Estas entidades se encargan además del servicio de transferencia, el tratamiento y la disposición. La Secretaría de Salud y la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca son las encargadas de normar y supervisar todo el proceso. En cuanto a la recolección, ésta representa entre 60% y 70% del costo total del procesamiento (tabla 7).

Tabla 7. Comparación de los costos de los servicios de aseo urbano en América

ACTIVIDADES	COSTOS POR TONELADA						
	PAISES	RECOLECCIÓN		TRANSFERENCIA		DISPOSICIÓN FINAL	
		USD	%	USD	%	USD	% TOTAL
Desarrollos	50.0	64	3,5	5	24	31	77,5
En vías de desarrollo	13.0	64	2,5	12	5	24	20,5
México D. F.	34.0	68	7,81	16	7,81	16	49,6

Fuente: OPS-OMS, 1994.

De entre las distintas etapas que conforman el procesamiento de los residuos la recolección y el transporte son las que requieren mayor número de personas (tabla 8)

Tabla 8. Empleos directos e indirectos generados en la ZMVM por el procesamiento de residuos sólidos.

ETAPA	EMPLEOS DIRECTOS	EMPLEOS INDIRECTOS	TOTAL (NÚMERO)
	%	%	
Barrido de calles y recolección	79	21	23 875
Transporte y transferencia	66	34	24 248
Separación y tratamiento	55	45	6 339
Disposición	87	13	4 497
Transporte de residuos peligrosos	100	0	68
Tratamiento de residuos peligrosos	100	0	74
Total (número)	42 450	16 651	59 101

Adaptado de: OPS-OMS, 1990.

Distrito federal

El servicio de limpieza en el Distrito Federal está integrado por cerca de 20 mil trabajadores entre barrenderos, chóferes y ayudantes que llevan a cabo las tareas de recolección y barrido en una extensión de 17 mil kilómetros aproximadamente. Para ello se emplea un total de 2 079 vehículos. La recolección en la vía pública (510 ton/d) es efectuada en dos formas: una manual, con 8 000 barrenderos que cubren 7 993 km por día y otra mecánica que emplea 234 barrenderos con rendimiento de 41 km/barrendero-d (Sedesol, 1994).

**América Latina**

La tabla 9. contiene la cobertura de recolección y disposición final de los residuos sólidos en ciudades de América Latina. De éstas, el área metropolitana de la Ciudad de México se encuentra en el 13º lugar.

**Tabla 9. cobertura de recolección de residuos sólidos
En las capitales latinoamericanas y en algunas ciudades mayores**

CIUDAD (AÑO DE INFORMACIÓN)	MILLONES DE HABITANTES	COBERTURA DE RECOLECCIÓN %
Curitiba(95)	2.1	100
Guayaquil (96)	2.3	100
La Habana (91)	2	100
Rosario (96)	1.1	100
Santiago (95)	2.3	10
Bogotá ((96)	5.6	99
Medellín (87)	1.5	99
Barranquilla (96)	1.0	98
Montevideo (95)	1.4	97
Cartagena (96)	0.6	96
Brasília (96)	1.8	95
Cali (96)	1.8	95
Caracas (95)	3.0	95
R. de Janeiro(96)	9.9	95
Área metropolitana de Sao Pablo (96)	16.4	95
Salvador (96)	2.8	93
La Paz (96)	0.7	92
Área metropolitana de Buenos Aires (96)	12.0	91
Panamá (95)	0.8	90
San José (95)	1.0	90
Belo Horizonte (96)	3.9	90
Quito (94)	1.3	85
A.M.Monterrey (96)	2.8	81
Asunción (96)	1.2	80
Guatemala (92)	1.3	80
Cd. de México (ZMVM) (94)	15.6	80
Tegucigalpa (95)	1.0	75
Managua (88)	1.0	70
Sto. Domingo (94)	2.8	65
A.M.Lima (96)	7.5	60
S. Salvador (92)	1.3	60

Adaptado de: Zepeda, 1996.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TRANSFERENCIA Y TRANSPORTE

La transferencia tiene como propósito reducir el número de viajes para llevar los residuos sólidos al lugar de tratamiento o disposición que, comúnmente, se localiza fuera de la ciudad. Este proceso consiste en pasar los desechos de unos camiones a otros de mayor capacidad, aunque la transferencia también se puede efectuar a trenes o barcos, de acuerdo con las características propias de cada comunidad.

Cabe señalar que cuando las zonas de transferencia se ubican dentro de la ciudad se deben incorporar medidas que controlen el impacto ecológico y vial. Esto se logra instalando sistemas de captación de polvos,



lavadores de malos olores, sistemas de control de residuos, fumigación periódica de la fauna nociva y un diseño arquitectónico adecuado para evitar tanto el congestionamiento de tránsito como el deterioro de la imagen urbana.

Infraestructura del sistema de transferencia en el Distrito Federal

En el Distrito Federal la transferencia de los desechos sólidos se lleva a cabo en 13 estaciones ubicadas en las delegaciones A. Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Iztapalapa, (Central de abastos I y II), Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco (Sedesol, 1994). La capacidad de las estaciones se encuentra entre 6 000 y 8 000 ton/d y tienen un radio de influencia de 7km por estación. La técnica empleada para el trasbordo se domina carga directa a través de tolvas y ranuras. El parque vehicular para llevar a cabo una acción es de 115 tractocamiones y 133 cajas. En algunos de los centros de transferencia se cuenta con equipos para el control de ruido, polvo y partículas, así como la prevención y control de fauna nociva. Semamap-INE 1997 señalan como características de operación de los centros de transferencia las siguientes:

- Un camión de carga trasera por cada 15.3m³ o 6.9 viaje
- Eficiencia de dos viajes por día en promedio por vehículo
- Una barredora mecánica por cada 1 000 000 de habitantes
- Un contenedor de 6 m³ por cada 12 000 habitantes
- Una estación de transferencia con generadores de entre 500 y 1 000 ton/d
- 1 200 m² de terreno y 900 m² de construcción para la estación de transferencia

PROCESAMIENTO Y RECUPERACIÓN

En esta etapa se incluyen todas las técnicas y el equipo que se emplean para recuperar materiales, mejorar la eficiencia de la disposición de la basura, mismos que serán tratados mas adelante. La selección de proceso depende de su costo. Previo de venta, el mercado y la tecnología disponible, por lo que es muy variable.

Procesamiento en el Distrito Federal

Como sistema de tratamiento el Distrito Federal cuenta con una sola planta industrializadora con capacidad de 750 ton/d (San Juan de Aragón, figura 4), construida hace mas de 20 años y que siempre tubo problemas de operación. A pesar de que llego a producir composta en una época, el producto no resulto rentable, por lo que la planta fue modificada y actualmente solo opera la etapa de la separación. En el sitio se instaló adicionalmente un incinerador.

DISPOSICIÓN

En el destino ultimo de todo desecho sólido. La forma más común de disposición controlada es el **relleno sanitario**, que a diferencia de un basurero no provoca problemas de salud publica ni de contaminación de acuíferos.

Situación en el ámbito nacional

En promedio, en las ciudades de la Republica Mexicana se recolecta alrededor de 70% de los residuos (tabla 10.), mientras que el resto se abandona en calles y lotes baldíos, o bien, se tiran en basureros clandestinos, cauces de rios, arroyos u otros cuerpos de agua.

De lo que se recolecta, mucho es depositado en basureros a cielo abierto, lo que ha tenido repercusiones en la calidad del aire, agua y suelo, así como en el deterioro de la salud de los habitantes por las emanaciones de gases, malos olores, incendios, generaciones de lixiviados y proliferación de fauna nociva.



Figura 4. Esquema de operación inicial y actual de la planta de reciclaje de San Juan de Aragón

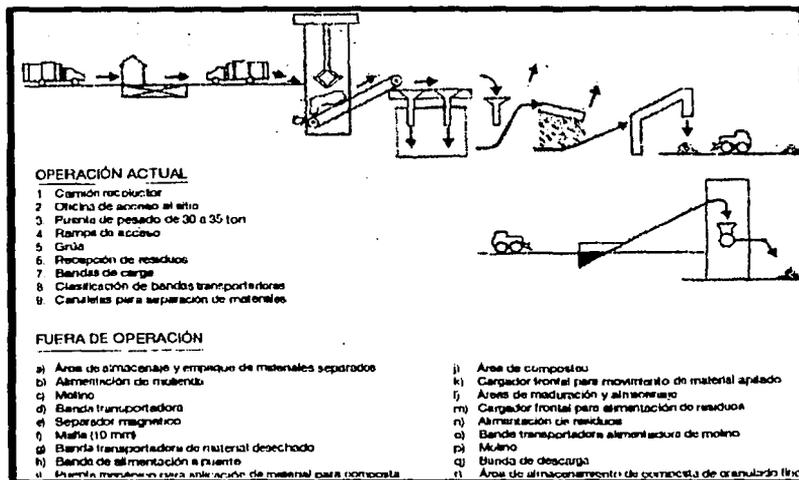


Tabla 10. situación del manejo y disposición final de los residuos sólidos municipales

	VOLUMEN /d	%	MILES AÑOS
Generación de residuos estimados	80 746		29 472
Eficiencia:			
• Sistemas de recolección	56 522	70.00	20 631
• Sistemas de disposición de relleno sanitario	13 859	17.20	5 059
• Tiradero a cielo abierto	66 887	82.80	24 414

Fuente: Sedesol, 1994.

Situación en el Distrito Federal

En la Ciudad de México por comodidad y tradición, se había optado por el método de disposición en los tiraderos a cielo abierto. De hecho se contaba con ocho de estos ubicados en: Santa Cruz Meyehualco (que opero mas de 40 años), Santa Fe, Tlahuac, Milpa Alta, San Lorenzo Tezonco, Bordo de Xochiaca y Santa Catarina. A partir de 1982, el gobierno comenzó a cerrarlos y a sustituir áreas verdes, como en el caso de las alamedas del Poniente y la del Oriente (extiradero de Santa Fe y del Lago de Xochiaca). Por su dimensión (150 ha) destaca la clausura de I tiradero de Santa Cruz Meyehualco y en el que actualmente se ubican dos parques recreativos (Parque Cuflahuac). Posteriormente, en 1985 se clausuro el basurero de San Lorenzo Tezonco, que ocupaba el tercer lugar de importancia en el Distrito Federal, ya que recibía cerca de dos mil

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

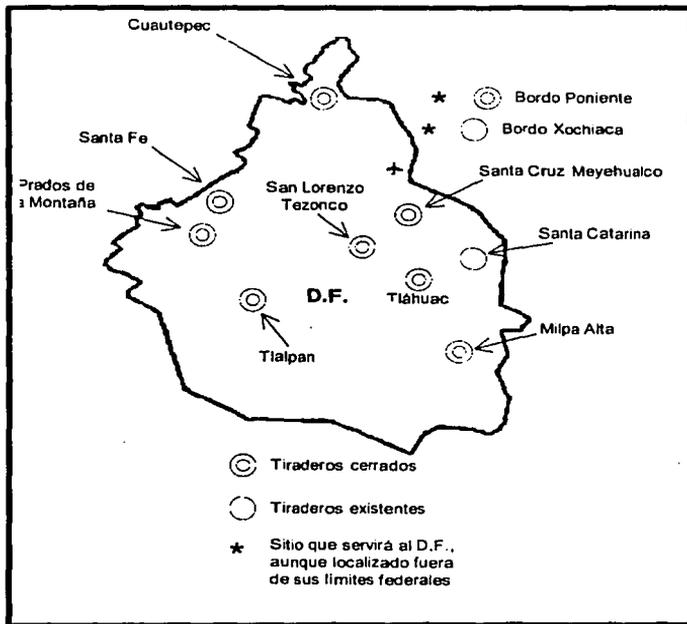


toneladas diarias de basura y albergaba a 25000 pepenadores. En mayo de 1987, después de 35 años de operación se cerró el tiradero de Santa Fe y en 1994 los tiraderos de Tlalpan, Milpa Alta y Texcoco (Sedesol, 1994)

Durante 1995 y 1998 iniciaron su operación los rellenos sanitarios del Bordo Poniente del Vaso de Texcoco, el de Prados de la Montaña y el de Santa Catarina, que con su superficie total de 238 ha recibían los desechos colectados en la ciudad. La vida útil de los dos primeros es de 15 años, mientras que la del tercero fue de 9 años, por lo que clausurado en 1994. Santa Catarina contaba con la extensión de 24.6 ha. D. de las cuales 20 fueron aprovechadas para el depósito de los residuos y las cuatro restantes se dejaron como área de conservación. Actualmente, posee cerca de 50 pozos de monitoreo de biogás cuyo empleo para la generación de energía eléctrica se encuentra en estudio.

A la fecha, la disposición final de los residuos del Distrito Federal se realiza bajo la técnica de relleno sanitario. El Bordo Poniente, ubicado en la zona federal del ex Lago de Texcoco, recibe en promedio 8 500 ton/d y Santa Catarina (que se encuentra al suroeste de la ciudad, en la delegación Iztapalapa, y cuya vida útil esta próxima a concluir) recibe aproximadamente 2 5000 ton/d (figura 5.)

En el relleno sanitario Bordo Poniente se han desarrollado obras de capacitación y de tratamiento para los lixiviados que se generan. El agua se trata por procesos fisicoquímicos y se utiliza para riego de caminos y algunas áreas verdes.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5. Localización de los sitios de disposición que da servicio al Distrito Federal



CLASES DE DERECHOS

En este apartado, se describen brevemente las clases de desechos y sus características. De forma general se distinguen:

1. **Residuos alimenticios.** Son residuos de comida de tipo animal o vegetal que resultan de manejo, preparación y cocinado de alimentos. Su principal característica es que se descomponen rápidamente—especialmente si es tiempo de calor, generando mal olor y atrayendo moscas y ratas que son **vectores** (transmisores) de enfermedades.
2. **Residuos municipales.** Consiste en sólidos variados que provienen tanto de zonas residenciales como comerciales. Está conformada por dos tipos de materiales: combustibles y no combustibles. El material combustible lo forma el papel, cartón, plástico, textiles, cuero, madera, hojarasca y mobiliario; entre los no combustibles se encuentra el vidrio, loza, latas y metales.
3. **Cenizas y residuos.** Es el material remanente de la combustión y, por lo general, son sólidos de tamaño muy pequeño.
4. **Cascajo.** Proviene de la demolición o remodelación de edificios o casas. Incluye piedras, concreto, ladrillos, varilla, restos de plomería y de instalaciones eléctricas, etc.
5. **Residuos no específicos.** Son desechos provenientes de la limpieza de calles, carreteras u otras zonas abiertas al público. Contienen desechos muy variados como animales muertos, vehículos abandonados, entre otros. Su control es muy difícil ya que no se puede predecir su localización ni la naturaleza del desecho.
6. **Residuos de plantas de tratamiento.** Son los todos generadores al separar los contaminantes del agua en plantas de tratamiento. Se considera que en un futuro estos desechos llegarán a ser de un volumen importante en México. En el caso de los provenientes de plantas de tratamiento de agua residual doméstica, éstos no se consideran como "desechos" sino como residuos capaces de ser empleados para mejorar el suelo, o bien, para cubrir las celdas de los rellenos. Por ello, reciben el nombre de **biosólidos** y la tendencia municipal es hacia su reúso.
7. **Residuos agropecuarios.** Incluyen tanto los residuos de la producción de vegetales y frutas como los de la cría de ganado. No depende de la municipalidad y, en ocasiones, llegan a constituir verdaderos problemas ambientales, como es el caso de los desechos porcinos en La Piedad, Michoacán.
8. **Residuos peligrosos.** Son desechos que pueden causar daños al medio ambiente mediante a reacciones químicas o biológicas. Se originan comúnmente en procesos industriales y presuponen un riesgo para la salud humana y, en general, para todos los seres vivos por alguno de los siguientes motivos
 - No son biodegradables
 - Son muy persistentes
 - Su efecto es aumentado por las cadenas alimenticias
 - Son letales
 - No son reutilizables
9. **Residuos no domiciliarios.** Son los residuos que no se generan dentro de las casas habitación diariamente pero que son de origen municipal, entre ellos se encuentran:
 - Desechos de la poda de árboles, siempre y cuando se entregue en trozos
 - Envases y embalajes generados en locales comerciales
 - Residuos producidos en establecimientos donde Expandan productos alimenticios
 - Residuos producidos en hoteles, hospitales, clínicas, escuelas y otros establecimientos públicos
 - Muebles, enseres domésticos, trastos viejos y "triques" en general
 - Animales domésticos muertos de peso inferior a los 80 kg
 - Vehículos fuera de uso y abandonados
10. **Residuos industriales.** Son desechos que no tienen uso dentro de la industria y que por su no peligrosidad son desechados junto con los residuos municipales.



11. **Residuos especiales.** Los que por su origen y características, claramente identificadas, requieren condiciones especiales de manejo, un ejemplo de ellos son los residuos hospitalarios.

COMPOSICIÓN

A manera de comparación, en la tabla 11 se presentan los indicadores promedio de la caracterización de residuos sólidos municipales entre dos países del primer mundo (Francia y Estados Unidos) y dos en vías de desarrollo (México y Colombia). Es clara que en México como en Colombia la mayor parte de los residuos son de tipo orgánico.

Tabla 11. indicadores promedio de la caracterización de residuos sólidos municipales a nivel internacional

SUBPRODUCCIÓN	ESTADOS UNIDOS	FRANCIA	MÉXICO	COLOMBIA
	%	%	%	%
Papel y cartón	40	35	14	22
Plástico	8	7	6	5
Metales	9	5	3	1
Textiles	-	5	1	4
Vidrio	7	12	7	2
Residuos alimenticios	18	21	32	56
Residuos de jardinería	7	-	10	10
Otros	11	15	27	-

Fuente: Semarnap, 1997.

Cabe mencionar que en la república Mexicana la composición de los sólidos municipales no es homogénea (tabla 12), sino que responde a la distribución, hábitos y costumbres alimenticias, al nivel de consumo y al poder adquisitivo de la población (Sedesol, 1994).

Tabla 12. composición porcentual por zonas de los residuos sólidos municipales

SUBPRODUCTOS	FRONTERIZA	NORTE	CENTRO	SUR	ZMVM
Cartón	2.07	4.28	3.00	2.51	9.5
Residuos	3.22	9.71	3.15	3.42	1.96
Huesos	0.52	0.59	0.94	0.61	0.14
Hule	0.71	0.78	0.90	0.31	0.66
Lata	2.15	2.46	1.36	1.95	1.70
Material ferroso	0.51	0.46	0.86	1.30	1.14
Material no ferroso	0.22	0.57	0.45	0.72	0.70
Papel	13.56	9.17	11.15	11.45	ND
SUBPRODUCTOS	FRONTERIZA	NORTE	CENTRO	SUR	ZMVM
Pañal desechable	10.62	2.59	7.40	5.39	0.51
Plástico película	4.09	3.79	2.15	6.72	3.62
Plástico rígido	1.93	2.38	1.27	1.71	3.75
Residuos de jardín	12.53	7.48	27.33	37.74	3.54
Residuos alimenticios	33.99	37.56	24.03	16.53	24.07
Trapo	3.58	1.94	1.29	0.90	0.57
Vidrio de color	2.74	3.36	1.86	2.50	2.90
Vidrio transparente	2.91	4.27	4.15	2.90	4.18
Otros	4.65	8.61	8.71	3.34	5.44
totales	100%	100%	100%	100%	

ND: no disponible

*-No totaliza el 100% por incluir otros subproductos

Fuente Sedesol, 1994



CARACTERIZACIÓN

Para determinar las características de los residuos sólidos es necesario efectuar un muestreo, el cual no es una tarea fácil. El muestreo debe basarse en la lógica mas que en consideraciones estadísticas. La muestra se debe tomar en zonas donde no haya fuerte vientos aplicando la técnica del cuarteo hasta obtener el tamaño deseado (normalmente mas de 90 kg). Es muy importante respetar la integridad de la muestra independiente del olor, composición o grado de descomposición de la misma. Los análisis comúnmente efectuados para los residuos municipales son humedad, densidad y composición química. En el caso de residuos peligrosos se aplica el análisis del código CRETIB, presentado mas adelante. En función de estos resultados, es posible determinar cual es el tratamiento que debe aplicarse a los residuos, su peligrosidad, el área de disposición y almacenamiento, o bien, si es posible aprovecharlos como energéticos, entre otras operaciones.

HUMEDAD

Se determina mediante la relación:

$$w = (a-b) / a * 100$$

(Esc. 5.1)

donde

- w: contenido de humedad, %
- a: peso inicial de la muestra, kg
- b: peso de la muestra seca, kg

En general, los desechos urbanos contienen entre 15% y 40% de humedad dependiendo la composición de los desechos, la estación del año y las condiciones climáticas (la lluvia en especial).

PESO VOLUMÉTRICO

Este dato sirve para determinar el peso y volumen de los desechos que son importantes para el manejo y almacenamiento de los residuos sólidos. Para residuos domésticos, después de recolección y antes del sitio de transferencia, el peso volumétrico oscila entre 150 y 350 kg/m³ siendo 250 el valor típico.

En el Distrito Federal. La variación del peso volumétrico de los residuos que se generan en la vía pública son los más luminosos (768 kg/m³), les siguen los restaurantes y bares con 324 kg/m³ y, finalmente, los domiciliarios (unifamiliares y plurifamiliares) con kg/m³.

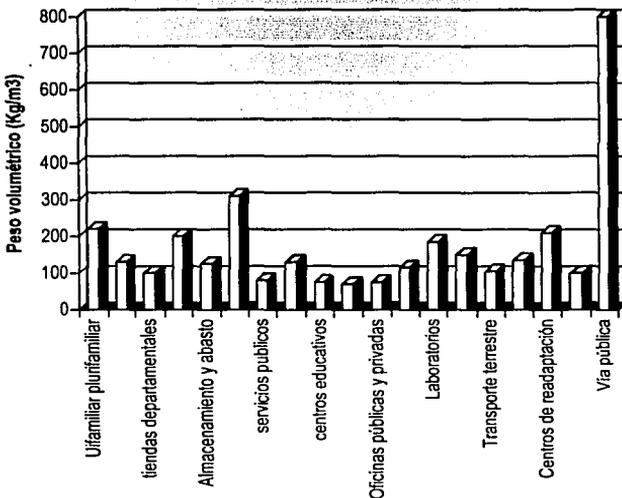


Figura 6. peso volumétrico por fuente generadora de residuos en el Distrito Federal
Adaptado de. OPS-OMS, 1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Sirve para determinar el tipo de tratamiento. Es importante señalar que la composición de la basura se modifica conforme evoluciona la sociedad tanto tecnológica como culturalmente. Otro factor que incluye es la falta de recursos o su escasez, que pueden propiciar políticas de reciclado o de sustitución de materiales. El análisis clínico comprende:

1. Humedad a 105°C y 1 h
2. Contenido volátil a 950°C
3. Cenizas (después de combustión total)
4. Cartón remanente
5. Análisis elemental (C; H; O y S)
6. Poder calorífico

En la tabla 13 se muestra el análisis elemental para los principales componentes de la basura domestica.

CONTENIDO ENERGÉTICO

Un factor importante en el análisis fisicoquímico de la basura es el contenido calorífico, ya que este indica que tan aprovechables pueden ser los residuos para generar energía (biogás). Cuando se dispone de valor de contenido calorífico éste se puede calcular a partir del análisis elemental mediante la fórmula:



$$\text{Kcal / kg} = 80.56C + 338.89(\text{H}-\text{O}) + 22.22S + 5.56N \quad (\text{Ec. 5.2})$$

donde los contenidos en C; H; O y S están dados en porcentaje

Tabla 13. Análisis elemental de diversos componentes de la basura.

COMPONENTE	PORCIENTO EN PESO					
	C	H	O	N	S	CENIZAS
Comida	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Papel	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Cartón	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Plástico	60	7,2	22,8	-	-	10
Textil	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Hule	78	10-		2	-	10
Cuero	60	8	11,6	10	0,4	10
Desechos de jardinería	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Madera	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Restante	26,3	3	2	0,5	0,2	68

Fuente: Tchobanoglous et al., 1997.

En la tabla 14 se presentan los diferentes contenidos caloríficos para la basura de tipo doméstico. Para transformar los datos, en caso de que se requiera, a base seca se puede hacer mediante

$$\text{Kcal/kg (base seca)} = 100 \text{ Kcal} / 100 - \%W \text{ kg (base húmeda)} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

Tabla 14. valores críticos de rechazos inertes y contenido energético

De los residuos sólidos urbanos domésticos

COMPONENTE	% DE RECHAZO INERTE		CONTENIDO ENERGETICO kcal/kg	
	INTERVALO	TÍPICO	INTERVALO	TÍPICO
<i>Orgánico</i>				
Comida	2_8	5	833_1,667	1 111
Papel	4_8	6	2 778_4 444	4 000
Cartón	3_6	5	3 333_4 167	3 889
Plástico	6_20	10	6 667_8 889	7 778
Textil	2_4	2,5	3 61_4 722	4 167
Goma	8_20	10	5 000_6 667	5 556
Cuero	8_20	10	3 611_4 7222	4 167
Desechos de jardinería	2_6	4,5	556_444	1 556
Madera	0,6_2	1,5	4 167_4 722	4 444
Orgánicos misceláneos	—	—	—	—
<i>Inorgánicos</i>				
Vidrio	98_99+	98	24_56	33
Aluminio	96_99+	98	56_278	33
Otros materiales	90_99+	98	60_287	167
Restaurante	60_80	70	549_2 787	1 672
Desechos domésticos mezclados			2 222_3 333	2 778

Fuente: Tchobanoglous et al., 1997.



PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN MÉXICO

La tabla 15 hace referencia a una comparación entre las características fisicoquímicas de la basura generada en México y la de Estados Unidos.

Tabla 15. Características fisicoquímicas de los residuos sólidos municipales generados en diversas fuentes en México y su comparación con la literatura internacional.

PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS	TIPOS DE FUENTES GENERADORES EN MÉXICO					VALOR EN ESTADOS UNIDOS
	DOMICILIARIO	COMERCIOS	SERVICIO	ESPECIALES	ÁREAS PÚBLICAS	
Humedad	36,65	46,78	50,08	48,04	7,20	15a40
Cenizas (%)	20,82	4,80	12,97	6,73	25,14	15a30
Calorífico superior (Kcal.)	3491,80	2885,00	3695,00	3371,00	4911,00	
Materia orgánica	69,28	37,25	33,10	91,73	74,69	40a60
Carbono (%)	40,20	21,61	19,20	52,68	43,41	5a12
Hidrógeno (%)	4,62	2,48	2,21	6,95	4,99	
Oxígeno (%)	21,79	12,68	7,13	31,04	22,02	
Nitrógeno (%)	2,67	0,48	4,56	1,06	4,27	

Fuente: Tchobanoglous Et al., 1994.

TASA DE GENERACIÓN

La tasa de generación de residuos se refiere a la cantidad que se produce en una localización habitante o en una industria por unidad de producto durante un tiempo determinado. Sirve para dimensionar el sistema de manejo de los desechos. La tasa se puede medir mediante el volumen como en peso. Sin embargo, se recomienda expresarla en peso ya que el volumen de los desechos varía en función del grado de su compactación. Existen dos formas prácticas para evaluar la tasa de generación:

1. La medición de la producción global y su relación con el total de habitantes.
2. El muestreo directo.

La figura 7 presenta la cantidad de residuos municipales que se producen diariamente en el Distrito Federal en función del tipo de residuos municipales.

**COMPOSICIÓN FÍSICA**

En la tabla 16 se presenta la composición típica de los desechos de tipo doméstico para los Estados Unidos y su comparación con los de México, debido a las diferentes metodologías empleadas se presentan diferencias en algunos rubros. Estos datos pueden transformarse a base seca utilizando la ecuación 5.3

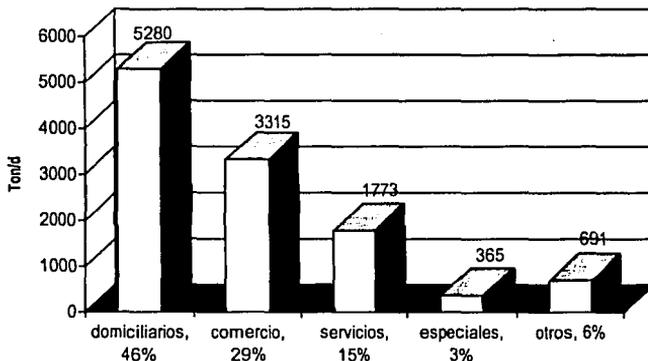


Figura 7. Residuos sólidos municipales generados en el Distrito Federal

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 16. composición de los residuos del tipo doméstico

COMPONENTE	ESTADOS UNIDOS, INTERVALO	% EN PESO ESTADOS UNIDOS TÍPICO	MÉXICO
Comida	6-8	9	31.6
Papel	25-40	34	14.2
Carón	3-10	6	
Plástico	4-10	7	5.8
Hule	0-2	0.5	
Textil	0-4	2	1.2
Desechos de jardinería	5-20	18	9.8
Vidrio	4-12	8	6.6
Latas	2-8	6	1.2
Metales no ferrosos	0-1	0.5	
Materiales ferrosos	1-4	3	
Cuero	0-2	0.5	27.7 ¹
Madera	1-4	2	
Cenizas	0-6	3	

¹ Otros.

Adaptado de: Tchobanoglous et al., 1997, *Semermip-INE*, 1997.

En la tabla 17 se presenta con detalle la composición física de los residuos sólidos municipales en la zona metropolitana del valle de México



Tabla 17. Composición física de los residuos sólidos municipales en la ZMVM

Aceites comestibles	Llantas usadas
Acetato de celulosa	Madera
Algodón	Mangueras
Alimentos preparados (alimentos deshidratados refrigerados, congelados, etc.)	Material de construcción
Alimentos ácidos (frutas, sopas, puré de tomate, verduras, legumbres, etc.)	Material ferroso
Alimentos de baja acidez (pescados, mariscos, mayonesas, salsas, etc.)	Material no ferroso
Aditivos para alimentos (conservadores, saborizantes, colorantes, gomas, etc.)	Manteca vegetal
Aluminio	Margarina para uso industrial
Azúcares y sus derivados (dulces, gelatinas, etc.)	Oleomargarinas
Bajo alfombras	PET
Balatas	PVC
Bebidas no alcohólicas y de bajo contenido de alcohol (néctares, concentrados, agua envasada, cerveza, etc.)	Pañal desechable
Borra	Papel 1º blanca
Bronce	Papel 2º blanca
Carbón	Papel 2º pinta
Carne fresca (res, aves, pescado, etc.)	Papel archivo blanco
Cartón combinado con impresión	Papel encerado
Cartón combinado sin impresión	Papel periódico y revista
Cartón sin combinar y sin impresión	Papel higiénico
Cartón tetrabrik	Pilas eléctricas
Cartón tetrapack	Pintura vinílica
Cartón variado	Pintura de aceite
Cera parafina	Poliétileno baja densidad
Cerámica	Productos cáncicos (embutidos, fiambres, tónicos, etc.)
Cereales, granos y semillas y frutas secas	Pulque
Cinescopio	Poliuretano
Cobre	Poliestireno exp.
Colchones	Poliétileno alta densidad
Cubre asientos	Residuos semiliquidos
Cuernos	Residuo fino
Cuero	Residuos gruesos
Cuerpos huecos	Respaldo de silla
Chácharas	Sillones
Envase forro medicamentos de aluminio	Sillas
Envase para aluminio	Tambores de plástico
Especias y condimentos	Tambores metálicos
Endulcolorantes (artificial y natural)	Tenis
Forro de aluminio	Toldos de autos
Fibra de vidrio	Trapo de algodón
Fibra dura vegetal	Tubo galvanizado
Fibra sintética	Trapo sintético
Filtros de aire	Televisores
Harinas y sus derivados (pastas, frituras, y almidones, etc.)	Utensilios del hogar
Huevo y sus derivados, leche deshidratada y sus derivados, cazo, manteca de cerdo	Vidrio plano
	Vidrio ámbar



Hueso	Vidrio de envases
Hule	Vidrio esmeralda
Juguetes	Vidrio Georgia
Licores	Vidrio de otros colores
Lamina de aluminio	Vidrio transparente
Lamina metálica	Vinil
Lamina metálica ferrosa	Vinos
Lamina negra	Yeso de curación
Loza de vidrio	Zapatos
Loza y cerámica	

Adaptado de: OPS-OMAS, 1996.

En un trabajo elaborado en 1980 se encontró que la composición varía según el estado económico, como lo muestra la tabla 18.

Tabla 18. Composición en por ciento de los residuos sólidos
Para diferentes estratos económicos en el Distrito Federal.

	ESTRATO / INGRESO			
	8 a 11 sm	1 sm	4 a 7 sm	de 11 sm
Orgánico	55,3	46,2	48,5	449,0
Metal	2,9	1,9	2,3	44,0
Papel	16,1	17,0	16,2	19,2
Plástico	6,1	5,1	5,9	6,5
Vidrio	10,3	7,7	8,3	14,8
Textiles	14,0	6,0	8,1	4,8
Otras	4,9	15,7	10,5	5,1
	4201,0	4500,0	4819,0	5252,0

sm. Salario mínimo.

Adaptado de Restrepo y Phillips, 1981.

En la tabla 19 se compara la composición física de los residuos sólidos municipales dentro del Distrito Federal y dos municipios del Estado de México. Aun cuando es clara diversificación, el mayor porcentaje, que corresponde a los residuos orgánicos (alimenticios), es similar.

Tabla 19 Composición fiscal de los residuos municipales en el Distrito Federal
y en municipios del estado de México(% en peso)

	SUBPRODUCTOS	DOMICILIARIOS	MUNICIPAL	NAUCALPAN	TLALNEPANTLA
1	Abate lenguas	—	0.03		
2	Algodón	2.15	1.29	0.16	0.28
3	Cartón	5.36	6.07	4.34	4.47
4	Cuero	0.11	0.10	1.01	1.13
5	Envase de algodón	1.96	1.84	1.48	2.19
6	Fibra dura vegetal	0.06	0.39	0.40	0.48
7	Fibra sintética	1.43	0.87	0.85	0.89
8	Gasa	—	0.07	—	—
9	Hueso	0.08	0.25	0.75	0.95
	SUBPRODUCTOS	DOMICILIARIOS	MUNICIPAL	NAUCALPAN	TLANEPANTLA



10	Hule	0.20	0.41	0.37	0.41
11	Jeringa desechable	—	0.04	—	—
12	Lata	1.58	1.16	3.76	4.19
13	Loza y cerámica	0.37	0.33	0.73	0.76
14	Madera	0.10	0.75	1.04	1.23
15	Material de construcción	0.63	3.14	1.03	1.38
16	Material ferroso	1.39	1.33	1.32	1.12
17	Material no ferroso	0.06	0.57	1.49	1.29
18	Papel bond	1.19	3.71	1.38	4.40
19	Papel periódico	4.61	4.36	—	—
20	Papel sanitario	8.78	5.18	—	—
21	Pañal desechable	3.37	1.75	4.88	4.57
22	Placas radiológicas	—	—	—	—
23	Plástico de película	6.24	4.86	4.53	4.18
24	Plástico rígido	4.33	3.30	3.50	3.47
25	Poliuretano	0.16	0.20	0.39	0.81
26	Poliestireno expandido	0.78	0.59	0.20	1.29
27	Residuo alimenticio	34.66	38.68	45.24	43.02
28	Residuo de jeringa	5.12	5.29	3.84	4.31
29	Toallas sanitarias	1.66	0.03	—	—
30	Trapo	0.64	0.47	1.58	1.62
31	Vendas	—	0.01	—	0.01
32	Vidrio de color	4.00	2.75	2.27	2.30
33	Vidrio transparente	6.77	4.82	4.30	3.74
34	Residuo fino	1.21	2.53	2.84	3.34
35	Otros	1.00	2.84	2.32	3.09
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Adaptado de: OPS-OMS, 1996

PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El procesamiento tiene uno o varios de los siguientes objetivos:

- Mejorar la eficiencia de los procesos
- Recuperar materiales
- Recuperar energía

Entre los procesos que tienen a mejorar la eficiencia de los otros, se encuentran la reducción de volumen de tamaño, la eliminación del agua y la separación de materiales. En México, el procesamiento de los residuos domésticos se aplica muy poco debido a la existencia de "pepenadores".

PROCESOS PARA REDUCIR EL VOLUMEN

Por medios mecánicos

Se efectúa desde que es recolectada la basura, por ejemplo, dentro de los camiones, hasta que es depositada en un relleno, donde se emplean aplanadoras.

Por medios químicos

El sistema más común es la incineración, que puede emplear para recuperar energía. Cuando se aplica para reducir volumen se tiene una eficiencia de entre 80% y 90%. La operación se realiza entre 760° y 870°C,



temperatura a la cual se destruye la mayoría de los compuestos que generan mal olor. De esta forma los productos de incineración son gases y algunas emisiones tóxicas, en función de la calidad de los residuos y las eficiencias de operación, generalmente contienen partículas de tamaño entre 5 y 120 μm , siendo aproximadamente, un tercio de ellas inferior a 10 μm "tracción respirable". Los equipos anticontaminantes que se emplean y algunas de sus características se listan en la tabla 20.

Tabla 20. características de los equipos para el control de la contaminación empleados de basura doméstica.

SISTEMA	COSTO ¹ INVERSIÓN INICIAL	ESPACIO %	EFICIENCIA %	INSUMO DE AGUA L/min	PÉRDIDA DE CARGA m ³ /min.	COSTO DE OPERACIÓN
Cámaras de sedimentación	—	60	0-30	0.3-0.4	0.5-1	0.25
Multiciclones	1	20.	30-80	0	3-4	1.00
Ciclón de 1.5m diámetro	1.5	30	30-70	0	1-2	0.5
Lavadores	3	30	80-96	0.5-0.1	6-8	2.5
Precipitadores electrostáticos	6	100	90-97	0	0.5-1	0.75
Filtros		100	97-99.9	0	5-7	2.5

¹ Costos comparativos.

Fuente: Tchobanoglous et al., 1997.

PROCESOS PARA LA REPRODUCCIÓN DE TAMAÑO

El objeto de estos procesos es obtener un producto final uniforme y de menor tamaño, lo que necesariamente no implica la reducción del volumen, incluso este puede aumentar. Existen diversas máquinas para realizar este proceso, tales como los molinos y los desmenuzadores.

ELIMINACIÓN DE AGUA

Los principales procedimientos que existen para eliminar el agua son el drenado y el secado. El drenado se emplea sólo en desechos con alto contenido de agua, como es el caso de los lodos de purga de las plantas de tratamiento. Entre los dispositivos que existen se encuentran los filtros prensa, los filtros banda, los lechos de drenado y las centrifugas.

Para el secado se emplean procedimientos que eliminan el agua por transferencia de calor ya sea por convección, conducción o radiación. Los dispositivos que predominan son los de convección en los que se hace circular un gas caliente a través de los sólidos. En la práctica, los aparatos más comunes son las charolas rotativas, el lecho fluidificado, la aspersión y el tambor rotatorio.

SEPARACIÓN

Se emplea para clasificar los desechos de acuerdo con los requerimientos de las etapas subsecuentes. Existe una gran variedad de técnicas, por ejemplo, en la separación con aire se obtiene una mezcla seca en una fracción ligera que normalmente esta compuesta por materia orgánica (papel, plástico, etc.) y otra pesada que, básicamente, es inorgánica (vidrio, metal, etc.).

La separación magnética se emplea para recuperar fragmentos ferrosos y se aplica sobre desechos desmenuzados y que, en ocasiones, son separados con aire. El cribado es también una forma de separación en la que se busca tener fracciones homogéneas, se lleva a cabo tanto por vía húmeda como por vía seca. En la tabla 21 se presentan las principales técnicas de separación.

**Tabla 21. Principales técnicas de separación.**

TECNICA	MATERIAL SEPARADO	PRETRATAMIENTO	COMENTARIOS
Separación manual	Papel, metales ferrosos y no ferrosos y madera	Ninguno	Separa papel corrugado de alta calidad. Es rentable si los precios de reventa y mano de obra lo permiten
Separación con aire	Material combustible	Desmesurado	Para concentrar metales en la fabricación pesada y combustibles en la ligera
Separación inercial	Material combustible	Desmesurado	Lo mismo que para la separación con aire
Cribado	Vidrio	Ninguna o desmesurado	Se pueden emplear antes y/o después de desmenuzar o separar aire. Se usa para concentrar vidrio
Flotación	Vidrio	Desmesurado y separación con aire	El control de la contaminación con agua residual producida para resultar muy caro
Separación óptica	Vidrio	Desmesurado, separación con aire y cribado	Alternativa de flotación que separa vidrio de material opaco
Separación electrostática	Vidrio	Desmesurado, separación con aire, separación magnética y cribado	En estado experimental
Separación magnética	Material ferroso	Desmesurado o mezcla húmeda	Empleado en varias instalaciones
Separación por peso	Aluminio y otros materiales no ferrosos	Desmesurado y separación con aire	Separa material por diferencia de peso específico. Se requiere una unidad por cada material

Fuente: Tchobanoglous et al. 1997.

RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Incineración con recuperación de calor

La incineración de los residuos sólidos municipales es una práctica muy antigua realizada en sus inicios con métodos rudimentarios y contaminantes del aire. La ceniza resultante de esta generación se utilizaba como un elemento auxiliar en la agricultura. Uno de los primeros incineradores fue construido en 1874 en Nottingham, Inglaterra. Un inventario reciente muestra el número de incineradores que hay en algunos países (tabla 22.)



Tabla 22. Estado del arte de la incineración de residuos sólidos a nivel mundial.

CIUDAD	HABITANTES (MILLONES)	NÚMERO DE PLANTAS DE INCINERACIÓN	CANTIDAD DE RESIDUOS INCINERADOS (millones ton/año)	PORCIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES INCINERADOS	RECUPERACIÓN DE ENERGÍA
Suecia	8.6	23	1.8	55	100%(incineración regional)
Dinamarca	5.2	38	1.7	65	100%(incineración regional principalmente)
Alemania	61.2	47	9.2	30	En su mayoría
Holanda	14.9	12	2.8	40	50% de las plantas
Francia	55.8	170	7.6	42	68% capacidad instalada
España	39.8	22	0.7	6	En 5 plantas
Italia	57.6	94	2.7	18	30% capacitación instalada
Gran Bretaña	57.1	34	1.3	8	En muy pocas plantas
Hungría	10.6	1	0.3	9	No existe recuperación
Estados Unidos	248.3	168	28.6	16	En 120 plantas
Japón	123.2	1893	32	72	En muy pocas plantas
Canadá	23.1	17	1.7	—	Nada

Fuente: Internacional Solid Waste Association (1996), en Sánchez, 1993.

El calor contenido en los gases producidos durante la incineración puede ser recuperado para generar valor. Además

Remanente después de la operación se puede emplear también para precalentar el aire de la propia combustión que a partir de los años 70 ha cobrado particular interés. Los gases se calientan hasta 900° y 1100°C y se enfrían antes de ser arrojados a la atmósfera entre 315° y 540°C.

La incineración (figura 9.) se describe como un proceso de reducción en peso y volumen de los residuos sólidos mediante la combustión controlada en presencia del oxígeno. Las reducciones que se logran con este proceso varían de 75% a 90% en peso dependiendo de la composición de los residuos. El principio teórico de la incineración establece una relación química entre el combustible y el comburente, en donde el combustible que libera energía térmica a medida que es quemada. Esta energía liberada se denomina "calor de combustión".

Los principales productos del proceso de incineración son partículas en suspensión y ciertos gases como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), nitrógeno(N₂) y oxígeno (O₂), provenientes del aire en exceso que no fue quemado completamente, así como gases inertes debidos a la propia basura y el aire utilizando como fuente de oxígeno. También se genera agua, cenizas y escorias con metales, vidrios, piedras y materiales inertes.

Como se mostró anteriormente, muchos de los desechos sólidos son básicamente orgánicos (carbono, hidrógeno, oxígeno y azufre) y en condiciones ideales los productos de combustión son dióxido de carbono, agua y dióxido de azufre, de acuerdo con:



Para determinar la cantidad de oxígeno requerido basta realizar un calculo estequiométrico considerando el análisis elemental del compuesto y el contenido del oxígeno en el aire (21%, en aire seco). Pero para que la incineración se lleve a cabo en forma correcta es necesario suministrar un exceso de aire para crear

turbulencia y favorecer su mezclado con los desechos sólidos. En tal forma que se requiere de un 10% a 20% adicional. Lo que implica un aumento en el costo del equipo de descontaminación por la capacidad que requiere.

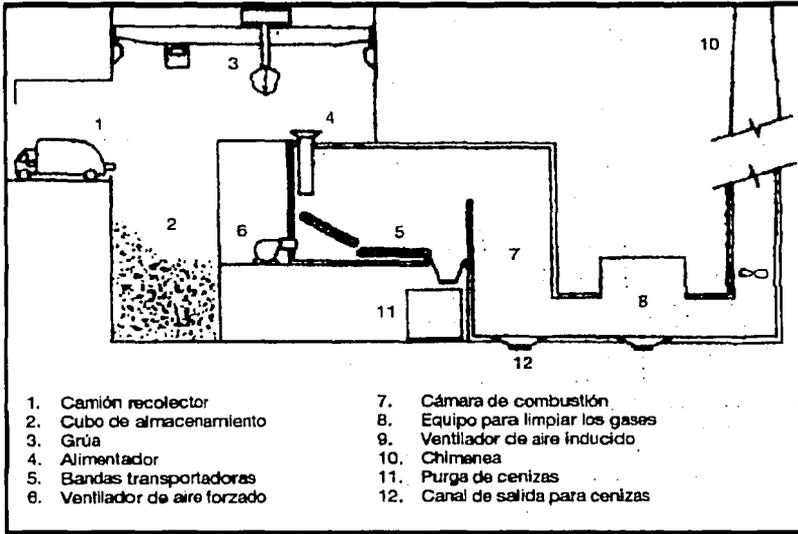


Figura 8. Diagrama esquemático de una planta de incineración

Cuando la combustión es incompleta por insuficiencia de aire puede presentarse monóxido de carbono. Si la combustión se realiza a temperaturas elevadas y con exceso de aire puede hacer disociación de nitrógeno y originar óxidos de nitrógeno (NO_x). Cabe aclarar que el nitrógeno contenido en los residuos sólidos no constituye sustancialmente a la formación de NO_x . Las emisiones de SO_x son también despreciables, aunque por otro lado puede haber descargas de HCl , metales pesados, furanos y dioxinas. Últimamente, la tecnología de lecho fluidificado es presentada como una de las opciones de mayor interés ambiental y económico.

Pirólisis

La pirólisis es una operación utilizada para la basura rica en papel y otras materias orgánicas con altas temperaturas y en ausencia de oxígeno los residuos se transforman mediante un proceso endotérmico de rompimiento y condensación en:

1. Una corriente gaseosa que contiene H_2 , CH_4 , CO_2 , CO y otros gases. La proporción de cada uno de ellos es función del producto original y de la temperatura. El gas obtenido tiene un contenido energético de 6,300 kcal/m³.
2. Una fricción compuesta de alquitrán y/o aceite que se estima tiene un valor calorífico de 5,544 kcal/kg. Se forman, además, otros compuestos como ácido acético, acetona y metano.
3. Un residuo formado prácticamente de carbón y restos de material inerte.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Para la celulosa la siguiente reacción es representativa de su descomposición:



La pirólisis se utiliza en el tratamiento de algunos residuos sólidos industriales. Por ejemplo, la compañía Firestone ha aplicado este proceso al tratamiento de llantas usadas dando por resultado un producto con 55% de una mezcla de líquidos semejantes al petróleo y 45% de un resultado carbonizado.

En la tabla 23 se resumen los principales procesos químicos y sus características para la recuperación de energía.

Tabla 23. principales procesos químicos para la recuperación de energía.

PROCESO	PRODUCTO FINAL	PRETRATAMIENTO	COMENTARIO
Incineración	Energía en forma de vapor	Ninguno	Se necesita un uso determinado para la energía. Existen muchas aplicaciones industriales. Altos requerimientos para el control de la contaminación del aire.
Ignición con combustible	Energía en forma de vapor	Reducción de tamaño, separación con aire y magnética.	Menor costo inicial con requerimientos elevados para el control de la contaminación.
Pirólisis	Energía en forma de vapor	Reducción de tamaño y separación magnética.	Tecnología probada en instalaciones piloto. Problemas de contaminación de aire.
Hidrólisis	Glucosa y furfural	Reducción de tamaño y separación con aire	En estudio.
Conversión química	Combustible gas y acetato de celulosa	Reducción de tamaño y separación con aire.	En estudio.

Fuente: Tchobanoglous et Al., 1977.

Recuperación mediante procesos biológicos

En la tabla 24 se resumen los principales procesos biológicos para el tratamiento de desechos sólidos orgánicos.

A continuación se tratan con mayor detalle algunos de los procesos biológicos presentados

Elaboración de composta

La composta es un abono natural que se obtiene mediante un proceso biológico a partir de desechos orgánicos vegetales y animales, con excepción de plástico, hule y cuero. La transformación ocurre básicamente en sustancias solubles como azúcares, almidones, aminoácidos y ácidos orgánicos, así como en sustancias fibrosas (hemicelulosas, celulosas, lignina, lignocelulosa), grasas y proteínas. La descomposición es exotérmica y se realiza tanto aerobia como anaerobiamente. Esta última se aplica en menor escala debido a la generación de malos olores. El producto final es una especie de humus que tiene las siguientes características.

- Color cae oscuro a negro
- Baja relación N/C (inferior a la de los fertilizantes comerciales)
- Microorganismos activos
- Alta capacidad de intercambio y de absorción de agua

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Tabla 24. procesos biológicos para el tratamiento de los desechos sólidos.

PROCESO ¹	PRODUCTO	COMENTARIO
Elaboración de composta	Metal húmico	Como mejorador de suelo. Tecnología muy probada
	Gas metano	
Digestión anaerobia	Proteínas y alcohol	Útil para la recuperación de energía
Conversión en proteínas	Glucosa y furfural	En estudio
		Junto con procesos hidrolíticos
Fermentación		

¹ En todos los casos se recomiendan como pretreatmento disminución de tamaño y separación de inertes con aire.

La composta aumenta la actividad de lombrices y otros organismos que se encuentran en el suelo y puede ser utilizada como una capa de protección que al ponerla alrededor de árboles, plantas y flores en los jardines reduce la erosión ocasionada por la lluvia y evita la evaporación del agua.

En la tabla 25 se listan las principales consideraciones de diseño para elaborar composta en medio predominantemente aerobio. Dicha transformación se lleva a cabo por medio de hongos, bacterias, lombrices y otros microorganismos.

La composta se puede elaborar tanto a nivel industrial como casero. En la práctica existen muchos métodos para fabricarla, siendo el más común de los montículos a cielo abierto. En este caso, los montículos se remueven una o dos veces por semana durante cinco semanas. Normalmente, se dejan de dos a cuatro mas para asegurar su estabilización. Cuando el composteo se lleva a cabo en un sitio abierto, los principales problemas asociados son la producción de olores, la pérdida de material por viento y la posible lixiviación de metales pesados. Además, en estos casos, por la falta de una aeración artificial, el proceso se lleva a cabo en forma más lenta.

El composteo industrial en pila es un proceso que requiere mucho cuidado y una considerable inversión económica. Los procesos mecánicos desarrollados consisten en tres etapas:

- Preparación de los desechos: recepción, clasificación, disminución de tamaño, adición de agua y nutrientes.
- Estabilización de los residuos
- Preparación del producto: cribado, mezclado con aditivos, granulación, empaclado, transporte y comercialización.

Tabla 25. Consideraciones de diseño para la elaboración de composta a partir de desechos sólidos municipales

PARAMETRO	COMENTARIO
Terreno	Para 125/d se requiere aproximadamente, 1 ha
Tamaño	Los sólidos deben de tener tamaño entre 2 y 8 cm.
Inóculo	Inóculo con residuos sólidos parcialmente descompuestos a razón de 1% a 5% en peso, también se puede adicionar lodo de purga de tratamientos biológicos de agua
Mezclado cierto	Para prevenir la aglomeración, secado y canalización es necesario impartir un mezclado. La frecuencia depende del método de composteo y del tipo de desecho.
Oxigenación	Aire con una concentración mínima de 50% del oxígeno inicial, se requiere cuando el

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



	proceso sea por vía aerobia.
Contenido de humedad	50% a 60%, con un óptimo de 55%.
Temperatura	Se recomienda tenerla entre 45° y 55 °C los primeros días y entre 55% y 60% el periodo restante. Si la temperatura llega sobrepasar las 66°C la actividad biológica se detiene.
Requerimientos de nitrógeno	Relación C/N de 35 a 50. valores inferiores generan pérdida de nitrógeno y superiores un crecimiento limitado.
pH	Mantenerlo por debajo de 8.5 para evitar la gasificación del amoníaco.

A nivel doméstico la elaboración de composta es un proceso sencillo que no requiere grandes inversiones. Para hacerla se debe contar, ante todo, con un espacio adecuado y con ventilación, como jardín, terraza o azotea. Para ello se emplean botes que pueden ser de lámina o madera y que se colocan en un sitio sombreado y cercano de una fuente de agua. La basura se coloca en capas, la primera lleva residuos de jardinería como pasto, hojarasca, pedazos de plantas frescas y secas, hojas y ramas pequeñas; la segunda, está compuesta por desechos de cocina, es decir, cáscaras de frutas y verduras, residuos de té y café, cascarrones de huevo, etc. Es importante no utilizar desechos que no tengan condimentos como aceites, vinagres, ni tampoco carnes, ya que se descomponen más rápido que los vegetales y propician que se desarrollen bacterias nocivas. La última capa se compone de tierra. Esta sucesión de capas se continúa hasta llenar los contenedores.

El contenido de los botes debe voltearse periódicamente (tres a seis días) para permitir la oxigenación y evitar que se formen zonas anaerobias en las que se produzca amoníaco existen algunos aspectos del proceso de composteo que deben cuidarse como son: temperatura, humedad y corrientes de aire que desechen el producto. Dependiendo de los materiales empleados y del clima la composta se obtiene de tres a cuatro meses.

Digestión anaerobia

En la conversión de la materia orgánica contenida en los desechos sólidos en un gas con alto contenido energético. Es necesario preparar los desechos mediante clasificación y reducción de tamaño. Posteriormente, se agregan nutrientes y agua, se ajusta el pH y, de preferencia, se calienta el reactor. Desde el punto de vista microbiológico el proceso se divide en tres etapas:

1. Hidrólisis. Es la descomposición de moléculas orgánicas de alto peso molecular en compuestos más sencillos.
2. Fase acidogénica. Donde las moléculas orgánicas sencillas son transformadas en ácidos grasos volátiles.
3. Fase metanogénica. Donde los compuestos anteriores son transformados en gas metano y otros subproductos.

Los desechos sólidos mezclados con lodos de purga de plantas de tratamiento producen biogás con un contenido de metano de 50% a 60% a razón de 0.6 m³ de gas/kg de SV destruido.

Reciclaje

El reúso, el reciclado y la recuperación de materiales con valor económico son de importancia fundamental en la estrategia de control de la contaminación. Reciclar significa que los desechos y desperdicios que genera el



hombre **debido a su forma de vida** vuelvan a ser integrados a un ciclo, ya sea natural, industrial o comercial. El objetivo principal de reciclar es conservar los recursos naturales, Gutiérrez y Estrada (1994) señalan que:

- Una tonelada de papel reciclado ahorra 17 árboles y da suficiente energía para una casa por seis meses.
- Se requiere la misma energía para producir una lata de material crudo que 20 latas de aluminio reciclado.
- Las fabricas de vidrio ahorran alrededor de 25% de energía usando vidrio reciclado.

Algunos ejemplos de residuos recuperables son el vidrio, papel, cartón y algunos plásticos. Los principales productos metálicos que se reciclan se encuentran listados en la tabla 26. se estima que de 10% a 20% de los residuos sólidos son actualmente reciclados en el país (Gutiérrez y Estrada, 1994)

Tabla 26. principales productos que se reciclan de la basura.

MATERIAL	COMENTARIO
Aluminio	Con el cual están hechas las latas de refresco, papel para envolver alimentos (papel aluminio), algunas partes mecánicas para autos (pistones y bombas), algunos marcos de puertas y ventanas, adornos y tubos para pasta de dientes y cremas. 11% de la producción total de aluminio se utiliza en la elaboración de latas, principalmente de cerveza y refresco. El aluminio es muy apreciado por los compradores y es fácil de reciclar.
Acero	Con el se fabrica la mayor parte de los utensilios de cocina (trastes, cubiertos y otros) así como instrumental quirúrgico. En la industria del empaque se utiliza, aproximadamente, 9% del acero que se produce. La manera de diferenciar este metal del aluminio es utilizando un imán para atraerlo. Fabricar acero cuesta cuatro veces más que reciclarlo.
Cobre	De color rojizo, este material se emplea para fabricar muchas tuberías (por ejemplo, las del gas) y cables (para el teléfono, luz, TV, etc.) también se utiliza para adornos y utensilios de cocina. Su valor económico es tan importante que se llegan a robar los cables ya colocados para comercializarlos.
Plomo	Se utiliza para tubos de plomería, baterías de auto y conductores para instalaciones eléctricas, entre otras cosas.
Hierro	Con este metal están hechas las corcholatas y algunas latas, tuberías, material eléctrico y adornos (conocidos como hierro forjado).
Antimonio	Se utiliza, principalmente en la industria automotriz para la fabricación de bombas y molduras.
Bronce y latón	Se fabrican piezas de plomería, llaves y piezas decorativas.
Plástico	Los plásticos que utilizamos diariamente son derivados de los hidrocarburos y del gas natural. Alrededor de 95% de estos productos son reciclables, siempre y cuando no estén mezclados con metal, ceras o pegamento.

Adaptado de: Lasa et. Al., 1996

Para reciclar se requiere poder almacenar los subproductos y separarlos, por eso a gran escala, interviene en forma determinante la participación ciudadana y los intereses económicos. La tabla 27 muestra los desechos según su posibilidad de uso.

**Tabla 27.** clasificación de los residuos sólidos con base a su utilidad.

REUTILIZACIÓN Y RECICLADO	REUSO PARA MANUFACTURAS ALTERNAS	APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ALIMENTICIOS	RECUPERACIÓN DE ENERGÍA	CONFINAMIENTO
-Cartón	-Loza y cerámica	-Huesos	-Algodón	-Abatelenguas
-Lata	-Material de construcción	-Residuos alimenticios	-Cuero	-Jeringas
-Material ferroso	-Papel	-Residuos jardinería	-Envases de cartón	-Toallas sanitarias
-Material no ferroso	-Papel periódico		-Fibra dura vegetal	-Vendas
-Papel	-Plástico de película		-Fibra sintética	-Batería
-Papel periódico	-Llantas (neopreno)		-Gasa	-Medicamentos
-Plástico de película	-Plástico rígido		-Madera	
-Plástico rígido	-Hule		-Papel sanitario	
-Vidrio de color	-Poliuretano		-Pañal desechable	
-Vidrio transparente	-PET		-Trapo	
	-PVC		-Cartón	
			-Papel	
			-Papel periódico	

Fuente: DOF, 1994.

Existen dos opciones para recuperar artículos: la recuperación en la fuente y la recuperación en la planta.

Recuperación en fuente

Consiste en desarrollar métodos para adquirir de la población (fuente generadora) los subproductos deseados. Para ello debe orientarse, para que en lugar de mezclar y deshacerse de la basura realice una selección de los productos susceptibles de ser aprovechados.

Esta opción requiere contar con contenedores específicos, camiones con compartimientos para los diversos subproductos, rutas de recolección exclusivas, campañas de difusión, comercialización, etc. También, la participación del gobierno es determinante, pues es menester desarrollar políticas para contar con recipientes y posteriormente almacenar en forma clasificada los subproductos así como con centros de acopio en sitios estratégicos. Todo lo anterior tiene un costo que no es despreciable.

Un caso particular, debido a su múltiple uso, es la recuperación de los aceites en la ZMVM, lo cual detalla en la tabla 28.

Recuperación en planta.

Consiste en colocar en una industria específica sistemas de recuperación para captar materiales prácticamente puros. Es, por tanto, fácil de implantar, sin embargo, para su funcionamiento es necesario que exista un interés económico o una marcada conciencia ambiental en la industria.

Se debe hacer notar que muchos programas de reciclaje fracasan debido a que no se considera que los materiales de desecho deben cumplir ciertas características para ser nuevamente usados. En la tabla 29 se señalan algunas de ellas.

Tabla 28. Manejo de los aceites en la ZMVM.

POCENTAJE	UTILIZACIÓN Y MANEJO
11	Se utilizan en diferentes áreas, se recogen según el uso y se transfieren para su refinamiento
2	Se utilizan en diferentes áreas, se recogen según el uso y se depuran en diferentes empresas.
19	Se consumen en las fábricas de ladrillos como combustible principal.
15	Se consumen para los automóviles como sustituto de gasóleo.
43	



10

Se utilizan en diferentes áreas, se escurren en el lugar o bien durante el uso a través de la canalización.

Se usan para la producción de grasas aglutinantes, para el proceso de endurecimiento y en otras aplicaciones. No puede comprobarse la vía de evacuación posterior de estos contingentes.

Fuente: OPS-OMS, 1998

Tabla 29. presentación de subproductos reciclables para su comercialización.

	SUBPRODUCTO	ESPECIFICACIONES DE COMPRA	PRESENTACIÓN
Cartón	-Seco		
	-Limpio		
	-Sin grapas, gomas y lazos		-Paquete flejado
	-Separado por tipo		
Papel	-Limpio		
	-Sin grapas, gomas		
	-Separado por tipo		-Paquete flejado
Plástico	-Limpio		
	-Sin mezcla de otros residuos		
	-Separado por tipo para ciertos procesos		
	-Molino		-Paquete flejado
	-Granulometría requerida		
Lata	-Costal		
	-Limpio		
	-Sin mezclas de otros residuos		-Placas flejadas
Vidrio	-Compactada		
	-Limpio		
	-Sin etiquetas		
	-Separado por color		
	-Separado por tipo para ciertos procesos		-A granel
	-Molino		
	-Granulometría requerida		

Fuente: Guzmán y Estrada, 1994

Los plásticos

El caso de los plásticos es particular ya que es un material que se ha tomado un problema debido a su difícil degradación y a que se acumula en grandes cantidades. Sus ventajas al sustituir al vidrio, al metal y al papel lo han diseminado en sitios muy remotos y, además, su bajo costo ha motivado la generación de un volumen muy grande de desechos. La sociedad actual gira alrededor del plástico. En las casas se genera 60% del total (bolsas de basura, empaques, botellas, envases, etc.), los comercios constituyen con 10%, las industrias de alimentos, cosméticos y productos de limpieza generan otro 10%, la industria transformadora colabora con 15% se genera cuando se extrae la materia prima (Leal et al., 1996).

Existen más de 50 tipos diferentes de plásticos, que se dividen en dos grandes rubros: los **termoplásticos** (tabla 30) y los **termofijos**. Los termoplásticos son materiales que se funden y pueden moldearse muchas veces. Generalmente, se identifican por el número que aparecen dentro del logotipo de reciclaje. Los plásticos termofijos son materiales que una vez moldeados difícilmente se pueden fundir para volver a utilizarse. Los apagadores de luz, vajillas (melamínicas), pegamentos, colchones de hule espuma y rellenos de los muebles son ejemplos de ellos. Algunas variedades son susceptibles de ser recicladas mediante procesos complejos.



Tabla 30. Tipos de termoplástico.

TIPO DE TERMIPLASTICO	CLAVE	USO
Poliétileno teralato (PET o PETE)	1	Se utiliza para botellas de refresco carbonatado y para recipientes de comida
Poliétileno de alta densidad (HDPÉ o PEAD)	2	Empleado en las botellas de leche, botellas de detergente, bolsas, etc.
Policluro de vidrio (PVC)	3	Con él se producen recipientes domésticos de comida y tubería.
Poliétileno de baja densidad (LDPE o PEBD)	4	Frecuente en los envases de película fina y envolturas.
Polipropileno (PP)	5	Usado para las cajas de botellas, maletas, tapas y etiquetas.
Poliestireno (PS)	6	Empleada en la producción de vasos y platos de unícel y artículos moldeados por inyección.
Otros	7	Todas las demás resinas y materiales multilaminados. Son utilizados en productos que no tienen grandes especificaciones, como es el caso de las defensas de autos, postes, vallas, recipientes para comida, etc.

Adaptado de: Law et al., 1996.

La "pepena" en México

Las personas que obtienen sus recursos económicos a partir de la recolección de los residuos sólidos existen en diversos países con distintos nombres: packs y teugs (estos últimos pertenecientes a una casa social) en Dakar; wahis y zabbaleen en el Cairo; gallinazos en Colombia; scavengers o garbage pickers en países de habla inglesa; y pepenadores resoqueadores en México (Castillo, 1990). La pepena es el método de separación y recuperación de mayor eficiencia que se conoce ya que el hombre es capaz de distinguir y clasificar por tamaños, colores, usos, texturas, etc.

No hay datos precisos de los pepenadores en el país, si embargo, se sabe que parte de ellos son los propios trabajadores del estado que participan como chóferes, barrenderos y "macheteros" junto con los "voluntarios". Todos ellos practican de una u otra forma la pepena. En la Ciudad de México, tanto los barrenderos con su "carrito de basura"

(que son dos tambos de 200 L cada uno), como los chóferes, del camión con sus dos ayudantes o "macheteros" (pagados por el municipio) y dos o tres jóvenes que se conocen como "voluntarios" reciben gratificación por efectuar su trabajo y comerciar con la basura. Los camiones pasan a comercios y pequeñas industrias ("las fincas") en días precisos de la semana mediante un acuerdo personal en el cual se fija una cuota. Tal es el caso de panaderías, tiendas de abarrotes, talleres mecánicos, carpinterías, restaurantes, hoteles y autoservicios. El chofer se queda con la mayor parte de la aportación y reparte el resto con los macheteros y algunas veces los voluntarios. Estos últimos van separando botellas, alimentos, muebles viejos, trebejos, fierro, cartón, papel, hueso, plástico, etc., que venden en uno de los más de dos mil negocios de compra de desechos industriales que hay en la Ciudad de México. Posteriormente, el camión se dirige a una estación de transferencia en donde, previa una nueva selección, la basura pasa a un trailer con capacidad de 20 a 25 toneladas que equivalen a 1 contenido de 7 u 8 viajes del camión original. Los residuos sólidos son entonces llevados hacia el relleno sanitario.

Estos lugares están controlados por un grupo de "líderes" que explotan a los pepenadores dentro de una organización de tipo sindical surgida a los principios de los años 60. cada organización divide los tiraderos en diferentes tramos en los cuales llega la basura de diferentes zonas de la ciudad. De esta forma hay tramos con una mejor basura proveniente de zonas económicas altas y también hay tramos con residuos



provenientes de los mercados públicos en los que se llevan a alimentar a los puercos. Cada tramo está a cargo de un cabo que, a su vez, tiene bajo su mando a viajes que van llegando, o bien, a qué familia no le corresponde trabajar. En promedio, una familia está conformada con seis personas. Cada miembro tiene un trabajo determinado; las mujeres seleccionan papel t cartón, los jóvenes buscan hueso, lámina, fierro o "chácharas" (cosas rotas), y los hombres clasifican los desechos en bultos, pacas y costales; los amarran, los suben al carro de las mulas y los llevan al "pesadero". Hay varios pesaderos en cada tiradero y ahí se encuentran los "pesadores", quienes manejan la báscula donde se pesan los materiales clasificados y se compran con dinero que dan a los líderes, quienes actúan como intermediarios.

En los pesadores se almacenan los productos durante dos o tres días, hasta que se hace un viaje de material que puede ser llevado a una empresa o a otro intermediario. La diferencia de precio entre el dinero pagado a los pepenadores y los precios de venta de los productos al exterior es de 1 a 8 veces en promedio.

Los pepenadores viven junto a la zona del tiradero; tienen un promedio de ingreso diario de 2 USD. Sus casas son de tabique (prestadas o rentadas por los líderes), de madera o de lámina con techos de cartón recubierto de petróleo. Viven hacinados en uno o dos cuartos muy pequeños. 85% son hijos y nietos de pepenadores que no han conocido ninguna otra forma de vida y, en muchas otras ocasiones, se alimentan con productos encontrados en la basura y tienen elevados índices de alcoholismo (Castillo, 1990).

El reciclaje en México

Como se mencionó, el reciclaje de los residuos sólidos representan una practica muy antigua que se ha venido realizando con el concurso de pepenadores, principalmente en el proceso de recolección y en los sitios de disposición. Lo primero que se recupera son los materiales de alta calidad y valor (tabla 31), que se generan en cantidades apreciables, requieren un mínimo de procesamiento y cumplen adecuadamente con las especificaciones del comprador.

Tabla 31. principales tipos de residuos sólidos municipales recolectados, 1991-1994
(volumen generado y reciclado)

TIPO DE RESIDUO	VOLUMEN (TONELADAS)	1991	1992	1993	1994
Papel, cartón, productos de papel	Generado	2963470	3090831	3952198	4146772
	Reciclado	60783	63393	81060	85050
Vidrio	Generado	1242677	1296084	16557283	1738874
	Reciclado	47694	49744	63607	66738
Metales (aluminio)	Generado	336997	351480	449433	471559
	Reciclado	18619	19419	24831	26054
Otros no ferrosos	Generado	104259	108739	139043	145889
	Reciclado	5760	6008	7682	8060
Ferroso	Generado	168499	175740	224716	235780
	Reciclado	9310	9710	12416	13027
Plásticos	Generado	922530	962178	1230322	1290893
	Reciclado	277	289	369	387
Llantas usadas	Generado	159929	166799	213284	223784
	Reciclado	1214	1266	1619	1699

Fuente: Sedesol-INE, 1994.

La eficiencia de la separación de la basura que llevan a cabo los pepenadores se estima en 6% y puede incrementarse hasta el doble con la instalación de bandas transportadoras en los sitios de tratamiento y



confinamiento de los residuos sólidos municipales en el país; aplicando tecnología mas avanzadas las recuperaciones de materiales podría ser significativa. Otro punto importante es el aprovechamiento de llantas que se utilizan como material combustible en los hornos de las cementeras del Valle de México.

En México, en septiembre de 1992, se puso en marcha en Morelos el Proyecto de Reciclar de Tlayacapan, el cual consistió en impulsar una empresa de carácter social que obtuvo la concesión del municipio para el manejo y aprovechamiento de los desperdicios orgánicos e inorgánicos. Su estrategia de funcionamiento se basa en clasificación y separación de la basura en la fuente y apoya, como los residuos que se obtienen, a las tareas de beneficio comunitario. Este tipo de iniciativas se están desarrollando en otros lados del país como Españita, en Tlaxcala y Juchitán, en Oaxaca. En Ciudad Juárez, Chihuahua, fue concesionado el manejo y venta de residuos a una organización de pepenadores y en Tecate, Baja California, mediante el Programa Escuela Digna, los niños concentran y venden botes de aluminio para su reciclamiento y los ingresos obtenidos se destinan al mejoramiento de sus escuelas (Sedesol-INE, 1994).

DISPOSICIÓN

La basura se acumula en lugares llamados vertederos; existen del tipo controlado y no controlado. En los primeros se toman medidas para evitar alteraciones ecológicas y se utiliza al terreno como medio receptor; se habla entonces de un relleno sanitario. En la tabla 32 se presentan las ventajas e inconvenientes de usar rellenos sanitarios.

Tabla 32. ventajas e inconvenientes de los rellenos sanitarios

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Cuando hay disposición de terreno es la opción más barata.	En áreas muy pobladas el costo se incrementa demasiado por falta de terreno y transporte.
Es un sistema que no requiere procesamiento.	Su localización en zonas residenciales puede ocasionar un fuerte rechazo.
No requiere pretratamientos sofisticados.	Se requiere mantenimiento aun después de cerrado.
Es una operación muy flexible.	La producción de metano puede ser un factor de alto riesgo.
Se recupera suelos de mala calidad.	Hay necesidad de tratar los lixiviados

Adaptado de: Tchobanogbus et al., 1997.

Para la elección de sitio se deben considerar los siguientes factores:

- **Disponibilidad de terreno.** Considerando un tiempo mínimo de un año para que sea rentable.
- **Comunicación.** Debe de ser de fácil acceso para el transporte de basura y transitabile en su interior.
- **Disponibilidad de la tierra.** Se requiere material para cubrir los desechos.
- **Condiciones climáticas.** No se debe situar en zonas con vientos importantes.
- **Hidrología.** No debe haber corrientes de agua ni ser un suelo anegadizo o poseer un acuífero de cierta calidad.
- **Geología.** Se buscaran suelos impermeables que aislen los acuíferos. En México, la NOM-083-ECOL de 1994 establece las particularidades de los requerimientos anteriores (tabla 33).

**Tabla 33.** condiciones que deben satisfacer el sitio en que se ubique un relleno sanitario en México.

Para la protección de los mantos freáticos	<ul style="list-style-type: none"> • El manto freático deberá encontrarse a una profundidad mayor a 10 m. • Las zonas de recarga de acuíferos o fuentes de abastecimiento de agua potable deberá encontrarse a una distancia mayor de 1000m aguas arriba del sitio elegido. • El sitio deberá contar con suficiente material para la cubierta diaria de los residuos sólidos para el tiempo que dure la vida útil del relleno sanitario. El sitio deberá estar ubicado a una distancia mayor de 1000m de la zona de inundación, cuerpos de agua y áreas donde se localizan drenajes naturales. • El sitio deberá tener un buen sistema de drenaje natural independientemente de la red de drenaje pluvial con que se equipé. • La pendiente media del terreno natural del sitio no deberá ser mayor a 30% y deberá estar protegida de los procesos de erosión hídrica.
Protección del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Las zonas de fracturación deberán ubicarse como mínimo a una distancia de 500m del sitio y no deberá operar ningún relleno sanitario en la zona fracturada. El suelo deberá reunir características tanto de impermeabilidad como de remoción de contaminantes.
Protección de las áreas urbanas	<ul style="list-style-type: none"> • Deberá tener una vida útil mínima de 7 años. • Deberá estar ubicado a una distancia mayor de 3 km de área urbana; en un área de fácil y rápido acceso por carretera o caminos de terracería transitables en cualquier época del año; a una distancia mayor de 200m de las vías de comunicación terrestre; fuera de áreas naturales protegidas del área de influencia de aeropuertos, de los derechos de vía de oleoductos o gasoductos, de las líneas de conducción de energía eléctrica y a una distancia mayor de 150m de zonas de almacenamiento de hidrocarburos.

Fuente: Sedesol-INE, 1994.

Si se presentan las condiciones de operación, en cubrir con tierra diariamente los desechos, un relleno sanitario no produce olores, gases o incendios ni genera ratas.

La descomposición orgánica que se realiza en el relleno eleva la temperatura entre 65° y 70°C. En condiciones normales, se obtiene una producción máxima de biogás a los años y, posteriormente disminuye en forma gradual (Tchobanoglous et al., 1997). En un inicio el gas predominante es CO₂ aumentando la producción de gas metano en forma progresiva. En la figura 10 se muestra la evolución de la composición del gas producido en un relleno sanitario, mientras que en la figura 11 se presenta un esquema de un relleno sanitario en el que se señalan cuáles son las medidas de sellado.

CRITERIOS DE INGENIERIA PARA LOS RELLENOS SANITARIOS

Criterios de diseño

Dentro de las consideraciones de diseño están:

- Evitar la contaminación de agua mediante un sistema de impermeabilización compuesto y drenaje que no permita una carga hidráulica mayor de 30 cm sobre la membrana. Para ello es el uso de una membrana flexible sintética de 0.75 mm de espesor mínimo. En caso de usarse polietileno de alta densidad, el espesor deberá aumentarse a cuando menos 60 cm de espesor.

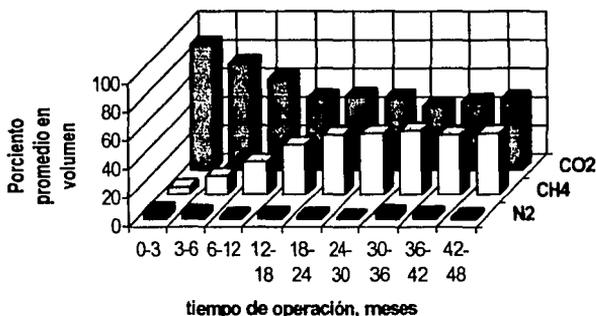


Figura 10. composición del gas producido en un relleno sanitario
 Adaptado de: Tchobanoglous et al., 1997.

- Contar con una estabilidad adecuada en las zonas más críticas.
- Determinar la capacidad de campo para los residuos sólidos por disponer.
- Calcular la producción de lixiviados (potencial y real).
- Calcular las necesidades de agua para la operación de relleno.
- Estimar la producción de biogás.
- Dimensionar la estructura hidráulica necesaria para el manejo de los escurrimientos.
- Dimensionar la celda (frente de trabajo).
- Prever los accesos y los desvíos de carga.
- Estimar 0.12 a toneladas generada/día para la construcción del relleno sanitario para una vida útil de 10 años.
- Un cargador frontal por cada 300 toneladas de manejo diario de residuos y un compactador por cada 600 toneladas de manejo diario de residuos.

Para el diseño de los rellenos sanitarios, es importante tomar en cuenta las normas emitidas por la Semamap a través de INE para tal efecto.

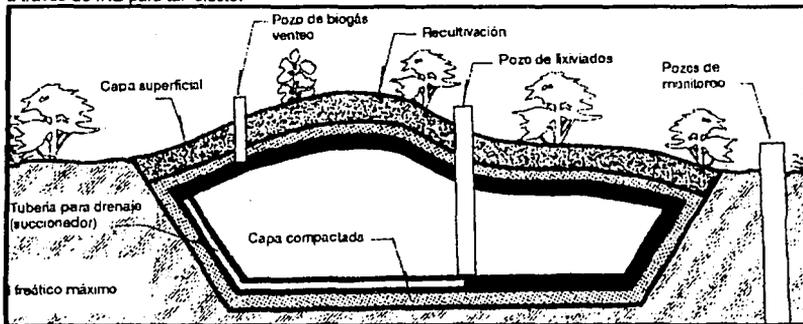


Figura 11. Construcción de relleno sanitario.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



Críterios de operación

En cuanto a los críterios para operar un relleno sanitario se debe:

- Evitar al máximo la infiltración de agua de lluvia al relleno sanitario.
- Tratar de alcanzar en el menor tiempo posible niveles de piso terminados, es decir, que el avance del relleno debe ser preferentemente vertical más que horizontal.
- Evitar tener frentes de trabajo muy amplios, por lo que se recomienda para las horas pico, iniciar dos celdas con el fin de tener dos frentes de trabajo simultáneos.
- Cuidar que la operación se lleve a cabo de acuerdo con la planeación y calendarización establecida en el proyecto.
- Utilizar en los rellenos sanitarios la maquina precisa y específica que demandan las principales actividades de operación

En la tabla 34 se listan los principales críterios para el diseño y operación de los rellenos sanitarios.

Tabla 34. críterios de operación y diseño para rellenos sanitarios

FACTOR	COMENTARIO
Acceso	Fácil.
Celdas	Cada día debe determinarse una celda y debe ser cubierta con mínimo 15cm de tierra. Deben instalarse venteos de grava cada 3 a 9m para favorecer la salida del gas producido.
Recubrimiento	Se requiere aproximadamente 1m ³ por cada 4 a 6 m ³ de basura. Por ello se debe preferir material de la zona. El material de recubrimiento se tiene que mezclar con material no permeable para evitar infiltraciones.
Drenaje	Mantener un drenaje apropiado para evitar inundaciones con una pérdida de 1% a2%.
Prevención de incendios	Suministro de agua y diseño adecuado de incendios para evitar la propagación de incendios.
Protección de acuíferos	Desviar corrientes, impermeabilizar el piso de acuíferos. Contar con pozos de monitoreo.
Vida media	Mínimo un año. Recomendable 5 a 10 años.
Comunicación	Teléfonos para emergencias.
Jornadas	5 a 6 días por semana durante 8 a 10 horas.

Monitoreo

En cuanto al seguimiento del relleno se recomienda construir desde el arranque la infraestructura necesaria para la extracción de los subproductos (biogás y lixivados), así como llevar a cabo, por lo menos trimestralmente, un programa de monitoreo que incluya tanto a los acuíferos cercanos como a las instalaciones de extracción de los lixivados y el biogás, determinando principalmente flujo, presión, explosividad composición de biogás; así como flujo y composición de lixivados.

RECUPERACIÓN Y USO DEL GAS

Normalmente los gases que se han recuperado de un vertedero activo se queman o se utilizan para recuperar energía en forma de electricidad, o ambos. Este procedimiento se inicia en forma comercial en 1998, en Grenoble, Francia donde un sitio de relleno (figura 12 y 13) vende a la compañía eléctrica la energía producida. La generación se efectúa a partir del metano, lo más puro posible.

Cuando el gas obtenido es quemado para producir electricidad se debe tener cuidado de no producir contaminación atmosférica. La tabla 35 muestra los factores de emisión de diferentes contaminantes para quemadores de gas procedente de un relleno sanitario.

Tabla 35. Factores tentativos de emisión de contaminantes atmosféricos para quemadores de gas producto de rellenos sanitarios

CONTAMINANTES	FACTOR DE EMISIÓN	UNIDAD
Partículas suspendidas	9.21×10^{-5}	Kg/m ³ de gas quemado
Dióxido de azufre (SO ₂)	9.21×10^{-5}	Kg/m ³ de gas quemado
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	1.54×10^{-4}	Kg/m ³ de gas quemado
Monóxido de carbono (CO)	5.45×10^{-5}	Kg/m ³ de gas quemado

Fuente: EPA, 1996

Lixiviados

Otro problema que se presenta principalmente con las lluvias o como producto de la descomposición de la basura, son los lixiviados, que son líquidos que al percolar a través de los desechos arrastran contaminantes solubles y sólidos pequeños transportándolos hasta los mantos freáticos o las corrientes de aguas superficiales. Además de la degradación de la materia orgánica en sus diversas fases, uno de los subproductos es el agua, la cual participa en reacciones posteriores y, además, produce la disolución de muchos de los compuestos ahí presentes. En caso de riesgo de contaminar los acuíferos con uso potencial se debe recurrir al aislamiento del relleno. En la tabla 36 se muestran datos sobre la composición de los lixiviados. Este fenómeno es fácilmente observable en los basureros, donde el agua actual como agente disolvente de los materiales acumulados.

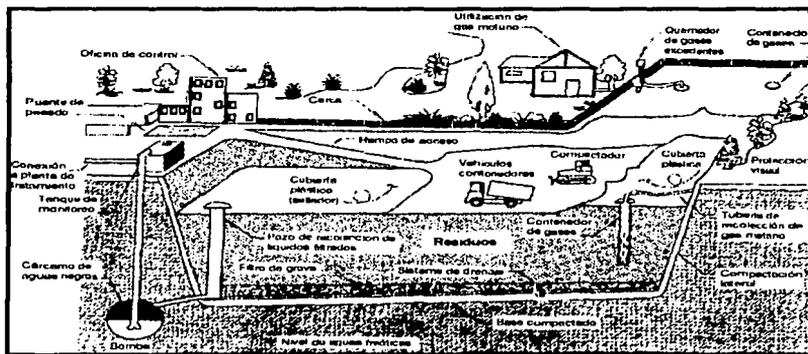


Figura 11. Relleno sanitario con recuperación de gas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

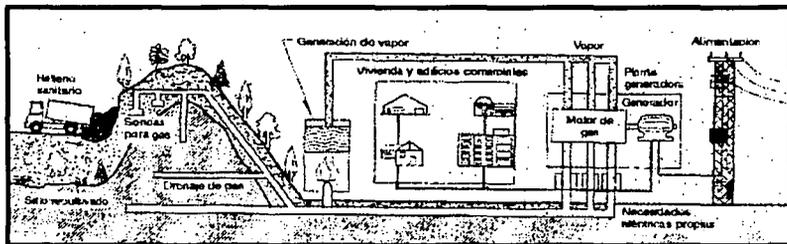


Figura 11. Relleno sanitario con recuperación de gas y generación de electricidad

La cantidad de lixiviados que se producen en un basurero con una superficie de 40 ha y profundidad de 3m, localizado en una zona con precipitación anual promedio menor a 500 mm, es de 120,000 m³ por año (3.805 L/s) (Liptak, 1974, en López, 1990).

Los lixiviados en México

La investigación sobre este tema es aún escasa. En algunos sitios se observa fácilmente afloramiento de lixiviados formando lagunas superficiales. Por ejemplo, en los basureros de Santa Cruz Meyehualco (antes de su clausura) y en

Tabla 36. composición de los lixiviados

PARAMETRO	INTERVALO, mg/L	TÍPICO, ng/L
DBO ₅	2000-30000	10000
COT	1500-20000	6000
DCO	3000-45000	18000
SST	200-1000	500
N orgánico	10-600	200
N-NH ₄	10-800	200
Nitratos	5-40	25
P total	1-70	30
Ortofosfatos	1-50	20
Alcalinidad	1000-10000	3000
pH	5-8	6
Dureza	300-10000	3500
Calcio	200-3000	1000
Magnesio	50-1500	250
K	200-2000	300
Na	200-2000	500
Cloruros	100-3000	500
Sulfatos	100-1500	300
Fe total	50-600	60

Fuente: Wariestka et al., 1997.

el Bordo de Xochiaca (actualmente), la laguna de lixiviados es evidente, pero en otros, como en el de Santa Fe, no es observable en la superficie, debido a que el suelo está compuesto de areniscas sumamente permeables, por lo que los lixiviados tienen un movimiento vertical, hacia las capas inferiores (López, 1990).

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



En México, las observaciones acerca de la composición química de los lixiviados arrojan como resultado un pH de 9 y la presencia de gran cantidad de sales, lo que se refleja en una alta conductividad, ausencia de oxígeno y alto contenido de metales pesados, tales como el cadmio, cromo, cobre, fierro y zinc (López, 1990), cuyas concentraciones rebasan los límites de toxicidad.

A continuación, se presentan en las tablas 37 y 38 la caracterización fisicoquímica reciente de cuatro de las celdas de la etapa IV del relleno del Bordo Poniente y de los sitios de disposición final de los rellenos de Santa Catarina, Prados de la Montaña y Bordo Poniente.

Tabla 37. parámetros fisicoquímicos de los lixiviados de la etapa IV del Bordo Poniente

NÚ. DE CELDA	pH	TURBIEDAD (UTN)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)	SDT (g/L)	COLOR APARENTE (Pt-Co)	N-NH3 (mg/L)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)
7	8.5	334.0	41.6	21.3	3100	118	680	2057
12	6.7	951.0	43.0	20.4	22829	832	33676	54517
22	7.7	656.3	32.6	16.9	11113	906	11797	19851
26	7.7	1093.3	30.8	16.0	21459	1170	6136	14097

Fuente: Ortiz et al., 1997

TIPOS DE RELLENO

Destacan tres clases:

- Relleno de superficie
- Relleno de zanjas
- Relleno de rampas

Tabla 38. parámetros fisicoquímicos en lixiviados de sitios de disposición final de residuos sólidos de la Ciudad de México

PARÁMETRO	PRADOS DE LA MONTAÑA	SANTA CATARINA	BORDO PONIENTE
PH	9.7	6.4	8.3
conductividad eléctrica, umhos/cm	46.2		34.7
Alcalinidad total	10600	15662	9300
STT	55430	82309	14367
SST	10090	6112	142
SDT	54340		14225
DQO total	44052	106204	3939
DQO soluble	42958	86523	3256
DBO soluble	40551		739
Nitrógeno	2855		2321
Nitrógeno amoniacal	53060	2286	2560
Cloruros	3467		4112
Arsénico	0.68		0.03
Cadmio	0.39		0.04
Cromo	0.61		0.69
Hierro	28.5	420	3.72
Manganeso	5.7		0.18
Mercurio	0.5		0.002
Plomo	0.4		0.16
Cinc	327		1.15

mg/L, excepto donde se indique Fuente: Morje, 1996.

Método de zanjas

En una zanja (figura 15) de 1 a 3.5 m de profundidad y 4.5 a 7 m de ancho se colocan y compactan los desechos en capas de 45 a 60 cm. Finalmente, se cubre con el propio metal extraído para hacer la zanja. Las dimensiones de las zanjas deben ser tales que quede una celda terminada cada día.

Método de rampa

Se emplean las barrancas u hondonadas existentes en las cuales se colocan los desechos en las pendientes y se cubren con tierra. En estos sitios, por lo general las partes bajas son inundables por lo que es necesario contar con buenos sistemas de drenado (figuras 16 y 17).

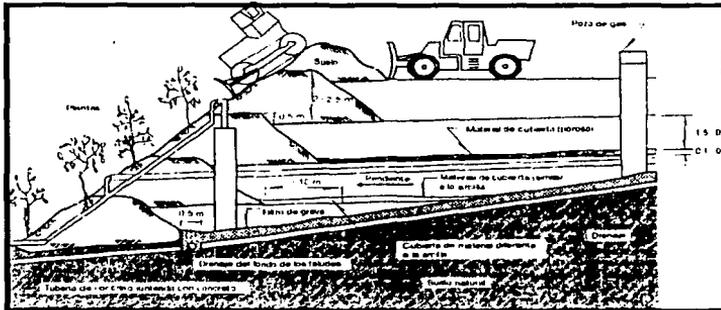


figura 16. Detalle de sección de relleno sanitario

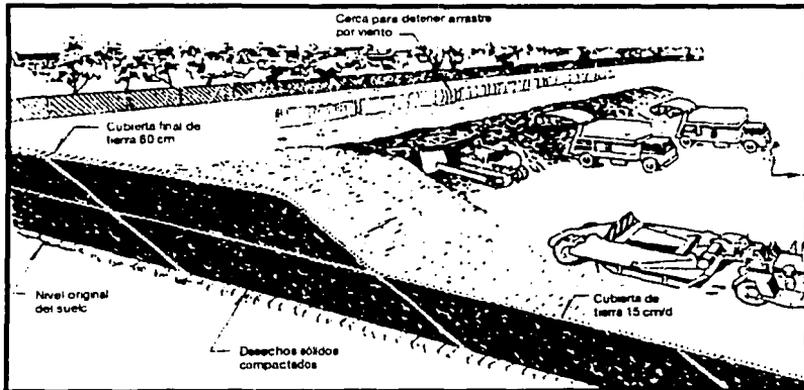


figura 17. Disposición de sólidos por el método de relleno de superficie



Los vertederos se pueden utilizar, posteriormente, para la creación de zonas verdes o campos deportivos. Los vertederos con basura triturada se presentan más rápidamente para crear zonas verdes debido a que la capa superior se mineraliza con rapidez. Por otra parte, estos terrenos no se recomiendan para la construcción ya que son susceptibles de presentar importantes hundimientos y la producción de biogás.

SITIOS DE DISPOSICIÓN EN MÉXICO

En 1994, en México existían en operación 14 rellenos sanitarios y pocos cumplirán los requerimientos técnicos necesarios. La tabla 38 muestra la localización de rellenos sanitarios en el país.

Tabla 38. rellenos sanitarios para residuos sólidos municipales en México en 1994.1

LOCALIDAD	POBLACIÓN BENEFICA	LOCALIDAD	POBLACIÓN BENEFICA
OPERACIÓN²		OPERACIÓN²	
Chetumal, Q. Roo	105946	Monterrey y conurbados, N.L.	2145573
Chihuahua, Chih.	575808	Nanacamilpa y de M. Arista y 2 municipios Tlax.	57094
Ciudad Juárez, Chih.	837086	Nogales, Son.	112418
Colima y 4 municipios, Col.	234174	Panotla y 6 municipios, Tlax.	188675
Distrito Federal (tres)	9092053	Tecmán, Col.	89237
Huamantla y 3 municipios, Tlax.	81457	Tepic, Nay.	119288
Manzanillo, Col.	115048	Tetla y 5 municipios, Tlax.	
Total	13988085		
CONSTRUCCIÓN		CONSTRUCCIÓN	
Acuamanala de M. Hidalgo y 8 municipios, Tlax.	173337	Cancún, Q. Roo	253986
Aguascalientes, Ags.	568489	Durango, Dgo.	451162
Total	1446974	PROYECTO	
PROTECCIÓN		Chiautempan y 5 municipios, Tlax.	139454
Mexicali, B. C.	647710	Coatzacoahuila, Ver.	37656
Ciudad del Carmen, Cam.	212820	Córdoba, Fotin y Amatlán, Ver.	250957
Campeche, Camp.	162239	Cosoleacaque, Ver.	50293
Piedras negras, Coah.	109217	Ixtaczoquitlā, Ver.	48343
Torreón, Coah.	519128	Jaltipan, Ver.	42640
Tapachula, Chis.	220353	Medellín, Ver.	32366
Irapuato, Gto.	327895	Camelio Z. Mendoza, Ver.	38635
León, Gto.	943041	Minatitlán, Ver.	240234
Pachuca, Hgo.	162900	Nogales, Ver.	30254
Puerto Vallarte, Jal.	120927	Orizaba, Ver.	130665
Cuernavaca, Mor.	501172	Papantla, Ver.	174579
Querétaro, Qro.	570428	Poza Rica, Ver.	161366
Mazatlán, Sin.	361863	Veracruz-Boca del Río, Ver.	525189
San Luis Río Colorado, Son.	117937	Yanga, Ver.	18334
Matamoros, Tam.	317444		
Nuevo Laredo, Tam.	232013		
Total	7448052		

¹ Habitantes con el servicio, según la etapa indicada.

² Población determinada con base en los resultados de censo de 1990 y las tasas de crecimiento en el programa de desarrollo urbano, 1990. Adaptado de: Sedesol-INE, 1994.

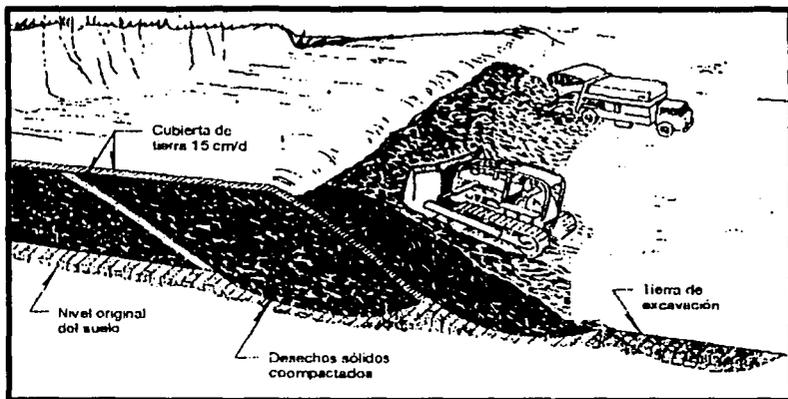


Figura 17 (B). Disposición de sólidos por el método de rampa

En general, solamente siete de los 32 estados de México tienen instalaciones razonablemente adecuadas para eliminar los residuos sólidos municipales, éstos son: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Hidalgo, Nuevo León, Quintana Roo y Zacatecas, así como el DF.

En la figura 18 se muestra la comparación de la cobertura de aseo urbano en el país de América Latina.

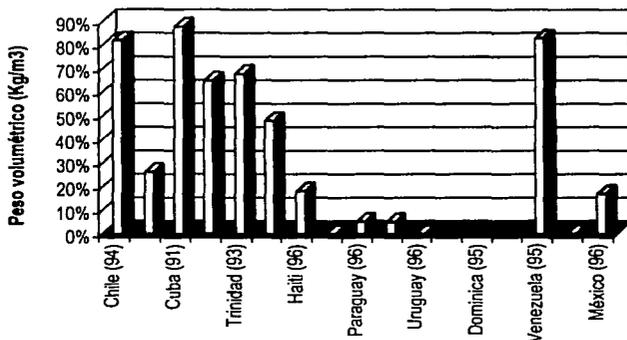


Figura 18. cobertura de aseo urbano en América Latina Adaptado de: Zepeda, 1996.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Análisis de la problemática en sitio de disposición

La Semamap (1997), a través de la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas del INE, realizó un análisis de las condiciones geohidrológicas en sitios de disposición de 118 de las ciudades más grandes de la República y con mayor actividad industrial. El análisis identificó 40 localidades que podrían



tener problemas graves de afectación de los mantos acuíferos (tabla 39) por el tipo de subsuelo o la posible presencia de residuos industriales.

Inversiones necesarias para las necesidades no satisfechas en materia de residuos sólidos en México

Se estima que la inversión total requerida en México para la próxima década es de 7600 mil millones de dólares (tabla 40). De esta cantidad, 1500 mil millones de dólares aproximadamente, sería para manejar adecuadamente los residuos industriales peligrosos y 2600 mil millones de dólares para la eliminación de residuos industriales no peligrosos. Se necesitarían 3500 mil millones de dólares para la recolección, clasificación, mezcla y disposición final en el relleno de los residuos sólidos municipales (Bustani, 1994).

Tabla 39. localidades con posibles problemas de contaminación del subsuelo por relleno sanitarios

Aguascalientes	Nogales
Campeche	Nuevo Laredo
Celaya	Querétaro
Chihuahua	Piedras Negras
Ciudad Juárez	Poza Rica
Coatzacoalcos	Puebla
Colima	Salamanca
Colorado	San Juan del Río
Cuernavaca	San Luis Río
Delicias	Silao
Gómez Palacio	Tapachula
Guadalajara	Tlaquepaque
Hermosillo	Toluca
Irapuato	Tonalá
Lázaro Cárdenas	Torreón
León	Veracruz
Mérida	Villahermosa
Mexicali	Zapopan
Monclova	Zitácuaro
Monterrey	Zona metropolitana
Morelia	De la ciudad de México

Adaptado de: Sememep-INE, 1997

Tabla 40. Inversiones requeridas para las necesidades no satisfechas en materia de residuos sólidos en México, 1993

NECESIDADES NO SATISFECHAS	(td)	OPERACIONES (MILES DE USD)	INVERSIÓN
Industriales			
A.1. Peligrosos	12325	Solidificación y relleno	1500
A.2.No peligrosos	450000	Relleno	2600
Municipales			
B.1 Recolectado pero en basureros abiertos	24014	Clasificación, incineración, mezcla y relleno recolección, clasificación, incineración	2000
B.2 No recolectado	18055	Mezcla y relleno	1500
Inversión total requerida			7600

Fuente: Bustani, 1994.

**BIBLIOGRAFÍA**

Bustani Adem a. (1994). Situación de los residuos sólidos en México. *Revista Calidad Ambiental*, pp. 13-16.

Gutiérrez Rojas P. Y Estrada Núñez R. (1994). *Sistemas de recuperación de subproductos reciclables contenidos en los residuos sólidos municipales, para su aprovechamiento. Notas de los Residuos Sólidos y Peligrosos*. Asociación Mexicana para el control de los Residuos Sólidos y Peligrosos A. C. Tomo I, Vol. 5, marzo-abril, pp. 1-2.

Instituto Nacional de Ecología, INE (1995). *Dirección de Proyectos de Residuos Sólidos para la Preservación del Medio Ambiente*.

INEGI (1993). *Boletín mensual de la Estadística de la industria Minerometalúrgica*, documento interno.

Leal M., Chavez V., Larraikde L. (1996). *Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Ed. Gobierno del Estado de México Departamento del Distrito Federal, Fideicomiso Ambiental, Comisión Ambiental Metropolitana, Programa Universitario del Medio Ambiente y SEMARNAP, pp. 11-37, México.

López de Juambelz (1990). El impacto de los desechos sólidos sobre el medio. *Revista Ciencias*. No. 20. octubre, pp. 37-41.

OPS-OMS (1998). *Análisis sectorial de residuos sólidos en la zona metropolitana del Valle de México*, Serie Análisis sectoriales, No. 14. plan regional de inversiones en ambiente y salud., 275 pp., México.

Sedesol (1993) *Residuos peligrosos en el mundo y México*. Serie Monográfica. No. 3. INE. México.

Sedesol-INE (1994). *Normas oficiales Mexicanas en materia de protección ambiental 1993-1994*, 411 pp., México.

SEMARNAP-INE (1997). *Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México*, Ed. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, pp. 59., México.

Tchobanoglous G. Thiessen H. y Vigil S. (1994) *Gestión Integral de residuos sólidos*. Trad. Armando Cubillos, CIDINT, Ed. McGraw-Hill, 107 pp., España.

Tchobanoglous G. Thiessen H. y Eliassen (1977). *Solids Wastes: Engineering Principles and Management issues*, Ed. McGraw-Hill, 621 pp., Estados Unidos.

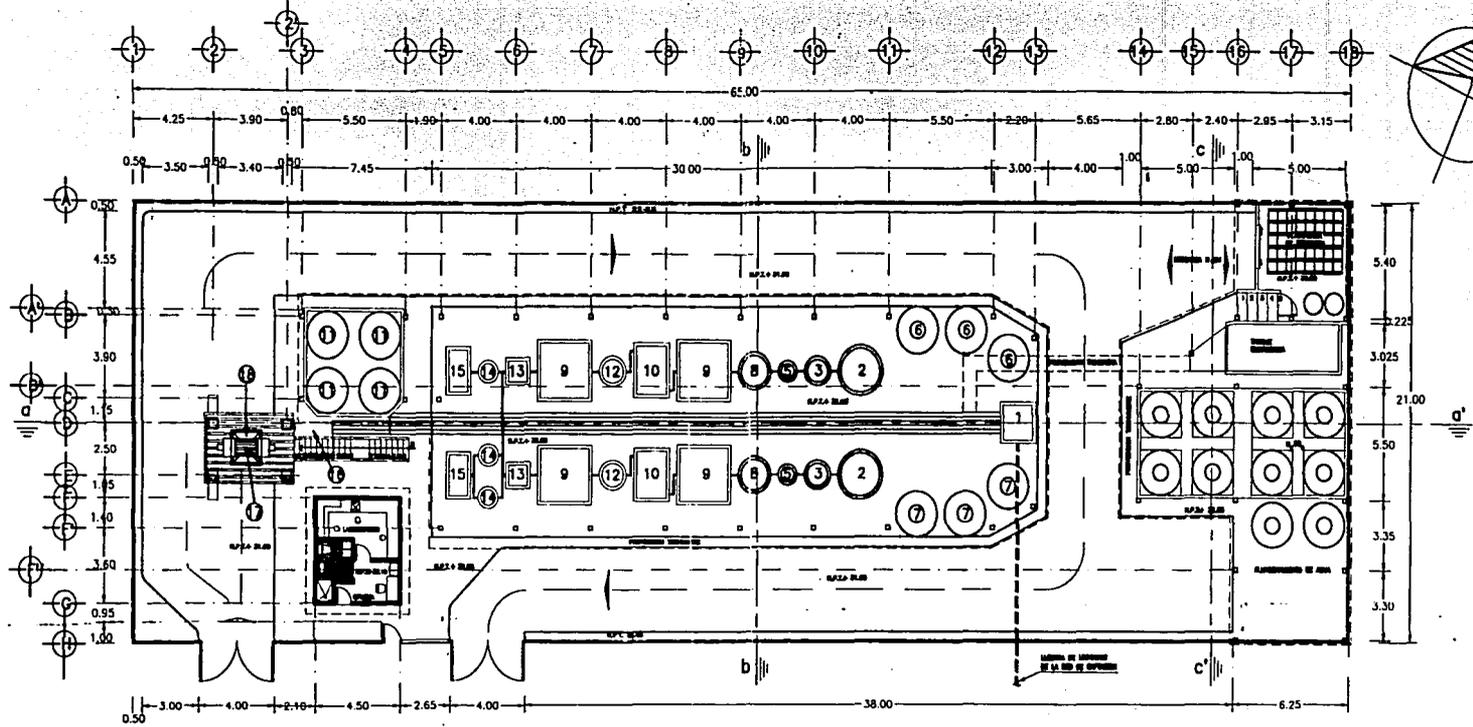
Zepeda F. (1996). *El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*, XXV Congreso AIDIS, México. Noviembre.

Zepeda P. F. (1993). *Descripción de la Legislación Estadounidense Sobre Rellenos Sanitarios. Notas de los Residuos Sólidos y Peligrosos*, Asociación Mexicana para el control de los Residuos Sólidos y Peligrosos A. C. Suplemento Especial, invierno, 1993, pp.1.



PLANOS

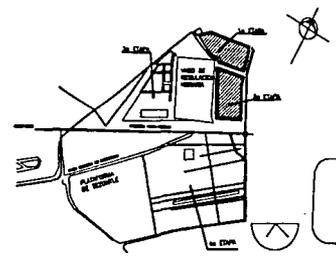
- P-01 PLANTA GENERAL DE TRATAMIENTO LIXIVIADOS
- P-02 CORTES
- P-03 CASETA DE LABORATORIO
- P-04 ACABADOS
- P-05 DETALLE DE INTERCONEXIÓN DE TANQUES DE ROTOPLAS DETALLE DE SALIDA DE TUBERÍA DE TANQUE DE INFILTRACIÓN.
- P-06 DETALLE DE FIJACIÓN DE MAMPARAS Y ELECTRODOS Y DETALLE DE ESCALERA PARA ALMACEN DE NaOH .
- P-07 DETALLE DE FIJACIÓN DE AGITADORES
- P-08 DETALLE DE FIJACIÓN DE AGITADORES
- ES-01 ARMADO DE TANQUES, TANQUE DE OXIDACIÓN, NEUTRALIZADOR, ALMACENAMIENTO DE AGUA, CARCAMO DE BOMBEO A FILTROS.
- ES-02 ARMADO DE TANQUES, TANQUE DE ACIDIFICACIÓN, NEUTRALIZACIÓN, MEZCLADO RÁPIDO, COAGULACIÓN.
- ES-03 DETALLE DE TRINCHERA Y REJA PERIMETRAL
- ES-04 PROYECTO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN DE LA PLANTA Y TANQUES
- ES-05 DETALLE DE ESTRUCTURA METÁLICA EN TECHO
- ES-05-A DETALLE DE ESTRUCTURA METÁLICA EN TOLVA
- ES-05-B DETALLE DE ESTRUCTURA METÁLICA EN ESCALERA
- ES-05-C DETALLE DE ESTRUCTURA METÁLICA EN TECHADO
- ES-05-D DETALLE DE ESTRUCTURA METÁLICA EN TECHADO
- ES-05-E ESTRUCTURA METÁLICA
- IHS-01 RED DE AGUAS PLUVIALES Y AGUAS NEGRAS
- IHS-01-A DETALLE PARA CONTROLAR EL NIVEL DE LÍQUIDO EN EL TANQUE DE RECEPCIÓN DE LIXIVIADOS.
- IHS-02 RED DE AGUA POTABLE
- IHS-03 ISOMÉTRICO DE LÍNEA DE CONDUCCIÓN



NOMENCLATURA

- 1.- RECEPCION DE LIXIVIADOS
- 2.- TANQUE DE ACIDIFICACION
- 3.- TANQUE NEUTRALIZACION
- 4.- PREPARACION NaOH
- 5.- TANQUE MEZCLADO RAPIDO
- 6.- TANQUE ALMACENAMIENTO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- 7.- TANQUE ALMACENAMIENTO FeCl_3
- 8.- TANQUE COAGULACION
- 9.- SEDIMENTADOR
- 10.- OXIDACION CON PEROXIDO DE HIDROGENO
- 11.- TANQUE ALMACENAMIENTO H_2O_2
- 12.- TANQUE DE NEUTRALIZACION
- 13.- CARCAMO DE BOMBEO A FILTROS
- 14.- FILTRACION RAPIDA
- 15.- ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA
- 16.- TANQUE ALMACENAMIENTO Lodos
- 17.- DESHIDRATADOR DE Lodos
- 18.- TOLVA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



CROQUIS DE LOCALIZACION

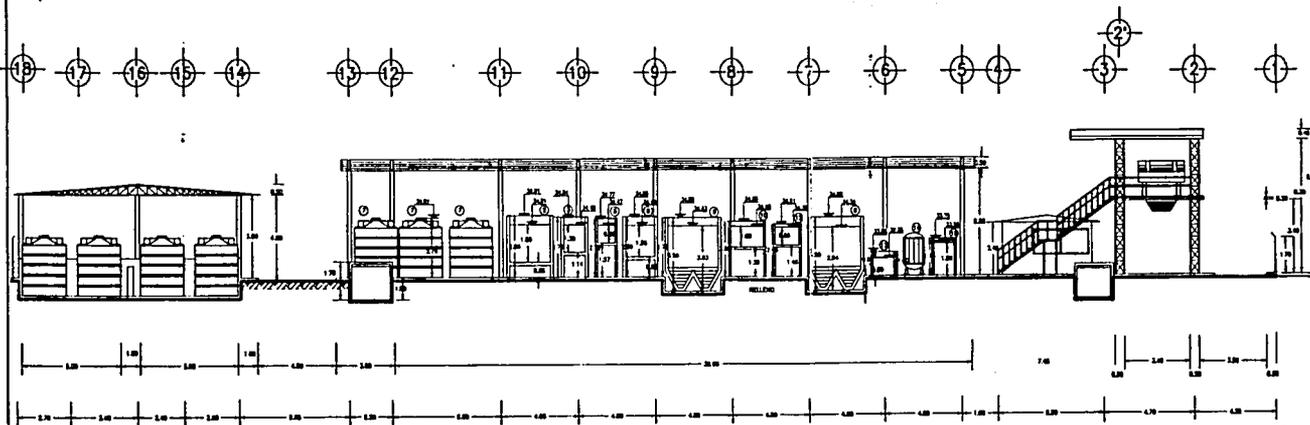
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA PROFESIONALES AGUAS
 INGENIERIA EN AGUAS

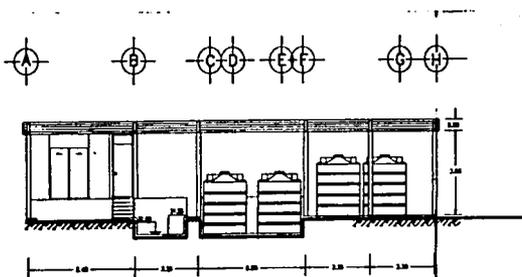
AL. PAUL DE LA ROSA
 DE. CALISTO GARCIA SANCHEZ
 DE. CARLOS GONZALEZ

PLANTA GENERAL DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

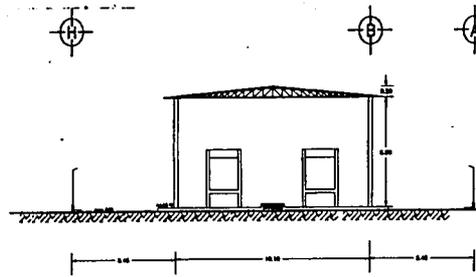
P-01



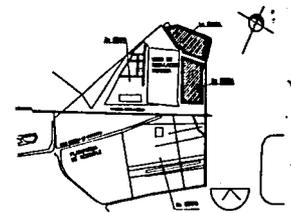
CORTE LONGITUDINAL a,a'



CORTE TRANSVERSAL c,c'



CORTE TRANSVERSAL b,b'



CRUCES DE LOCALIZACION

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

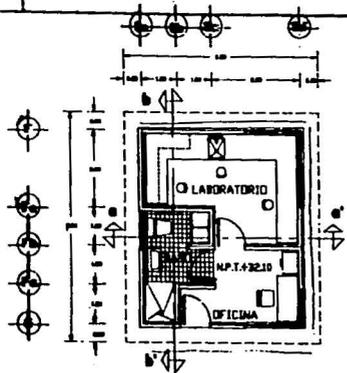
NOTA:
 LAS COTAS DE LOS TALLERES ESTAN DADAS CON RESPECTO AL NIVEL DE PLATAFORMA DE ORIENTACION.

LAS COTAS DE LOS TALLERES Y DE LAS PLATAFORMAS SE COMPLEMENTAN CON EL PLANO ESTRUCTURAL. 02-04

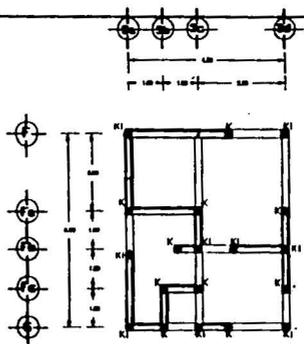
NOTA:
 LA TESIS SE ENTREGARÁ CON UN EJEMPLAR EN P.V.C. SEGURO. 02-04

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

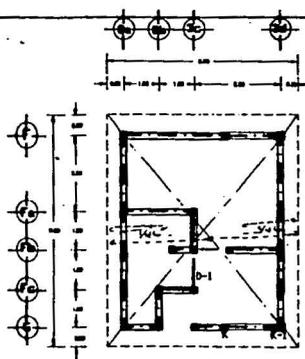
	ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS PROFESIONALES AGROPECUARIOS			
	INGENIERIA CIVIL			
	AL. LUIS	AL. JUAN	AL. CARLOS	AL. JUAN
	AL. JUAN	AL. JUAN	AL. JUAN	AL. JUAN
	AL. JUAN	AL. JUAN	AL. JUAN	AL. JUAN
	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL	
	CATEDRA DE INGENIERIA CIVIL		CATEDRA DE INGENIERIA CIVIL	
	CATEDRA DE INGENIERIA CIVIL		CATEDRA DE INGENIERIA CIVIL	
	CATEDRA DE INGENIERIA CIVIL		CATEDRA DE INGENIERIA CIVIL	



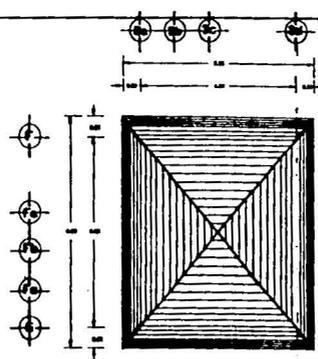
PLANTA ARQUITECTONICA



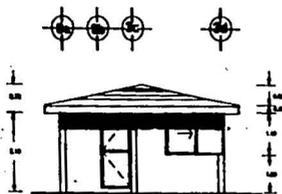
PLANTA DE CIMENTACION



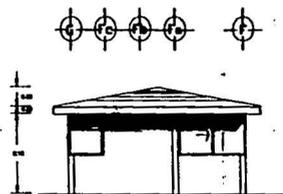
LOSA DE AZOTEA



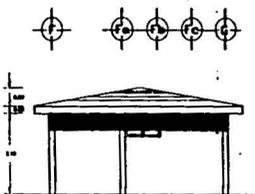
PLANTA DE AZOTEA



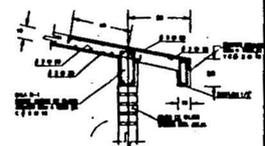
FACHADA PRINCIPAL



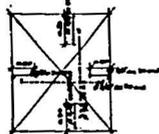
FACHADA LATERAL



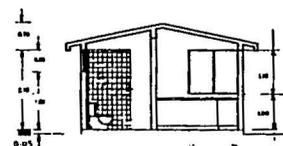
FACHADA LATERAL



ARMADO LOSA AZOTEA



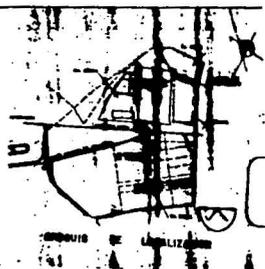
- #1 CASTILLO APARTEADO 40x40" E 10x20x20mm C.A.C. 10/20x10
- #2 CASTILLO "ARMADO" PLANCHAS DE 10x10mm 1/2" DIA"



CORTE a,a'



CORTE b,b'



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

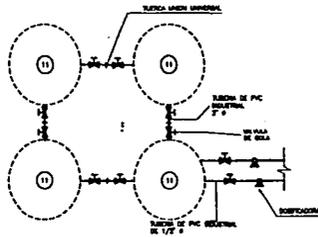
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA PROFESIONAL

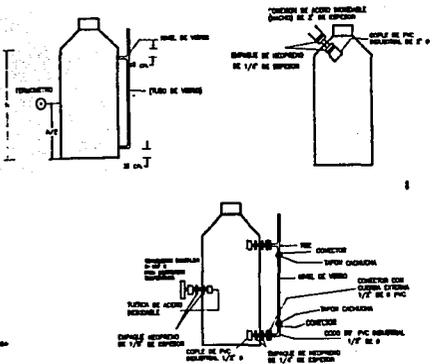
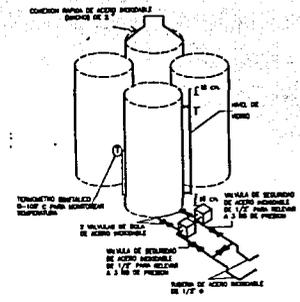
INGENIERIA CIVIL

	NOMBRE DEL ALUMNO NOMBRE DEL TUTOR TITULO DE LA TESIS FECHA DE ENTREGA
--	---

TANQUES PARA ALMACENAMIENTO DE PEROXIDO DE HIDROGENO

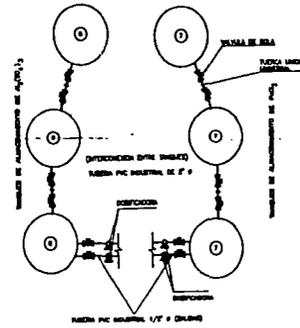


TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PEROXIDO DE HIDROGENO

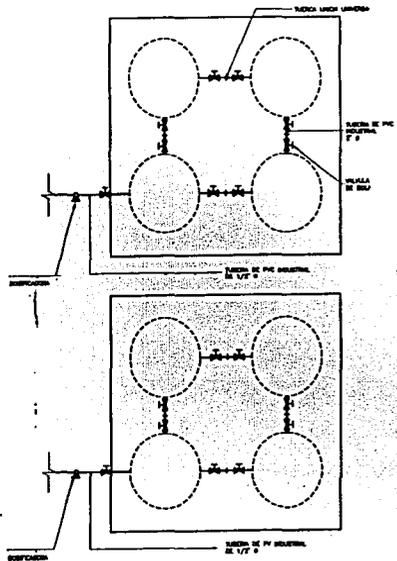


DETALLE DE CONEXION DE TERMOMETRO Y NIVEL DE VIDRIO

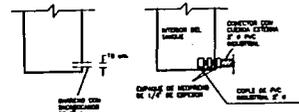
DETALLE DE INTERCONEXION DE TANQUES



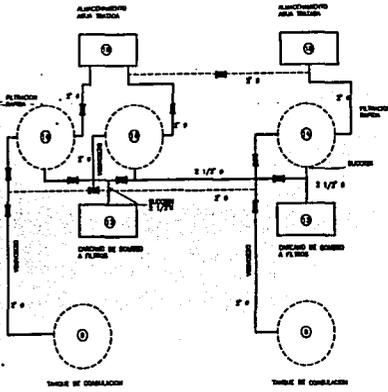
DETALLE DE INTERCONEXION ENTRE TANQUES



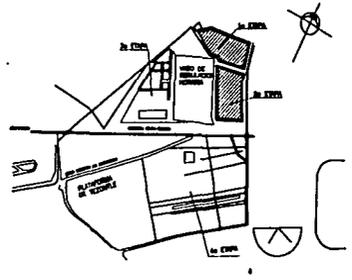
DETALLE DE CONEXION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFURICO (H2SO4)



TANQUE DE ROTOPLAST



DETALLE DE SALIDA DE TUBERIA DE TANQUES DE FILTRACION (JACCUZI)



CROQUIS DE LOCALIZACION

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

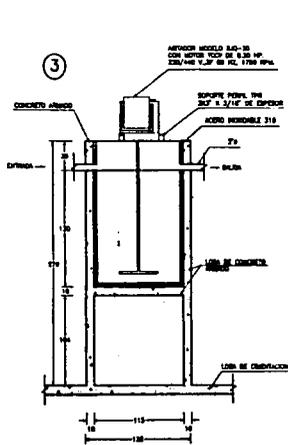
ESCUELA NACIONAL SUPERIOR DE PROFESIONALES EN INGENIERIA QUIMICA

AL	LAZ	TRACY	CONDIZ
IN	IRMA	DE	LOS
EL	CUBERTO	CALCA	SALVADOR
			CONDIZ

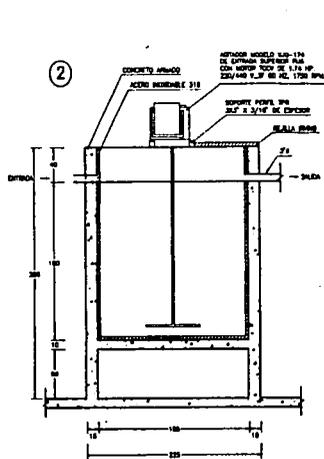
INSTRUMENTO DE CURSOS

INSTRUMENTO DE CURSOS

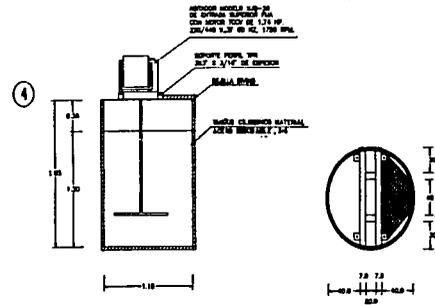
P-05



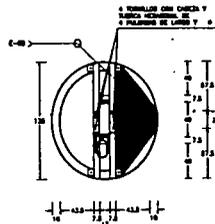
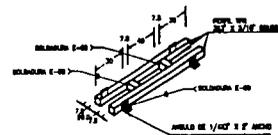
TANQUE DE NEUTRALIZACION



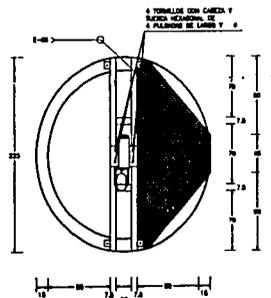
TANQUE DE ACIDIFICACION



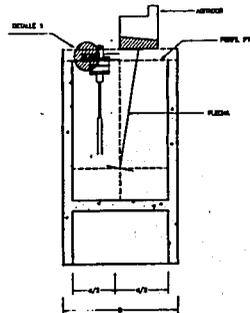
TANQUE DE ALMACENAMIENTO NaOH



DETALLE DE SOPORTE

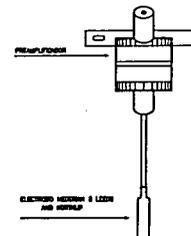


DETALLE DE SOPORTE

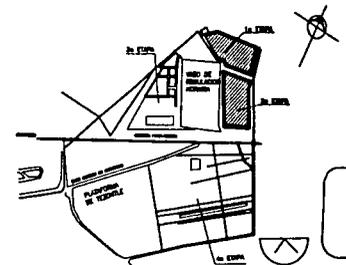


FUNCION DE AGITADORES PARA TANQUES

DETALLE DE SOPORTE



DETALLE 1



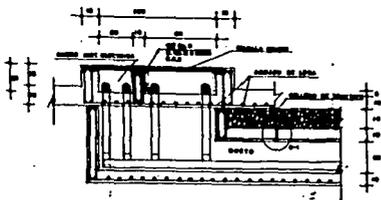
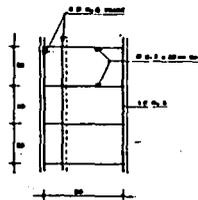
CROQUIS DE LOCALIZACION

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NOTA : EN LOS TANQUES 2.3,4,5,12 LA
FLECHA DE LOS AGITADORES
QUEDARAN INCLINADOS Y AL
CENTRO DEL TANQUE
(EXTREMO INFERIOR DE LA FECHA)

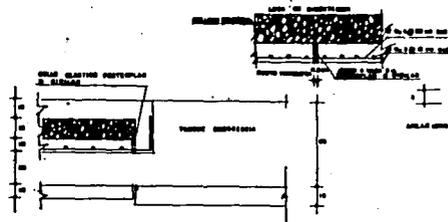
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AVANZADOS			
INGENIERIA CIVIL			
AL	CLA	LUCHY	GENALIZ
DE	ANAL	DE LOS	SIENES
DE	GLERFO	CANCA	SHERMAN
DE			GENALIZ
TITULACION DE LICENCIADO		FECHA DE ENTREGA	
NOMBRE DEL ALUMNO		NOMBRE DEL TUTOR	
NOMBRE DEL TUTOR		FECHA	
NOMBRE DEL TUTOR		FECHA	

PLANTA ZAPATA CORRIDA
REJA PERIMETRAL

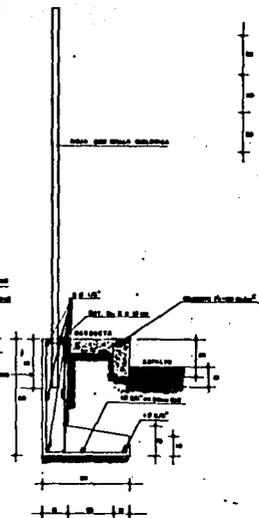


DETALLE UNION TRINCHERA
CON DUCTO TUBERIAS

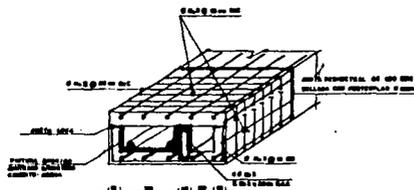
D-1



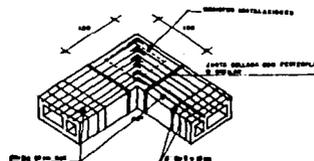
DETALLE DE UNION TRINCHERA
CON TANQUE DE EMERGENCIA



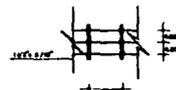
DETALLE
BANOLETAS



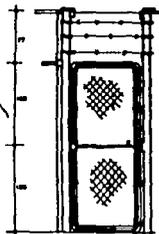
DETALLE DE SELLO EN TRINCHERAS



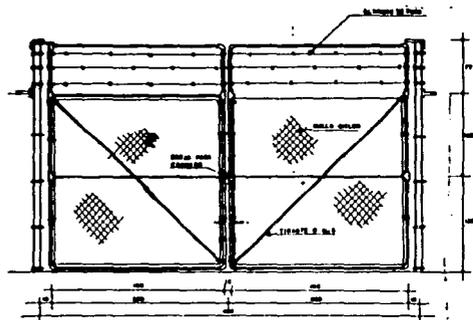
DETALLE QUIEBRE TRINCHERAS



REJILLA IRVING (15-05)



1 PIEZA

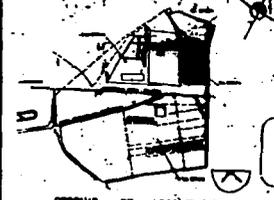


2 PIEZAS



AMARRE VERTICAL
DE MALLA CICLON

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



CIRCUITO DE LOCALIZACION

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
COLOMBIA

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA PROFESIONAL
INGENIERIA CIVIL

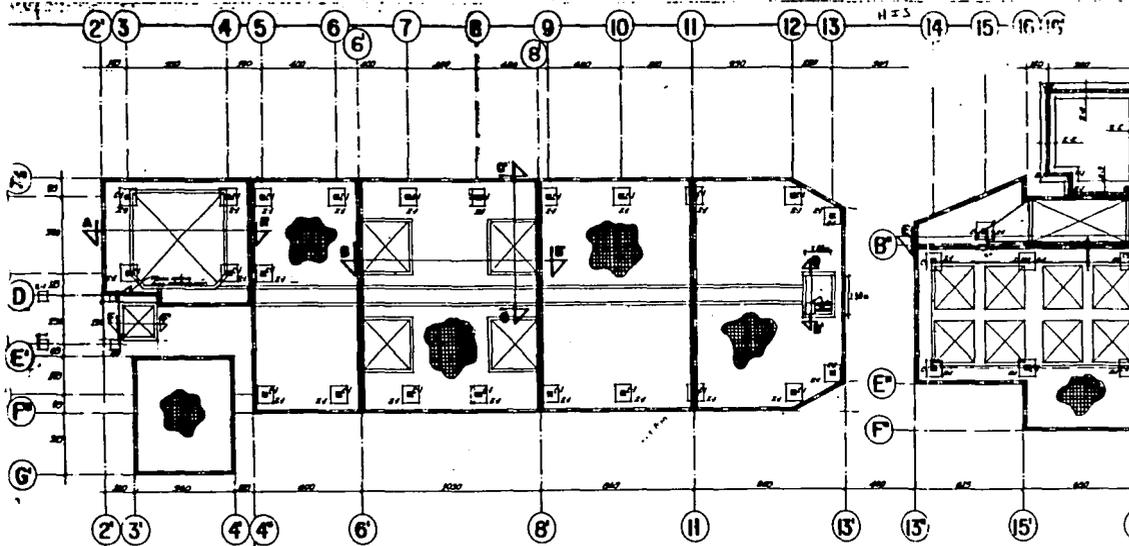
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION

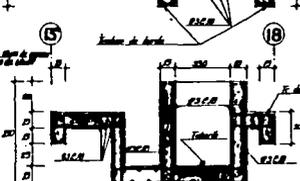
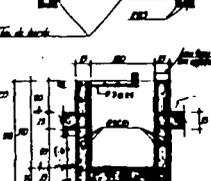
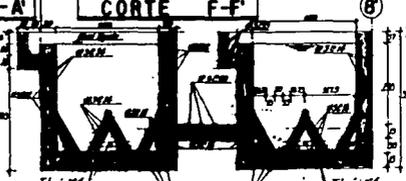
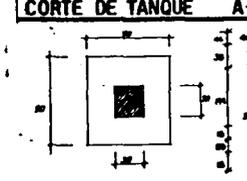
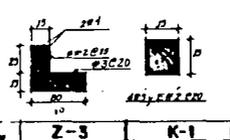
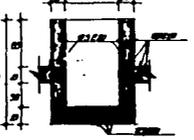
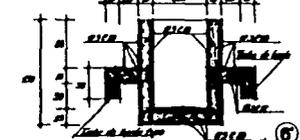
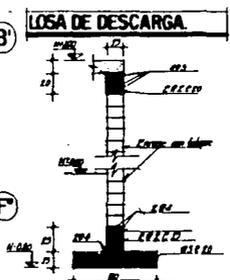
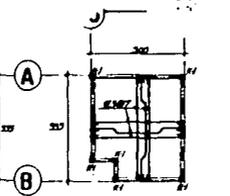
ESTRATEGIA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE DRENAJE PARA LA CIUDAD DE BOGOTA

INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL

INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL



PLANTA DE CIMENTACION esc 1:100

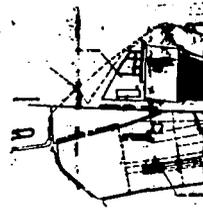
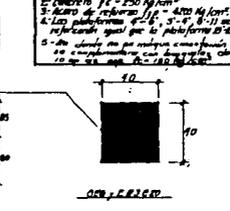
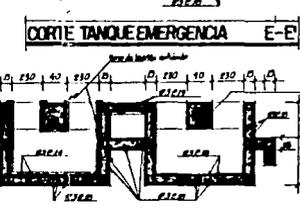
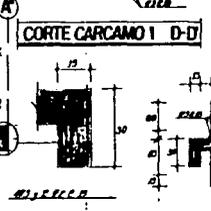
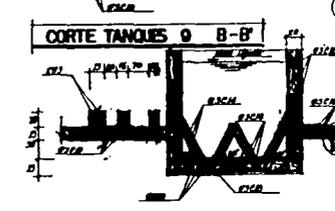
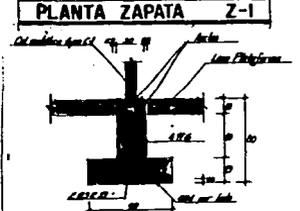


LEYENDA

- Indicador: Trazado de fondo
- Indicador: Contrabando
- Indicador: Doble tipo
- Indicador: Linea de construcción
- Indicador: Columna tipo C-1
- Indicador: Columna tipo C-2

NOTAS:

- Verificar datos en planos arquitectonicos.
- Columna C-1 = 250 x 250 cm.
- Columna C-2 = 250 x 250 cm.
- Columna C-3 = 250 x 250 cm.
- Columna C-4 = 250 x 250 cm.
- Columna C-5 = 250 x 250 cm.
- Columna C-6 = 250 x 250 cm.
- Columna C-7 = 250 x 250 cm.
- Columna C-8 = 250 x 250 cm.
- Columna C-9 = 250 x 250 cm.
- Columna C-10 = 250 x 250 cm.
- Columna C-11 = 250 x 250 cm.
- Columna C-12 = 250 x 250 cm.
- Columna C-13 = 250 x 250 cm.
- Columna C-14 = 250 x 250 cm.
- Columna C-15 = 250 x 250 cm.
- Columna C-16 = 250 x 250 cm.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

NOTA: DE COMPLETAR CON PLANOS E-01 Y E-02

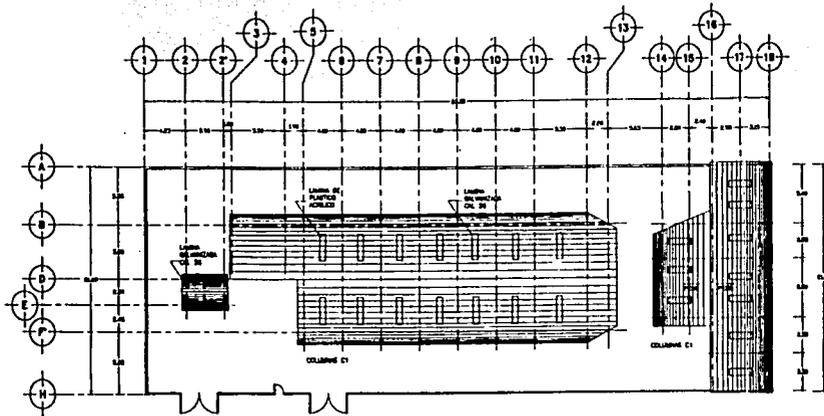
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y TECNOLOGIAS

SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA

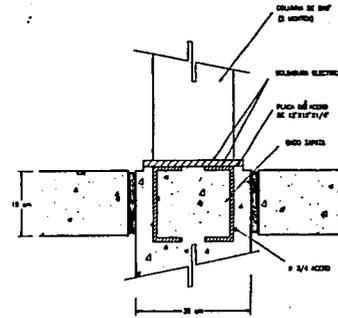
COMISION NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNOLOGICAS

CONACYT



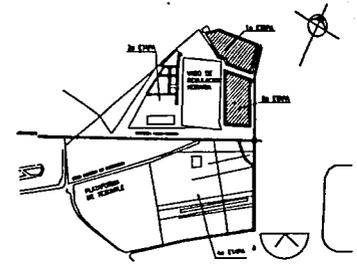
PLANTA DE CUBIERTAS

EN ESCALA

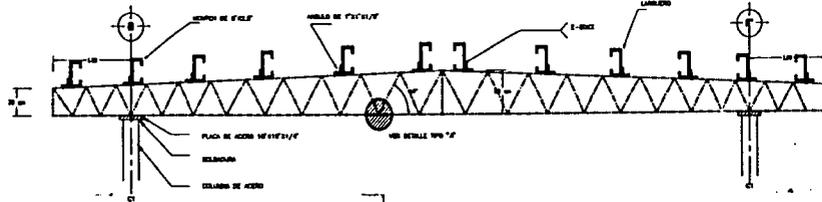


ARMADURA TIPO DEL EJE 4 AL 18

EN ESCALA

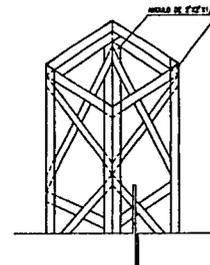


CROQUIS DE LOCALIZACION



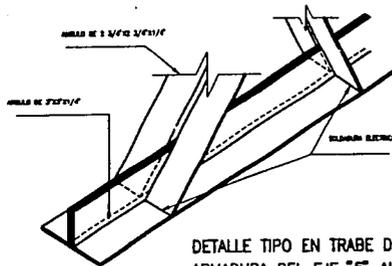
ARMADURA TIPO DEL EJE 5 AL 13

EN ESCALA



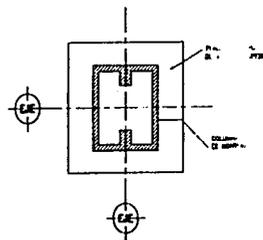
ARMADURA TIPO DEL EJE (2-3) (E-D)

EN ESCALA



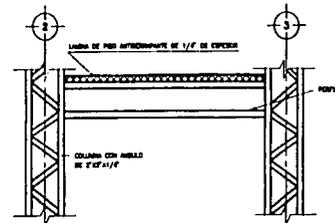
DETALLE TIPO EN TRABE DE ARMADURA DEL EJE "5" AL "13" Y DE LA "A" A LA "H"

EN ESCALA



PLANTA COLUMNA

EN ESCALA



CUBIERTA DE LAMINA PISO ANTIDERRAPANTE Y ARMADURA DE ACERO

EN ESCALA

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

NOTA:

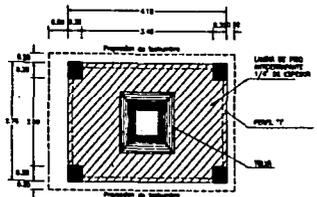
EL PLANO DE ESTRUCTURA METALICA DEL TENDIDO DE CABLES DEBERA SER UN PLANO 23-01-C, 23-01-10

NOTA :

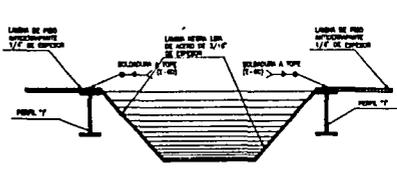
TODA ESTRUCTURA METALICA DEBERA SER UN UNO DE PUNTO, APROXIMACION Y ACABADO COMO SE MUESTRA

ESTRUCTURAS METALICAS	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	ES-01

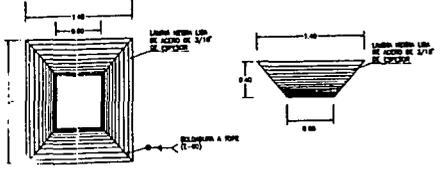
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AVANZADOS			
INGENIERIA CIVIL			
AL	LLA	TURKEY	CHAVEZ
DE	PAIS DE	LOS	ANGLES
DE	CALLE	CON	SEÑALES
DE	CALLE	CON	SEÑALES
TITULO DE LA TESIS		ES-01	
CUBIERTA METALICA (REINFORCADA)		ES-01	
AUTOR		ES-01	
FECHA		ES-01	



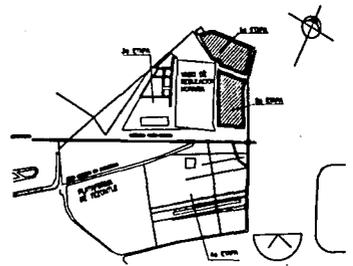
LOSA DE ENTREPISO Y UBICACION DE TOLVA



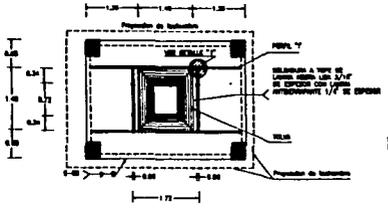
ALZADO DE LA TOLVA



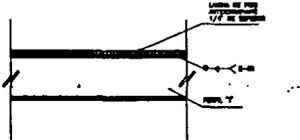
PLANTA DE LA TOLVA ALZADO DE LA TOLVA



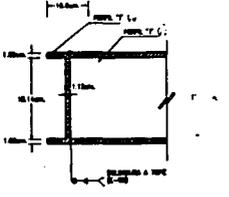
CROQUIS DE LOCALIZACION



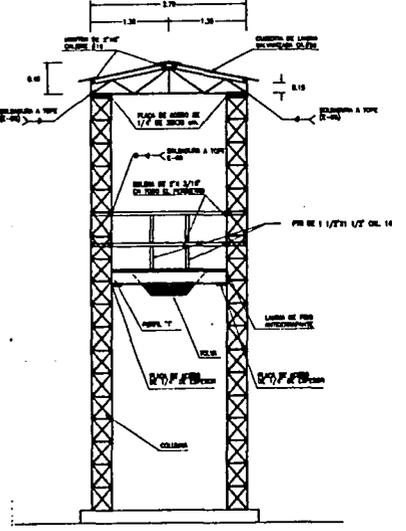
DETALLE PARA APOYO DE LA TOLVA



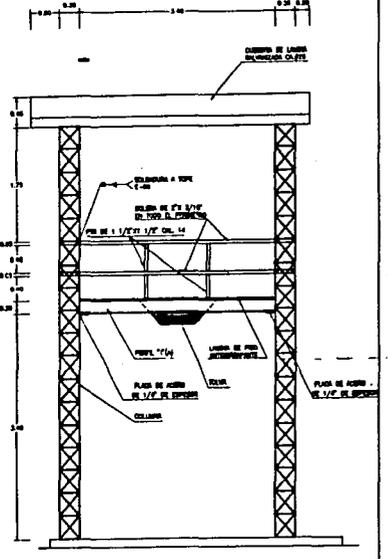
CORTE DE LAS TRABES CON PERFIL Y DETALLE DE LA FIJACION DE LA LAMINA DE PISO ANTIDERRAPANTE 1/4" DE ESPESOR



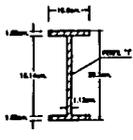
DETALLE I



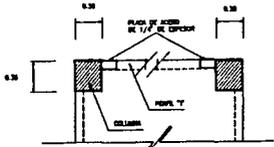
CORTE DE TORRE PARA DESHIDRATADOR DE LODOS



CORTE DE TORRE PARA DESHIDRATADOR DE LODOS



PERFIL "F"



SECCION EN PLANTA DE TRABE (PERFIL "F")

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA PROFESIONAL EN AGRICULTURA

INGENIERIA CIVIL

AL. LUIS VELAZQUEZ

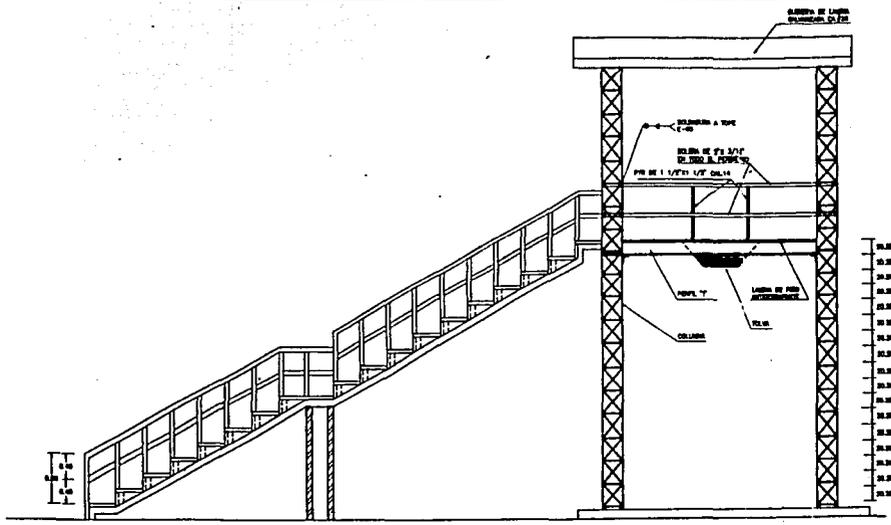
IN. JUAN DE LOS RIOS

DE. GUAYTO

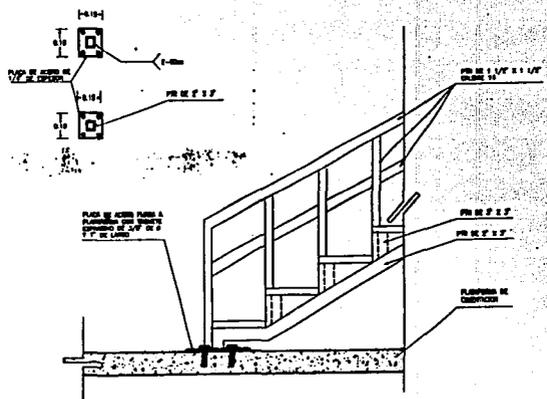
ENCUENTRO DE LUGARES

DETALLE DE ESTRUCTURA METALICA EN PUNO

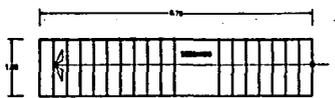
B-5-A



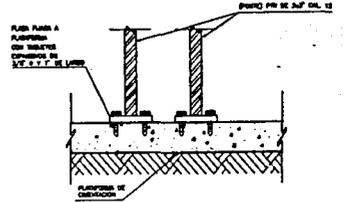
ALZADO DE ESCALERA DE PLATAFORMA DE TOLVA



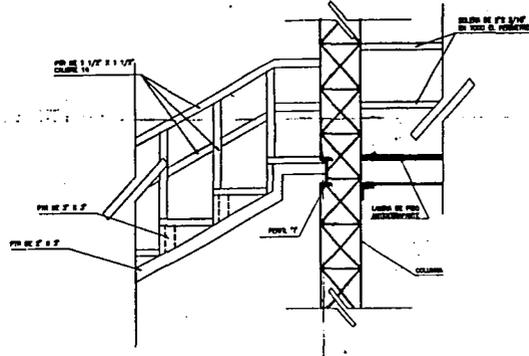
DETALLE DE ARRANQUE DE ESCALERA



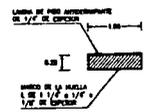
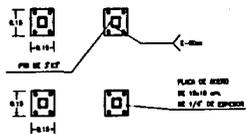
PLANTA DE ESCALERA DE PLATAFORMA DE TOLVA



DETALLE DE APOYO EN DESCANSO



DETALLE DE LLEGADA DE ESCALERA

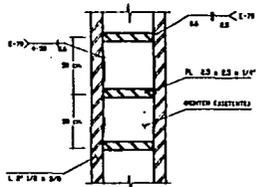


DETALLE DE DESCANSO

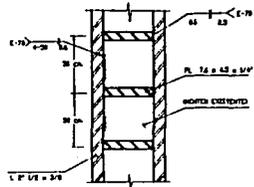
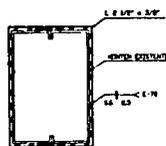
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSO INEGI	
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSO AV. CALZADA DE LA TIERRA NUEVA 101 P.O. BOX 763 MEXICO, D.F.	23-04

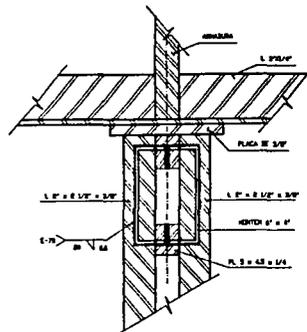
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE MEXICO	
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS PROFESIONALES AGROPECUARIOS INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE MEXICO	
NOMBRE: _____ CARRERA: _____ SEMESTRE: _____ GRUPO: _____	NOMBRE: _____ CARRERA: _____ SEMESTRE: _____ GRUPO: _____
TÍTULO: _____ FECHA: _____	TÍTULO: _____ FECHA: _____



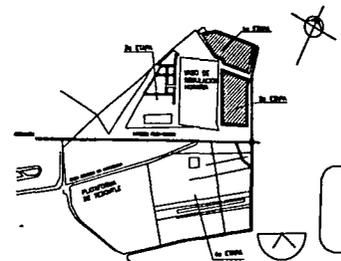
LADO CORTO



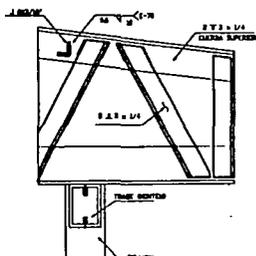
LADO LARGO



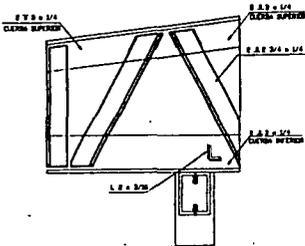
UNION TRABE COLUMNA



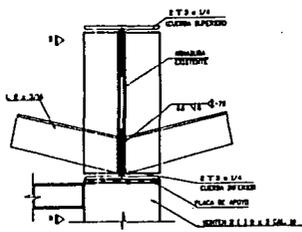
CROQUIS DE LOCALIZACION



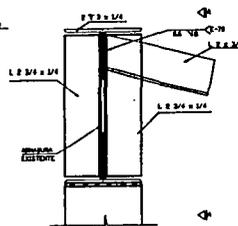
VISTA A-A



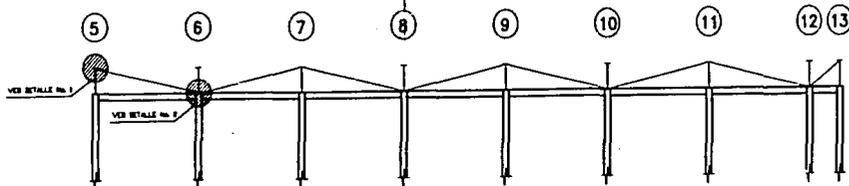
VISTA B-B



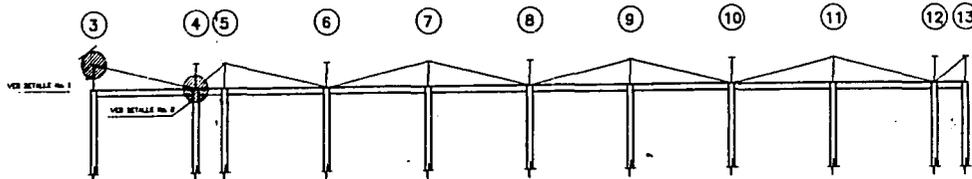
DETALLE No. 2



DETALLE No. 1



CONTRAVENTOS EN ARMADURAS EJE-F



CONTRAVENTOS EN ARMADURAS EJE-B

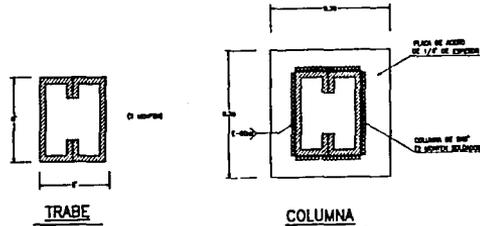
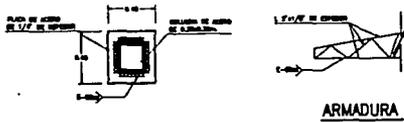
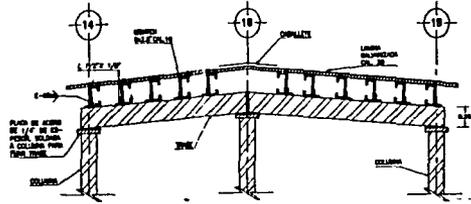
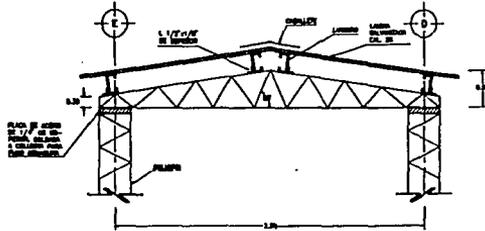
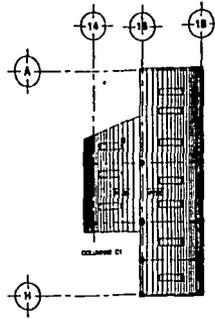
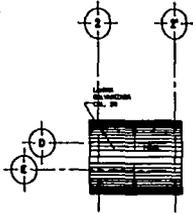
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

NOTA:

— VER ESTRUCTURA METALICA
— TENER EN CUENTA EL TIPO DE PUNTADE
— INFORMACIONES Y ACORDAR CON
— EL DISEÑADOR

— ESTE PLANO DE COMPLEMENTA CON
— LOS PLANOS 12-05 Y 13-05-0

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES AVANZADOS			
INGENIERIA CIVIL			
AL	EL	TITULO	CARRERA
AL	PAIS	DE LOS	SECCIONES
AL	CARRERA	EN	CARRERA
TRATAMIENTO DE LOS DATOS		FECHA DE ENTREGA	
DETALLE DE ESTRUCTURA METALICA (REINADO)		ES-05-C	
DISEÑADOR		REVISOR	
FECHA		FECHA	
LUGAR		LUGAR	

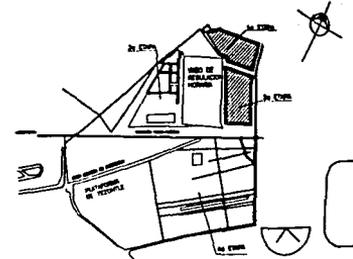


DETALLE DE TECHADO EN TOLVA

EN ESCALA: AUT. 11

DETALLE DE TECHADO ENTRE EJE (14-18)

EN ESCALA: AUT. 11



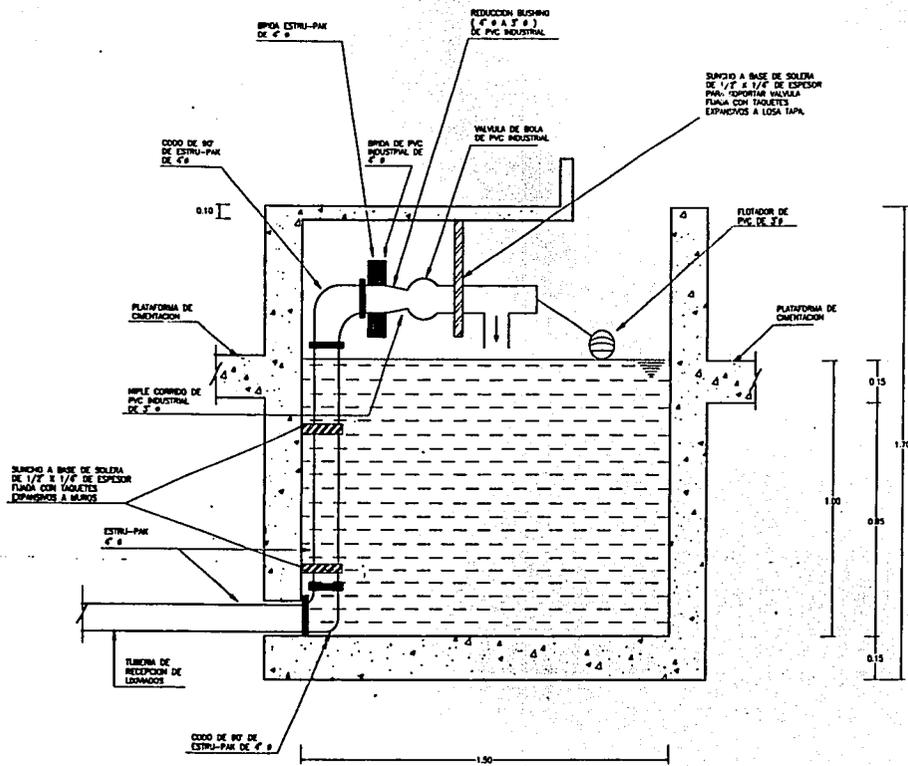
CROQUIS DE LOCALIZACION

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

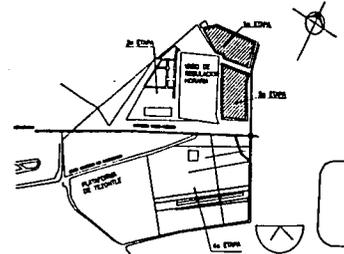
NOTA:

• TODA OPERACION UTILIZADA
DEBE SER HECHA EN UN
COMPUTADOR Y ENTREGAR COMO
ARCHIVO PDF.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
			
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y ENGENNERIA			
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENGENNERIA			
AL:	EL:	TRAYecto:	CARRERA:
DE:	AREA DE:	MATERIA:	UNIDAD:
DEL:	CLASE:	GRUPO:	SEMESTRE:
INVENTARIO DE LIBROS		LIBRO:	
ESTUDIOS DE:		5-5-E	
AUTOR:	TITULO:	EDICION:	AÑO:
NUMERO DE:	FECHA DE:	LUGAR DE:	PAIS:



DETALLE DE CAPTACION DE LIXMADOS



CROQUIS DE LOCALIZACION

DESCRIPCION	LINDERO	CANTIDAD
FUERZA ESTRU-PAK 4"	16	2.88
CORDON DE ESTRU-PAK 4"	PDL	2.88
BROCA DE ESTRU-PAK 4"	PDL	1.00
BROCA DE PVC INDUSTRIAL 2"	PDL	1.00
WIPLE CONOMO DE PVC INDUSTRIAL 2"	PDL	1.00
REDUCCION BUSHING DE 4" A 2 1/2" DE PVC INDUSTRIAL	PDL	1.00
VALVULA BOLA DE PVC INDUSTRIAL DE 2"	PDL	1.00
FLORADOR DE PVC DE 2"	PDL	1.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES GRADOS

INGENIERIA CIVIL

AL: LEA CREDITO: CREDITO

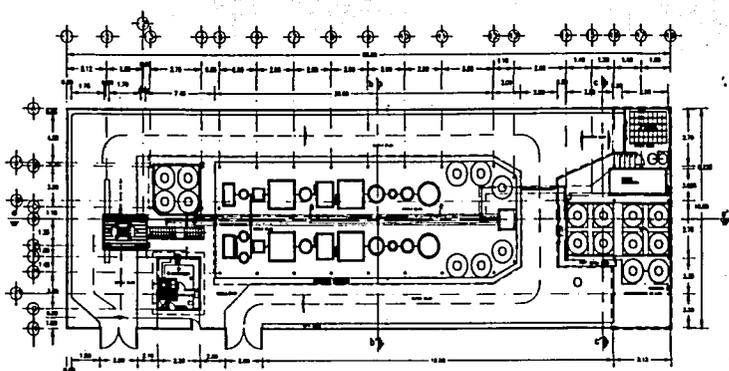
DE: MES DE: DE: AÑOS: SEMESTRE: CUARTO

DE: GRUPO: GRUPO: SEMESTRE: CREDITO

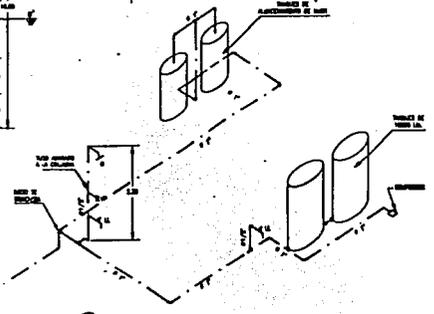
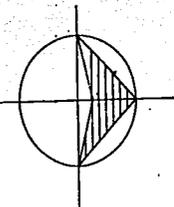
TITULACION DE LICENCIADO

DETALLE DEL CATALOGO DE OBRAS DE LICENCIADO EN LA FACULTAD DE INGENIERIA DE MEXICO

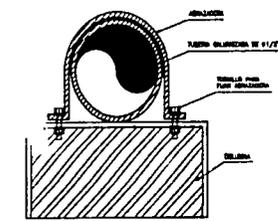
85-01-A



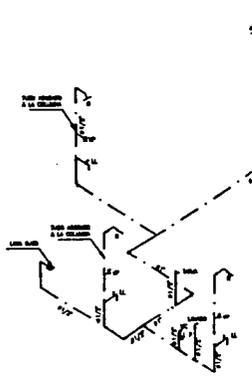
PLANTA GENERAL



DETALLE DE FIJACION DE TUBO A MURO



DETALLE DE FIJACION A COLUMNA METALICA



ISOMETRICO INSTALACION HIDRAULICA

RED DE AGUA POTABLE	
TALSA	
H5-02	

LISTA DE MATERIALES :

CODOS DE 90° 1/2"	PZA.	29
TEES	PZA.	16
LLAVE DE NARIZ	PZA.	07
REGADERA DE EMERGENCIA	PZA.	06
LLAVE DE PASO	PZA.	01
TUBO GALV. 3/8"	ml.	68.00
ABARAZADERA 1/2"	PZA.	16

SIMBOLOGIA.-

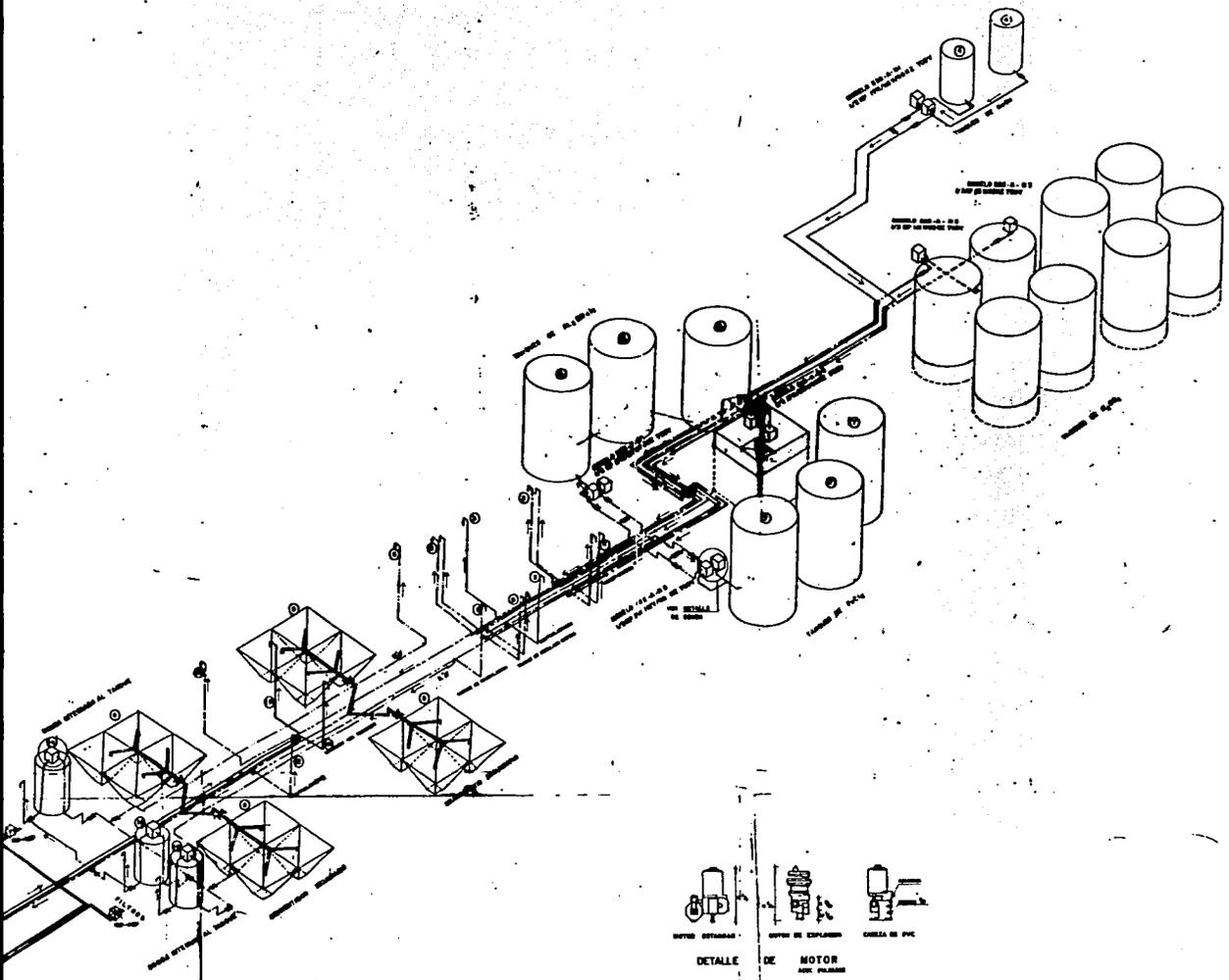
- ⊥ TE DE COBRE
- ⌒ CODO DE COBRE
- ⊕ TUERCA UNION
- > R REGADERA
- ⊥ + LLAVE DE NARIZ
- ⊥ LLAVE DE PASO
- TUBERIA GALVANIZADA
- ⊔ VP VALVULA DE PASO

NOTA:

- 1.- LAS LLAVES DE NARIZ SE RELACIONAN A PARTIR DEL NUDO DE PISO
- 2.- LAS VALVULAS DE PASO A PARTIR DEL NUDO DE PISO Y LAS ABARAZADERAS A PARTIR DEL NUDO DE PISO
- 3.- EL LADO BAJO DE RELACION A PARTIR DEL NUDO DE PISO

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			
ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS PROFESIONALES AGROPECUARIOS			
INGENIERIA CIVIL			
NO.	ELIS	TANCY	CHAVEZ
AL.	PAUL	DE LOS ANGELES	SANCHEZ
AL.	GUAYO	GENIA	SANCHEZ
TITULO DE LICENCIADO		H5-02	
RED DE AGUA POTABLE		H5-02	



SIMBOLOGIA

_____	RESERVOIRIO DE TRABAJO
_____	RESERVOIRIO DE ALIMENTACION
_____	RESERVOIRIO DE TRABAJO DE ALIMENTACION
_____	RESERVOIRIO DE ALIMENTACION DE TRABAJO
_____	RESERVOIRIO DE TRABAJO DE ALIMENTACION DE TRABAJO
_____	RESERVOIRIO DE ALIMENTACION DE TRABAJO DE ALIMENTACION
_____	RESERVOIRIO DE TRABAJO DE ALIMENTACION DE TRABAJO DE ALIMENTACION

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTADO NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONAUTICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONAUTICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONAUTICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO