

44
2el.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

**PROYECTO EJECUTIVO DE
RELLENO SANITARIO EN
GUANAJUATO, GTO.**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA
MARÍA ROCHA JIMÉNEZ

DIRECTOR DE TESIS
ALENÉ DANIEL VELÁZQUEZ VAZQUEZ

MÉXICO 1997



**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.

DEDICATORIA

A DIOS

**POR DARME MUCHO MÁS QUE LA
EXISTENCIA**

**A MI MAMÁ MA. DEL CARMEN JIMÉNEZ DE
ROCHA Y A MI PAPÁ MIGUEL ANGEL ROCHA
RIVERA**

**A MIS HERMANOS DAVID, MIGUEL, ALEJANDRO
Y CARLOS
POR TODO SU APOYO, INSPIRACIÓN,
COMPRESIÓN Y CARIÑO**

**A MI ABUE, TÍAS, TÍOS, PRIMAS Y PRIMOS
POR SU CARIÑO**

**A ERNESTO FUERTE DOMÍNGUEZ
POR TODO SU APOYO, SUS RETOS Y SU
CARIÑO**

**A MIS GRANDES AMIGAS IVONNE IBERRÍ
MONTES, JAMEL MENA JUAREZ, CLAUDIA
RODRIGUEZ CHAVEZ, ROSA TORRES PÉREZ,
Y CLAUDIA MARTÍNEZ OCHOA
POR TODAS LAS COSAS QUE HEMOS VIVIDO.**

**A LA ING. MARÍA GUERRERO LANDEROS
POR SU GRAN AMISTAD Y APOYO**

AL PROFESOR FEDERICO GÓMEZ ARCEO

A MIS MAESTROS

A MIS COMPAÑEROS

Í N D I C E

TEMA	PÁGINA
DEDICATORIA	
INDICE	i
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD.	1
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.	1
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD	2
1.2.1 PERFIL HISTÓRICO CULTURAL.	2
1.2.1.1 CRONOLOGÍA DE LA CIUDAD.	2
1.2.1.2 FIESTAS POPULARES, TRADICIONES Y COSTUMBRES.	3
1.2.2 MEDIO FÍSICO Y GEOGRÁFICO.	4
1.2.2.1 LOCALIZACIÓN.	4
1.2.2.2 HIDROGRAFÍA.	5
1.2.2.3 CLIMA	6
1.2.2.4 CLASIFICACIÓN Y USO DEL SUELO	8
1.2.2.5 FLORA Y FAUNA	8
1.2.2.6 DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE.	9
1.3 ASPECTO SOCIAL	9
1.3.1 POBLACIÓN	9
1.3.1.1 EDUCACIÓN, CULTURA, RECREACIÓN Y DEPORTE.	9

TEMA	PÁGINA
1.3.1.2 SALUD.	10
1.3.1.3 VIVIENDA.	10
1.3.1.4 VÍAS DE COMUNICACIÓN TERRESTRE.	10
1.3.1.5 SERVICIOS PÚBLICOS	11
1.4 ASPECTO ECONÓMICO	11
1.4.1 POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA.	11
1.4.1.1 ACTIVIDADES ECONÓMICAS.	12
1.5 IMPLICACIONES PARA EL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES.	13
1.6 LEGISLACIÓN LOCAL.	13
1.6.1 LEY DE ECOLOGÍA PARA EL ESTADO DE GUANAJUATO	13
1.6.2 REGLAMENTO DE ASEO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE GUANAJUATO	16
CAPÍTULO 2. ESTUDIOS PREVIOS	17
2.1 UBICACION DEL SITIO.	17
2.2 ACCESOS.	17
2.3 FISIOGRAFIA.	17
2.4 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN.	18
2.5 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	23
2.6 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOFÍSICO	24
2.6.1 TRABAJOS REALIZADOS	24
2.6.2 RESULTADOS GEOFÍSICOS.	25
2.6.3 RESULTADOS GEOTECNICOS.	27
2.6.4 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE GEOFISICA.	27
2.6.5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE GEOTECNIA.	28
2.7 GEOLOGÍA REGIONAL.	29
2.8 HIDROGEOLOGIA REGIONAL.	30

TEMA	PÁGINA
2.9 ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS Y DE OTRAS FUENTES.	30
2.9.1 GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO	30
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO	34
3.1 CONSIDERACIONES EN LAS QUE SE BASARÁ LA PROYECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.	34
3.2 PROYECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A CONFINAR.	35
3.2.1 PROYECCIÓN DE GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS	35
3.2.2 PROYECCIÓN DE GENERACIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES.	37
3.2.3 VOLUMEN DE RESIDUOS A DISPONER	40
3.3 DESCRIPCIÓN DEL SITIO SELECCIONADO PARA CONSTRUIR EL RELLENO SANITARIO.	42
3.3.1 UBICACIÓN DEL SITIO	42
3.3.2 DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS	43
3.3.3 ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	43
3.3.4 OTRAS OBSERVACIONES	43
3.4 PREPARACIÓN DEL SITIO.	44
3.5 DISEÑO DE LA CELDA DIARIA Y NIVELES.	44
3.5.1 FORMULACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.	44
3.5.2 DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA.	45
3.6 DESCRIPCIÓN DE ETAPAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS.	47
3.6.1 PRIMERA ETAPA.	48
3.6.2 SEGUNDA ETAPA.	48
3.6.3 TERCERA ETAPA.	49
3.6.4 CUARTA ETAPA.	49
3.6.5 QUINTA ETAPA.	50

TEMA	PÁGINA
3.6.6 SEXTA ETAPA.	50
3.6.7 SÉPTIMA ETAPA.	51
3.7 VIDA ÚTIL	51
3.7.1 ALTURA MÁXIMA DE LLENADO.	51
3.7.2 CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DEL TERRENO.	51
3.7.3 CURVA ALTURA - VOLUMEN.	52
3.7.4 MATERIAL DE CUBIERTA	53
3.7.5 VIDA ÚTIL	54
CAPÍTULO 4. INGENIERÍA AMBIENTAL	57
4.1 BIOGAS	57
4.1.1 GENERACIÓN DEL BIOGAS.	57
4.1.1.1 FASE AEROBIA	57
4.1.1.2 FASE ANAEROBIA NO METANOGÉNICA	59
4.1.1.3 FASE ANAEROBIA METANOGÉNICA INESTABLE	59
4.1.1.4 FASE ANAEROBIA METANOGÉNICA ESTABLE	59
4.1.2 CARACTERÍSTICAS Y VOLUMEN DE BIOGAS ESTIMADO.	60
4.1.2.1 CARACTERÍSTICAS	60
4.1.2.2 VOLUMEN	62
4.1.3 CONTROL DE BIOGAS	66
4.1.3.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE BIOGAS	66
4.1.3.2 POZOS DE VENTEO PASIVOS.	67
4.2 LIXIVIADOS	68
4.2.1 GENERACIÓN DE LIXIVIADOS.	70
4.2.2 PRECIPITACIÓN PLUVIAL.	70
4.2.3 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.	71
4.2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN.	72
4.2.5 DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD DEL SUELO.	74
4.2.6 INFILTRACIÓN.	75
4.2.7 HUMEDAD DEL SUELO.	76
4.2.8 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.	77
4.2.9 PERCOLACIÓN.	78

TEMA	PÁGINA
4.3 CONTROL DE LIXIVIADOS.	80
4.3.1 DRENAJE Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS.	81
4.4 REQUERIMIENTOS DE IMPERMEABILIZACIÓN.	82
4.4.1 IMPERMEABILIZACIÓN CON MATERIAL NATURAL.	83
4.4.2 IMPERMEABILIZACIÓN CON MATERIAL ARTIFICIAL A BASE DE GEOSINTÉTICOS.	83
4.4.2.1 GEOTEXTILES.	83
4.4.2.2 GEOREDES.	84
4.4.2.3 GEOMALLAS.	84
4.4.2.4 GEOCOMPUESTOS.	84
4.4.2.5 GEOMEMBRANAS.	84
4.4.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE IMPERMEABILIZACIÓN PARTICULAR PARA EL RELLENO SANITARIO DE GUANAJUATO, GTO.	87
4.4.4 ÁREA DE COLOCACIÓN.	87
4.4.5 PROCEDIMIENTOS DE COLOCACIÓN.	89
4.4.5.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO.	89
4.4.5.2 ANCLAJE.	89
4.4.5.3 TENDIDO DE LA GEOMEMBRANA.	89
4.4.5.4 UNIÓN DE LA GEOMEMBRANA.	89
4.4.5.5 COBERTURA DE PROTECCIÓN.	90
4.5 BARRERAS DE AMORTIGUAMIENTO Y PROTECCIÓN.	90
4.6 MONITOREO AMBIENTAL.	90
4.6.1 MONITOREO DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES Y CONDICIONES DE LA CUBIERTA FINAL.	91
4.6.1.1 PROCEDIMIENTO PARA REVISAR ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.	92
4.6.2 MONITOREO DE ESTABILIDAD DE TALUDES	92
4.6.2.1 PROCEDIMIENTOS DE MONITOREO.	93
4.6.3 CALIDAD DEL BIOGAS.	93
4.6.3.1 PROCEDIMIENTO DE MONITOREO.	93
4.6.4 CARACTERÍSTICAS DE LIXIVIADOS.	94
4.6.4.1 PROCEDIMIENTO DE MONITOREO.	94
4.6.5 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	94
4.6.5.1 PROCEDIMIENTO DE MONITOREO.	94

TEMA	PÁGINA
4.6.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.	96
CAPÍTULO 5. INGENIERÍA APLICADA	97
5.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO	97
5.1.1 ACCESO EXTERNO AL SITIO.	97
5.1.2 CAMINOS INTERNOS TEMPORALES	99
5.1.3 DESMONTE	99
5.1.4 DESPALME	101
5.1.5 NIVELACIÓN DEL TERRENO.	101
5.1.6 PREPARACIÓN DEL SOCAVÓN SUROESTE.	103
5.1.7. SOCAVÓN NORESTE.	104
5.1.8 PREPARACIÓN DEL ÁREA SUPERFICIAL.	105
5.2. DISEÑO DE CAMINOS	105
5.3 DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL Y DE LIXIVIADOS	106
5.3.1 DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL	106
5.3.2 DRENAJES Y FOSAS DE COLECCIÓN DE LIXIVIADOS	108
5.3.3 DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES Y LIXIVIADOS	108
5.4 OBRAS COMPLEMENTARIAS	110
5.4.1 CASETA DE CONTROL Y VIGILANCIA	110
5.4.2 PLUMA DE CONTROL DE ACCESO	110
5.4.3 OFICINAS	110
5.4.4 SISTEMA DE SEÑALAMIENTOS	110
5.4.5 COBERTIZO PARA MAQUINARIA	111
5.4.5.1 DISEÑO DEL COBERTIZO	111
5.4.6 BARDA PERIMETRAL	121
5.4.7 ABASTECIMIENTO DE AGUA	121
5.4.8 MURO DE CONTENCIÓN (MURO DE GAVIONES)	122
5.4.8.1. DESCRIPCIÓN.	122
5.4.8.2. PROPIEDADES.	123
5.4.8.3. ARMADO DE GAVIONES.	124
5.4.8.4. MATERIAL DE RELLENO.	125
5.4.8.5 MEMORIA DE CALCULO.	126
5.5 CATALOGO DE CONCEPTOS	132

CONCLUSIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXO A	
ANEXO B	

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
CAPÍTULO 2	
TABLA 2.1 MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DE LA PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE GUANAJUATO, GTO.	19
TABLA 2.2 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE GUANAJUATO, GTO. A TRAVÉS DE DIFERENTES MÉTODOS.	20
TABLA 2.3 TASA DE CRECIMIENTO DE POBLACIÓN DE GUANAJUATO, GTO.	23
TABLA 2.4 GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS TRES ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS DE LA CIUDAD DE GUANAJUATO, GUANAJUATO.	32
CAPÍTULO 3	
TABLA 3.1 POBLACIÓN DE PROYECTO	35
TABLA 3.2 PROYECCIÓN DE GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE GUANAJUATO	36
TABLA 3.3 RESIDUOS MUNICIPALES GENERADOS POR LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE GUANAJUATO	38
TABLA 3.4 VOLUMEN ANUAL Y ACUMULADO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES A DISPONER EN GUANAJUATO, GTO.	41
TABLA 3.5 DISEÑO DE CELDA DIARIA	47
TABLA 3.6 CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DEL TERRENO	52
TABLA 3.7 MATERIAL DE CUBIERTA	54
TABLA 3.8 DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL	55
TABLA 3.9 VIDA ÚTIL	56
CAPÍTULO 4	
TABLA 4.1 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL BIOGAS EN UN RELLENO SANITARIO.	62
TABLA 4.2 PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOGAS RELLENO SANITARIO DE GUANAJUATO, GTO. (Lo = 90 m ³ /ton K = 0.05 lt año)	66
TABLA 4.3 PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO	71
TABLA 4.4 TEMPERATURA MEDIA EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO	71
TABLA 4.5 CÁLCULO DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	72
TABLA 4.6 CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN AJUSTADA	74
TABLA 4.7 CÁLCULO DE INFILTRACIÓN	76

TABLA	PÁGINA
TABLA 4.8 CÁLCULO DE LA VARIACIÓN EN LA HUMEDAD DEL SUELO	77
TABLA 4.9 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.	78
TABLA 4.10 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE PERCOLADOS	79
TABLA 4.11 CANTIDADES TOTALES DE GEOMEMBRANA Y GEOTEXTIL (M ²)	88
CAPÍTULO 5	
TABLA 5.1 CÁLCULO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA.	103
TABLA 5.2 COMBINACIÓN DE EFECTOS EXTERIORES CON INTERIORES	112
TABLA 5.3 CÁLCULO DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE POR MÉTODO DE CROSS	115
TABLA 5.4 PESO VOLUMÉTRICO DE GAVIONES CON DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL	125
TABLA 5.5 CÁLCULO DE BRAZO DE PALANCA PARA EL PESO PROPIO DEL MURO	131

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
CAPÍTULO 1	
FIGURA 1.1 UBICACIÓN DEL MUNICIPIO DE GUANAJUATO	5
CAPÍTULO 2	
FIGURA 2.1 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN (DIFERENTES MÉTODOS)	21
FIGURA 2.2 POBLACIÓN PROMEDIO.	22
FIGURA 2.3 GENERACIÓN PER-CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS TRES ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS DE LA CIUDAD DE GUANAJUATO, GUANAJUATO.	32
CAPÍTULO 3	
FIGURA 3.1 PROYECCIÓN DE GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE GUANAJUATO	37
FIGURA 3.2 PROYECCIÓN DE GENERACIÓN ANUAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES GUANAJUATO, GTO.	39
FIGURA 3.3 VOLUMEN ANUAL Y ACUMULADO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES A DISPONER EN GUANAJUATO, GTO.	42
FIGURA 3.4 DIMENSIONAMIENTO DE CELDA DIARIA	46
FIGURA 3.5 CURVA ALTURA VOLUMEN.	53
CAPÍTULO 4	
FIGURA 4.1 PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	58
FIGURA 4.2 BALANCE DE AGUA RELLENO SANITARIO DE GUANAJUATO	69
FIGURA 4.3 BALANCE DE AGUA	79
CAPÍTULO 5	
FIGURA 5.1 CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS.	98
FIGURA 5.2 DESMONTE BAJO CON HOJA TOPADORA.	100
FIGURA 5.3 DESMONTE BAJO CON HOJA LIMPIADORA.	100
FIGURA 5.4 MOVIMIENTO DE TIERRAS EN PENDIENTE HACIA ABAJO.	101
FIGURA 5.5 SECCIÓN DEL CANAL PERIMETRAL DE AGUAS PLUVIALES	108
FIGURA 5.6 ZANJAS COLECTORAS A PIE DE TALUD	109
FIGURA 5.7 LAVADEROS PARA AGUAS PLUVIALES	109
FIGURA 5.8 PLANTA DE AZOTEA DEL COBERTIZO	113

FIGURA	PÁGINA
FIGURA 5.9 DIAGRAMA REPRESENTATIVO DE LAS CARGAS QUE ACTÚAN EN LOS LARGUEROS	114
FIGURA 5.10 DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE	116
FIGURA 5.11 ACCIONES EN LA ARMADURA	117
FIGURA 5.12 NUDO	117
FIGURA 5.13 FUERZA EN LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA	117
FIGURA 5.14 SECCIÓN DE LA TRABE EN LA ARMADURA 2 CANALES 8 MT -12	119
FIGURA 5.15 ALZADO Y SECCIÓN DE LA COLUMNA	120
FIGURA 5.16 ZAPATA	121
FIGURA 5.17 MURO DE CONTENCIÓN	127
FIGURA 5.18 ÁREAS EN EL MURO DE CONTENCIÓN	130

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las principales ciudades del país, al concentrar actividades económicas e industriales, han experimentado un crecimiento de población. Esto provoca una gran demanda de servicios públicos y el Servicio de Aseo Urbano es uno de ellos.

El Servicio de Aseo Urbano comprende las actividades de: recolección, barrido, transferencia, tratamiento y **disposición final**.

La **disposición final** es la última fase del sistema de aseo urbano y está íntimamente relacionada con la preservación del ambiente, y por ende con la salud de la población, por lo cual se debe realizar adecuadamente para minimizar los impactos negativos hacia el medio ambiente.

A pesar de tener plena conciencia de la importancia que reviste mantener una adecuada disposición final de los residuos sólidos municipales, en la actualidad aún prevalece la práctica del **"tiradero a cielo abierto"**. La cual consiste en el depósito incontrolado de residuos sólidos directamente en el suelo, favoreciendo la **contaminación del aire, agua y suelo**, además de constituir un hábitat ideal para el desarrollo de fauna nociva (moscas, mosquitos, roedores, etc.); tanto para el hombre, como para animales domésticos.

Además, aún persiste en estos lugares la actividad conocida como **"pepena"**, que se basa en la separación de subproductos con un valor económico intrínseco (papel, cartón, plástico, lata, vidrio, etc.). Esta actividad, generalmente se efectúa en condiciones de insalubridad, y propicia el desarrollo de asentamientos humanos irregulares dentro y en las zonas aledañas de los sitios de disposición final. Creando así problemas sociales, urbanos y complicando todavía más para las autoridades responsables el control de estos sitios.

Dentro de las alternativas viables para el control de la disposición final de los residuos sólidos municipales, y conforme a las condiciones actuales del país, se cuenta con el método de **relleno sanitario**. Este sistema, utiliza **ingeniería**, y consiste básicamente en depositar los residuos sólidos sobre el **suelo impor-**

meabilizado y preparado, conformarlos en capas, compactarlos al menor volumen posible transitando sobre ellos maquinaria pesada y **cubrirlos** al término de la jornada de trabajo, con una capa de material inerte compactado (comúnmente tepetate), cuyo espesor dependerá de las características del material mismo. Hasta alcanzar el desarrollo final y cubrirlos con una **capa final** de material fino.

Antes del depósito de los residuos sólidos, se realizan **obras** para prevenir y controlar los impactos negativos que pudieran presentarse durante y después del funcionamiento de este sistema de disposición final, dichas obras son: **canales perimetrales para aguas pluviales, canales interiores para captación de aguas pluviales y líquidos percolados, y pozos para extracción de gases.**

Con estas operaciones y la preparación previa del sitio, se **disminuye el riesgo potencial de contaminación** originada por la generación de **biogás y lixiviados**. Además se elimina la posibilidad de incendios provocados por la presencia de oxígeno molecular.

Biogás es el nombre que se le da a la mezcla de los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica presente en los desechos sólidos confinados. Los **lixiviados** son los líquidos que pueden ser producto de la descomposición de la materia orgánica presente en los residuos, y/o de la percolación del agua de lluvia a través de la basura.

El sistema de **relleno sanitario**, como toda obra de **ingeniería** debe ser **planeado y diseñado** previamente respetando los lineamientos y criterios de **construcción, operación y mantenimiento** adecuados para cumplir con el objetivo fundamental.

En la región del **Municipio de Guanajuato**, el sitio actual de disposición final de residuos sólidos, y un sin número de tiraderos clandestinos, contribuyen de manera determinante al deterioro de la calidad de vida de sus habitantes, y agudizan el grave problema de contaminación ambiental que padece la misma.

Por todo lo anterior, fue necesario desarrollar un proyecto. El cual atienda las técnicas ingenieriles más adecuadas para mitigar la contaminación, provocada por la disposición final de los residuos sólidos municipales generados en el municipio de Guanajuato, Gto.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

En México, el modelo de distribución territorial de la población se ha caracterizado por una excesiva concentración en cuatro grandes zonas metropolitanas; lo cual ha traído consigo que dichas zonas tengan mejores recursos o servicios; además de mayores posibilidades de empleo.

Esta situación ha provocado una diseminación igualmente excesiva en poblados con menos de 2 500 habitantes, lo cual implica altos costos económicos y sociales, e impactos en el bienestar social de la población. Por lo tanto, es necesario reorientar dicho modelo de distribución de la población en forma más equilibrada, para ello es indispensable que los tres niveles de gobierno (Estatal, Federal y Municipal) unan sus esfuerzos para alcanzar este propósito.

La Secretaría de Desarrollo Social **SEDESOL**, es la dependencia del Ejecutivo Federal encargada de llevar a cabo este tipo de acciones, de ahí, que desde 1992 se esté promoviendo en todo el país el programa de **Ciudades Medias**, que plantea el mejoramiento de los servicios urbanos y la promoción del desarrollo de los centros de población en las ciudades que cuentan con potencial para su desarrollo, impulsando las condiciones sociales y económicas favorables

Este planteamiento se fundamenta en la administración urbana más eficiente y en el fortalecimiento de las instancias de participación de la sociedad, para lograr condiciones de vida y convivencia más justas, especialmente para los sectores de la población con menores recursos

Dentro los objetivos que pretende alcanzar dicho programa, destaca el de mantener el equilibrio de los procesos urbanos, a través del cuidado de los recursos naturales, de los recursos hidráulicos y su aprovechamiento racional, así como mejorar e incrementar el manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales

Respecto al manejo de los residuos sólidos, en el programa de referencia se propone mejorar e incrementar los niveles de atención en las actividades de almacenamiento, recolección, barrido, transporte, tratamiento y disposición final.

Desde este marco de referencia, la **SEDESOL**, a través de la Dirección General de Infraestructura y Equipamiento, ha venido desarrollando como acción preliminar, la ejecución de **estudios integrales y de factibilidad para el manejo y la disposición final de residuos sólidos**, con la intención de conocer las condiciones actuales del servicio de aseo urbano y definir las estrategias para el mejoramiento técnico y operativo de los mismos.

Una de las localidades contempladas para llevar las acciones de referencia en la Ciudad de Guanajuato, Gto., quien enfrenta en la actualidad un problema serio en la disposición final de los residuos sólidos municipales y un rechazo, por parte de la población, por la presencia del sitio actual de disposición final.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD

1.2.1 PERFIL HISTÓRICO CULTURAL.

1.2.1.1 CRONOLOGÍA DE LA CIUDAD.

Antes de la llegada de los españoles, los otomíes y los chichimecas fueron los grupos indígenas que habitaron el territorio del actual estado de *Guanajuato*. Sin embargo los pobladores más antiguos del estado, según datos recientes, pudieron haber sido los chupicuaro, cuyo predominio abarcó la porción meridional del Bajío, y de los que se han encontrado numerosos vestigios en diversos sitios recientemente localizados y estudiados.

En 1522, llega a Yurihapúndaro y Pénjamo la expedición de Cristóbal de Olid. En 1542 se inicia la colonización de la región oriental de *Guanajuato*, al concederse mercedes para estancias ganaderas en Apaseo y Chumacero, Ángel Villafaña funda, en 1576, la Villa de León.

Para celebrar el pacto de paz entre las autoridades españolas y los chichimecas, se funda la Villa de San Luis de la Paz, en 1590.

Debido al auge regional de la minería en el siglo XVIII, se construyen notables edificios civiles y religiosos en la ciudad de *Guanajuato* y en otras poblaciones de la entidad, los cuales constituyen magníficos empleos de arquitectura barroca y churrigueresca. Para el año de 1741 se le concede a *Guanajuato* el título de Santa Fe y Real de Minas de *Guanajuato*, con derecho a usar escudo de armas.

En 1785, al quedar dividido el territorio de la Nueva España en doce intendencias, una de ellas fue *Guanajuato*, cuyos límites fueron más o menos los mismos que ahora tiene el estado, siendo su primer intendente Andrés Amat y Tortosa, quien fue uno de los mejores gobernantes que tuvo *Guanajuato*, y a quien se debió la construcción del gigantesco almacén de granos conocido como la alhóndiga de Granaditas, fue nombrado intendente en 1792.

En 1810, el cura Miguel Hidalgo y Costilla proclama, en Dolores, la Independencia de México y levanta en armas a sus feligreses en la madrugada del 16 de Septiembre, Hidalgo toma varias poblaciones y se lanza sobre la ciudad de Guanajuato, que ocupa el día 30 del mismo mes y procede a nombrar autoridades. Los jefes militares Luis de Cortázar y Anastasio Bustamante, en 1821, se adhieren al plan de Iguala, y el 24 de Marzo ocupan la ciudad de *Guanajuato*. Meses después, el 8 de julio de 1821, se jura la Independencia de México en toda la provincia de *Guanajuato*. Para 1824, el Congreso Constituyente de México, en el que se jura el acta constitutiva de la federación, da a la entidad el nombre de Estado Libre y Soberano de *Guanajuato*, característica que pierde al convertirse en departamento durante el régimen de gobierno centralista implantado en la nación.

En el año de 1848, inconformes con el tratado de Guadalupe, que dio fin a la guerra de México con los Estados Unidos de América, se levantan en armas los generales Mariano Paredes y Manuel Doblado, quienes junto con el padre Celedonio Doméco Jarauta, ocupan la capital del estado, son derrotados y el mencionado sacerdote es fusilado.

El licenciado Benito Juárez llega a la ciudad de *Guanajuato*, y ante el golpe de estado de Ignacio Comonfort, asume la presidencia de la República y forma su gobierno el 19 de Enero de 1858, antes de marchar a Guadalajara y salir por Manzanillo rumbo a Veracruz. Entre 1858 y 1860, durante la guerra de tres años o de reforma, la ciudad de *Guanajuato* estuvo nueve veces en poder de los conservadores, y otros tantos en manos de los liberales.

En diciembre de 1863 *Guanajuato* cae en poder de los imperialistas, y en marzo de 1864 es transformado de estado en departamento. Al finalizar la ocupación imperialista, la ciudad de *Guanajuato* es recobrada por las fuerzas del general Florencio Antillón, el 26 de Enero de 1867, quien poco después asume el cargo de gobernador del estado y permanece en poder hasta 1877.

A partir de 1893, y hasta 1911, Joaquín Obregón González gobernó la entidad.

El 20 de Noviembre de 1910 se levanta en armas, cerca de Silao, Cándido Navarro, el cual toma varias poblaciones y finalmente ocupa la capital de San Luis Potosí, en el vecino estado. En 1915 se libra, en Celaya, la célebre batalla entre el general Alvaro Obregón y Francisco Villa, en la que éste último fue derrotado.

En 1926 toma auge en Pénjamo, León y otras poblaciones de la entidad, el movimiento rebelde cristero. En 1946 un motín provocado por los sinarquistas en León termina con numerosos muertos y heridos.

1 2 1 2 FIESTAS POPULARES, TRADICIONES Y COSTUMBRES.

Fiestas Populares a partir de 1973 se inicia, con carácter de internacional, la celebración cada año, del **Festival Cervantino**, importante evento cultural al cual con-

curren delegaciones de numerosos países, aportando brillantes manifestaciones artísticas y literarias.

Otras fiestas populares que destacan son: Semana Santa, San Juan y presa de Olla, el 24 de Junio; San Ignacio de Loyola, el 31 de Julio; San Nicolás de Tolentino, el 10 de Septiembre; Virgen de Guanajuato, fecha variable; y Virgen de Guadalupe, 12 de Diciembre.

1.2.2 MEDIO FÍSICO Y GEOGRÁFICO.

1.2.2.1 LOCALIZACIÓN.

El lugar considerado en el presente estudio, se refiere al municipio de *Guanajuato*, capital del Estado de *Guanajuato*, cabecera municipal del municipio del mismo nombre.

A continuación se presentarán algunas características del Estado, como antecedente al sitio en cuestión.

El estado de *Guanajuato* se localiza en la parte central del territorio nacional, entre los paralelos 22° y 19° de latitud norte y los meridianos 99° y 103° de longitud Oeste. Ocupa la parte Sur de la mesa del centro y parte del centro del Eje Neovolcánico o Sierra Transversal. Limita al Norte con el Estado de San Luis Potosí, al Este con Querétaro, al Sur con Michoacán y al Oeste con Jalisco.

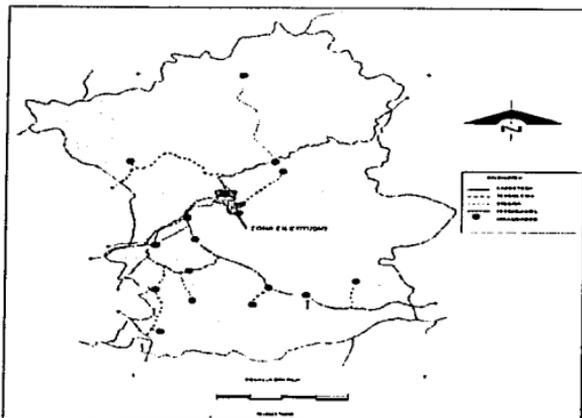
Por sus 30,491 km² de extensión, ocupa el vigésimo segundo lugar entre las entidades federativas del país. Políticamente, se divide en 46 municipios, en ellos se asienta un total de 6,028 localidades de las cuales 30 son ciudades, 6 villas y 44 pueblos. El resto, entre ranchos, ejidos, haciendas, etc. son localidades menores.

Los municipios con mayor concentración poblacional son, en orden de importancia, León, Irapuato, Celaya y Salamanca; municipios que concentran, conjuntamente, más de la tercera parte de la población del estado.

El sitio en estudio es el municipio de Guanajuato, el cual tiene una extensión de 1,010.70 km², equivalente al 3.31% de la superficie total del estado. Las localidades principales de éste, son Guanajuato, Marfil, Santa Teresa, San José de Llanos, Cañada de Bustos, La Sauceda-Santa Fe de Guadalupe y Puenteacillas.

Dicho municipio es cabecera municipal; colinda al **Norte** con los municipios de San Felipe y Dolores Hidalgo; al **Este** con el municipio de Dolores Hidalgo; al **Sur** con el municipio de Salamanca e Irapuato y al **Oeste** con los municipios de Silao y León. Como se puede ver en la **Figura 1.1**.

FIGURA 1.1
UBICACIÓN DEL MUNICIPIO DE GUANAJUATO



El municipio de Guanajuato tiene como coordenadas geográficas: al Norte $21^{\circ} 14'$, al Sur $20^{\circ} 50'$ de latitud Norte; al Este $101^{\circ} 04'$ y al Oeste $101^{\circ} 26'$ longitud Oeste. La altura sobre el nivel del mar es de 2,008.0 m en la estación del ferrocarril.

1.2.2.2 HIDROGRAFÍA.

Las corrientes de agua que se encuentran entre los cerros de la sierra de Guanajuato son: por el Noreste el arroyo Cedeño y la Joya, que se unen al río La Soledad, en el poblado de San José de Pinos; éste recibe después el nombre de arroyo La Joya y se le une el arroyo El Salto, en el poblado de Arperos y así sigue el cauce hasta reunirse con el arroyo El Gigante para formar el río Silao.

Por el Norte se encuentran los arroyos La Cebada, Potrero y la Escondida que unidos al arroyo Concepción desembocan en la presa de La Soledad. Esta presa recibe también las aguas de la presa La Esperanza y esta por su parte se alimenta del cauce de los arroyos Llano Grande, Melchores, La Taponá; Duraznillo y Mexicanos.

De la presa la Soledad, sale el arroyo de Santa Ana, al que, en el Tajo de Adjuntas, se le unen dos arroyos de Pinitos, la Joya y la Aurora.

Por otra parte, los arroyos La Hacienda, Conejas y las Raíces, provienen de la presa Peregrina y van ha desembocar a la presa de Mata que actualmente ha quedado hundida por la recién construida presa Las Torres. Las aguas de ésta última atraviesan la ciudad de Guanajuato para unirse al río del mismo nombre. Por su parte, el río Guanajuato tiene como afluentes a los arroyos El Arco, Paso del Padre, El Pulque, que forman el río del Cubo cerca del Zangarro.

El **sitio propuesto** para la disposición final de desechos sólidos, se encuentra rodeado por los siguientes cuerpos de agua: en la zona Sur por el río Grande el cual fluye hacia el Suroeste; en la zona Noreste por el río San Juan y el arroyo Ojo de Agua.

Cabe mencionar que la corriente de agua de mayor trascendencia por su cercanía al sitio en estudio, es el río Grande por encontrarse a un distancia de 300 m. aproximadamente.

En resumen, las corrientes y cuerpos de agua son:

• **Corrientes de Agua:**

Río Guanajuato, Río el Cubo, Río San Juan, Río el Gigante, Río Grande, Río Rancho Viejo, Río Santa Rosa, Arroyo Ojo de Agua y Arroyo la Escondida.

• **Cuerpos de Agua:**

Presa la Purísima, Presa la Zanja, Presa la Soledad y Presa la Peregrina.

1.2.2.3 CLIMA

De acuerdo al estudio de clasificación de climas, de Koppen, modificada por Enriqueta García, el municipio de *Guanajuato* tiene seis tipos de climas, los cuales se describen a continuación:

En el extremo Norte una pequeña zona con clima BS, KW (W) (e) g: es decir clima húmedo seco o estepario, templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12° y 18° C y la del mes más cálido mayor de 18° C; con régimen de lluvias en verano: por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvias en el mes más húmedo de la mitad más caliente del año que en el más seco, un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.0 de la total anual.

Es extremoso ocasionalmente, en general con una oscilación entre 7° y 14°C. El tiempo más caliente del año es antes del mes de Junio.

En la zona Oriente hasta el Sur por la parte media, al Poniente hasta el municipio de Silao y hacia el Norte hasta el municipio de León, con clima $C(W_2)(W)h(i)$, el cual se define como el más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias de verano, con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.0 de la lluvia anual.

Es semicálido con invierno fresco, temperatura media anual, entre 18°C y los 22°C y la del mes más frío menor de 18°C. Contando con poca oscilación entre 5° y 7° C.

Una franja del municipio de León con clima $C(W_2)(W)h(i)$, es el más húmedo de los templados subhúmedos con lluvias de verano, el cociente de precipitación temperatura es de 55.0.

Tiene un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.0 de lluvia anual. Es semicálido con invierno fresco, temperatura media anual, entre los 18°C y los 22°C y los 22°C y la del mes más frío menor de 18°C. Contando con poca oscilación entre 5° y 7°C.

Al Suroeste del municipio, clima $BS_1 hW(W)(e)$; es el más húmedo del clima seco o estepario, con invierno fresco, temperatura media anual entre los 18° y los 22°C, y la del mes más frío menor de 18°C.

Con régimen de lluvia en Verano: por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco, un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.0 de la total anual. Se llegan a presentar temperaturas extremosas, en general con una oscilación entre 7° y 14°C.

En el extremo Sureste, penetrando a los municipios de Irapuato y San Miguel de Allende, con clima $C(W_0)(W)b(e)g$, el cual se define como más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.0 de la lluvia anual Verano fresco y prolongado con temperatura media del mes más caliente entre 6.5°C y los 22°C.

Se llegan a presentar temperaturas extremosas, en general con una oscilación entre 7° y 14°C.

En general el municipio de Guanajuato presenta un clima templado. La temperatura media mensual es de 18.7°C, oscilando entre los 14.1°C y los 21.2° C. Presenta un promedio de 6 días de heladas por año.

La precipitación pluvial anual promedio llega a los 320 mm., teniendo un promedio de 77 días con lluvia apreciable por año. La humedad relativa promedio es de 66%.

La velocidad media de los vientos es de 2.9 m. por segundo y con una dirección dominante de Suroeste. La presión barométrica asciende a 803.0 mm.

1.2.2.4 CLASIFICACIÓN Y USO DEL SUELO

En la parte Norte del municipio de *Guanajuato*, predomina el suelo tipo luvisolcromico con litosol y phaeozem háplico de textura media, en terreno de disección severa a terreno montañoso con pendientes mayores del 20%.

En el Sur los suelos son del tipo phaeozem luvico con litosol de textura media de terreno plano a ligeramente ondulado. En el Noroeste y Oeste predomina el phaeozem háplico con phaeozem luvico y litosol de textura media y pendientes que van de 0 a 20%. Además, existen pequeñas zonas con vertisol pélico con phaeozem háplico de textura fina y cambisol éutrico con litosol de textura media con lomerío a terreno montañoso con pendientes entre 8 y 20%.

En general los suelos del Municipio son de estructura blocosa angular, a blocosa subangular, con una consistencia de friable a muy firme, textura franco arenosa, arcillo-limoso y de un p.H. de 6.0 a 8.9 y en cuanto al uso de la tierra, existen un total de 101,070 Has., de las cuales 2,362 Has., son de riego; 10,833 de temporal; 35,762 de angostura y 52,203 corresponden a otros usos.

1.2.2.5 FLORA Y FAUNA

La *flora* del municipio de *Guanajuato*, está constituida por selva baja caudosifolia, con árboles menores de 15 m, pastizal amacollado, de productividad forrajera; bosque latifolido, con predominio de árboles medianos de 8 a 20 m de altura; y bosque caudoscifolio espinoso, con abundancia del género prosopis, con alturas de 4 a 13 m. En términos generales, la flora silvestre de la región es escasa, pues predomina en ella el terreno desértico, con pocas llanuras. Las plantas que más abundan en la región son las siguientes:

Encino, nopal, uña de gato, helecho, pitahaya, joconoxtle, estafiate, bisnaga, garambullo, huisache, cacahuate, mezquite, palma palo dulce, maguey, pirul, tronadora, zapote blanco, fresno, ahuehuete, pepahuaje, entre otros.

La *fauna* del lugar de estudio, está integrada por los siguientes tipos:

Mamíferos como: zorrillo, tiacuache, conejo, tejón, ardilla, coyote, venado, liebre, gato montés, onza, armadillo, león americano y zorra.

Aves como: calandria, chachalaca, faisán, colibrí, huijota, torcaza, paloma, carpintero, cuervo, zenzontle, saltapared, urraca, codorniz, cuervo, búho, gavilán, zopilote, tordo y aura. *Reptiles* como: víbora de cascabel, alicante, escorpión, salamanguesa, coralillo, culebra.

Batracios como: rana y sapo.

Insectos como: cucaracha, abeja, campamocha, jicote, araña, chapulín, garrapata, zancudo, alacrán, mosco, hormiga, gorgojo y especies menores.

Peces: mojarra, lisa y bagre, entre otras.

1.2.2.6 DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE.

La sierra de *Guanajuato*, también llamada de San Gregorio, ocupa la mayor parte del territorio municipal. Las principales elevaciones son los cerros de Santa Rosa, Chichindaro, Sirena, Bufa Peñón Norte; otros cerros son La Giganta, El Gigante, Los llanitos y Vaquería, por el rumbo Noroeste de la ciudad. La altura media de estas elevaciones se calcula en 2,400 metros sobre el nivel del mar.

1.3 ASPECTO SOCIAL

1.3.1 POBLACIÓN

La población considerada para el diseño de ésta obra, es la correspondiente al municipio de *Guanajuato*, pues se pretende que beneficie a los habitantes de las localidades que pertenecen a todo el municipio.

La población del municipio según el censo de 1990, fue de 119,170 hab., y de acuerdo a proyecciones realizadas mediante tres métodos; se estimó para 1997 una población de 144,086 hab.; proyectándose además para 15 años después, es decir para el año 2012, obteniéndose una población de 197,477 hab., aproximadamente.

Respecto a la localidad de *Guanajuato*, según datos proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Social, y tomando como referencia el censo de 1990, el cual arrojó una población de 73,108 hab.; se estimó para 1997, una población de 90,946 hab., con una tasa de crecimiento del 2,75%, y para el año 2009 una población de 119,290 hab aproximadamente.

1.3.1.1 EDUCACIÓN, CULTURA, RECREACIÓN Y DEPORTE.

En materia educativa, la infraestructura existente en el municipio de *Guanajuato* presta el servicio de educación en los niveles de preprimaria, primaria, secundaria, preparatoria, licenciatura, maestría y doctorado. En este nivel superior se cuenta con la Universidad de Guanajuato, que tiene una antigüedad de 255 años, la cual imparte enseñanzas desde el nivel medio básico hasta el doctorado, comprendiendo 16 escuelas y facultades de enseñanza profesional, asentadas en la ciudad.

En resumen, las escuelas y centros de alta cultura están distribuidos en la siguiente forma: 2 preprimarias estatales, 22 primarias estatales, 60 primarias federales, 3 secundarias estatales, 6 secundarias particulares, una telesecundaria, 18 licenciaturas, 2 secundarias técnicas, tres preparatorias, 1 escuela normal del Estado, 1 preescolar, 1 preparatoria particular incorporada y un centro de capacitación para el trabajo, además de la Universidad.

Respecto a la cultura, se realiza una intensa labor promocional, por distintas instituciones culturales y educativas, como la Secretaría de Educación, Cultura y Recreación del Gobierno del Estado; la Universidad de Guanajuato, a través de su departamento de Difusión Cultural; Instituto Nacional de Antropología e Historia; el Sistema Estatal para el Desarrollo Integral de la Familia; el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, por medio de su programa ISSSTE cultura. Además existen diversos museos, como los de Biología, de Mineralogía, del Pueblo, Diego Rivera, de la Alhóndiga, e Iconográfico del Quijote y el Alfredo Dugés. Se tienen también 12 bibliotecas y 14 auditorios.

En cuanto a deporte y recreación, se cuenta con diversos sitios para la práctica de los deportes más populares de la región, como lo son el béisbol, fútbol, volibol, baloncesto y caminata. Existen varias salas de cine e importantes teatros, como el Juárez y el Cervantes.

1.3.1.2 SALUD.

Para cubrir la atención a la salud existen instituciones como el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Secretaría de Salud y Asistencia Pública (SSA) y el Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF). Es decir cuenta con: un centro de salud "A", un hospital general, una clínica del ISSSTE, una clínica "A" del IMSS, una delegación de la Cruz Roja. Además hay en la localidad de Marfil un centro de salud tipo "C".

Además se cuenta con varios sanatorios, clínicas y consultorios particulares.

1.3.1.3 VIVIENDA.

Según el censo de 1990, en el municipio de *Guanajuato*, existían 22,432 viviendas, y en la localidad 14,693; las cuales cuentan con los servicios de agua, drenaje y electricidad. El material predominante en las construcciones es el tabicón o block en el área urbana, mientras que en la rural es el adobe.

1.3.1.4 VÍAS DE COMUNICACIÓN TERRESTRE.

En el municipio de *Guanajuato* cuenta con la siguiente red de vialidad terrestre de acuerdo a la superficie de rodamiento y a la clase:

Carretera principal pavimentada 53.7 km.; secundaria pavimentada 53.5 Km.; secundaria revestida 32.7 km.; camino vecinal o rural 28.3 km. Tiene un ramal de ferrocarril Irapuato-Aguascalientes que lo comunica con la ciudad de Jalisco.

El municipio tiene además servicios de teléfono, telex, telégrafo, correo, radiodifusoras y aeropistas. La ciudad cuenta con una central de autotransportes, transporte urbano, suburbano y foráneo, y servicio de autos de alquiler.

1.3.1.5 SERVICIOS PÚBLICOS

El municipio ofrece a sus habitantes los servicios de agua, drenaje, alcantarillado, energía eléctrica, alumbrado público, seguridad pública, limpia y recolección de basura, mercados, panteones, rastros, pavimentos, parques y jardines, tránsito y vialidad.

Agua Potable: De acuerdo al censo de 1992, en el municipio de *Guanajuato* existen 17 localidades con de agua potable, y el 83.1% de las viviendas, cuentan con dicho servicio.

Drenaje: Sólo tres localidades tienen servicio de drenaje o alcantarillado, y el 67.5% de las viviendas cuentan con éste.

Energía eléctrica: Son beneficiadas 70 localidades con tal servicio, y 89 % de las viviendas cuentan con él.

Telégrafo y Correo: En el municipio de *Guanajuato* se cuenta con dos oficinas de telégrafo y 18 oficinas de correos.

1.4 ASPECTO ECONÓMICO

1.4.1 POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA.

De acuerdo con el último censo realizado en 1990, la población económicamente activa ascendía al 34 % de la población total, localizándose el 6% en la cabecera municipal. La distribución por sectores era del **11%** en el sector **primario**, **22%** en el **secundario** y **23%** en el **terciario**.

Es decir, la población económicamente activa fue de 34,170 hab, de los cuales 24,960 fueron hombres y 9,210 mujeres, en edades de 12 a más de 65 años; esto va en relación de 3.48 hab por cada habitante que realiza alguna actividad productiva; predominando las actividades turísticas, comerciales, agrícolas y los servicios de gobierno.

1.4.1.1 ACTIVIDADES ECONÓMICAS.

Agricultura: Dado que la mayor parte del municipio está cubierta de cerros y lomeríos, no hay grandes extensiones de tierra de cultivo, y la poca que hay, es de temporal y de escasa calidad. A pesar de ello, se tienen los siguientes cultivos:

Cultivos Cíclicos: maíz, frijol, trigo y en menor escala sorgo.

Cultivos Perennes: cebolla y en menor escala, alfalfa, espárragos, cacahuete y frutales.

Ganadería: Se crían en pequeña escala ganado bovino, caprino, ovino, porcino, y equino; debido a que no existen pastizales y hay escasez de agua. Además aves y abejas.

Minería: Es la actividad económica que dio origen a la ciudad de Guanajuato. Actualmente el municipio se encuentra en primer lugar de productividad de oro y en el cuarto en plata; también se extrae plomo y caolín. Las principales empresas dedicadas a la minería son las cooperativas: Las Torres, Santa Fe de Guanajuato y El Cubo.

Haciendo un resumen de los principales minerales que se explotaron en 1992, se tienen las siguientes cifras: oro 2.6541 ton; plata 133.9 ton; cobre 126.0 ton.; plomo 47.7 ton. y zinc 38.7 ton.

Turismo: El municipio es importante en este aspecto, por su rico patrimonio cultural e histórico, que comprende ininidad de monumentos, construcciones, museos, plazuelas, templos, etc., ubicados en su mayoría en la ciudad de *Guanajuato* y que datan de la época colonial; por ello el turismo tiene una gran importancia para la economía del municipio. Se cuenta con una infraestructura de primer orden, compuestos de numerosos hoteles, discotecas, restaurantes y centros nocturnos.

Entre los principales monumentos de interés turístico, existen los arquitectónicos como: el templo de los hospitales, tiene como anexos el curato, el bautisterio y la capilla Faustina; la Casa de Moneda, el templo de San Diego; el templo de la Parroquia; el templo de San Juan de Rayas; el Templo de Cata; el edificio central de la Universidad de *Guanajuato*; templo de La Compañía; el templo de la Valenciana; el templo de San Sebastián; la casa de Alemán; la Alhóndiga de Granaditas; el Teatro Principal; y el teatro Juárez. Monumentos a Hidalgo, a Sostenes Rocha, a El Pipila, a La Paz, a Benito Juárez García, a Miguel de Cervantes Saavedra, a Don Quijote y Sancho Panza, al minero y José Aguilar.

Además dentro del edificio central de la Universidad de Guanajuato se encuentran los monumentos a Don Alfredo Dugés, a Ponciano Aguilar, a Don Agustín Lanuza, a Nicéforo Guerrero, a Armando Olivares Carrillo y Doña Josefa de Busto y Moya.

Comercio: La población rural concurre periódicamente a la ciudad para el abasto; así como la considerable población flotante generada por el turismo. Existen en el municipio varios mercados, tianguis, tiendas de autoservicio y demás establecimientos comerciales, para satisfacer la demanda de los consumidores de la ciudad y del medio rural del municipio.

Es decir, de acuerdo al censo efectuado en 1993; el municipio de Guanajuato cuenta con:

25 tiendas CONASUPO, 1 tianguis, 2 mercados públicos y un rastro mecanizado.

1.5 IMPLICACIONES PARA EL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES.

Como se menciona en la parte introductoria del presente documento, dentro de las diferentes fases del proceso de manejo de residuos sólidos municipales, la fase de la disposición final de los mismos constituye una fuente importante de contaminación de los diferentes elementos del ambiente (aire, agua y suelo), dado que para el caso del municipio de Guanajuato, se carece de la infraestructura requerida para evitar el deterioro del ambiente. Los mecanismos de contaminación son bien conocidos y el grado de afectación depende de las características naturales del sitio, las prácticas de operación del mismo.

En este sentido, se puede identificar las siguientes implicaciones para el ambiente:

- Deterioro de la calidad del suelo y de los acuíferos provocado por migración de lixiviados generados en los procesos de estabilización e infiltración de humedad.
- Afectación a la vegetación y riesgos de explosión debido a la presencia y/o migración de biogas producido por la degradación de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos dispuestos
- Deterioro de la calidad del aire debido a la emisión de biogas, compuestos orgánicos volátiles y partículas.
- Desarrollo de fauna nociva que altera los ecosistemas naturales y pone en riesgo la salud pública.
- Bioacumulación de elementos tóxicos dentro de los sistemas naturales (flora y fauna)

1.6 LEGISLACIÓN LOCAL.

1.6.1 LEY DE ECOLOGÍA PARA EL ESTADO DE GUANAJUATO

Básicamente la Ley de Ecología del Estado de Guanajuato establece la responsabilidad de los gobiernos de los municipios para que regulen el manejo y la dispo-

sición final de los residuos sólidos municipales, así como la restauración del equilibrio ecológico y la protección del ambiente en los centros de población, con relación a los efectos derivados de los servicios de alcantarillado, limpia, mercados y centrales de abasto, panteones, etc. Asimismo, otorga la responsabilidad a los municipios para evaluar el impacto ambiental de las instalaciones para el manejo de residuos sólidos no peligrosos.

Un punto importante en esta Ley es la autorización para que los municipios formulen las disposiciones que regulen el manejo y la disposición final de los residuos sólidos, que no sean peligrosos, acatando por supuesto las leyes y normas existentes en la materia. Así como para ejercer el control sobre las instalaciones y la operación de los mismos sitios, quedando claro que tal actividad será a través del sistema de relleno sanitario.

Finalmente, se otorga la facultad de dar los permisos correspondientes para el funcionamiento de sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos, a particulares, siempre y cuando se acate las disposiciones legales vigentes. A continuación se transcriben los artículos de mayor relevancia relacionados con el manejo de los residuos sólidos.

ARTÍCULO	AUTORIDAD COMPETENTE	PARTICIPANTES	LEGISLACIÓN COMPLEMENTARIA
<p>Artículo 6.- Corresponde a los Gobiernos de los Municipios de la Entidad, dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales.</p>	<p>• H AYUNTAMIENTO</p>		<p>• LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE</p>
<p>XXX - Regular el manejo y disposición final de los residuos sólidos que no sean peligrosos, según se definen en la Ley General.</p>	<p>• H AYUNTAMIENTO</p>	<p>• LA POBLACIÓN EN GENERAL</p>	<p>• REGLAMENTOS LOCALES</p>
<p>XXXI.- La preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección ambiental en los centros de población en relación con los efectos derivados de los servicios de alcantarillado, limpia, mercados y centrales de abasto, panteones, rastros, tránsito y transporte locales.</p>	<p>• H AYUNTAMIENTO</p>		<p>• LEYES ORGÁNICAS</p> <p>• REGLAMENTO EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL</p>
<p>Artículo 23.- Corresponderá a la Secretaría y a los Gobiernos Municipales respectivos, valor el impacto ambiental a que se refiere el artículo 24, particularmente tratándose de las siguientes materias:</p> <p>VI - instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de aguas residuales y de residuos sólidos no peligrosos.</p>	<p>• H AYUNTAMIENTO</p>		<p>• LEYES ORGÁNICAS</p> <p>• REGLAMENTO EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL</p>
<p>Artículo 24.- Corresponde a los Municipios la regulación del manejo y disposición final de los residuos sólidos que no sean peligrosos conforme a la Ley General, para lo cual podrán:</p> <p>a) - Formular las disposiciones que regulen, en el ámbito local las actividades de recolección,</p>	<p>• H AYUNTAMIENTO</p>		<p>• LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE</p> <p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>

Proyecto Ejecutivo de Relleno Sanitario en Guanajuato, Gto.

<p>tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos, observando lo que dispongan la Ley General, esta Ley, sus Reglamentos y las Normas Técnicas Ecológicas correspondientes.</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.</p> <p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>
<p>b) - Autorizar el establecimiento de los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE</p> <p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>
<p>c) - Ejercer el control sobre las instalaciones y la operación de los confinamientos o depósitos de dichos residuos</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE</p> <p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>
<p>d) - Ejercer el control y emitir las autorizaciones correspondientes respecto del funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE</p> <p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>
<p>Artículo 86.- Las atribuciones de los Municipios en los materia objeto del presente capítulo pueden ser ejercidas entre otros, a través de los siguientes instrumentos</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• REGLAMENTOS LOCALES</p>
<p>h) - La operación de los sistemas de limpieza y de disposición final de residuos municipales, en rellenos sanitarios, y</p> <p>c) - El otorgamiento de autorizaciones para la instalación y operación de confinamientos o depósitos de residuos.</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE</p> <p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>
<p>Artículo 87.- Los residuos sólidos que se acumulen o que puedan acumularse y se depositen o arrojar en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar</p> <p>a) Contaminación del suelo,</p> <p>b) Alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos</p> <p>c) Alteraciones en el suelo que afecten su aprovechamiento, uso o explotación, y</p> <p>d) Riesgos y problemas de Salud.</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>
<p>Artículo 88.- Será necesario permiso de la autoridad municipal respectiva para el funcionamiento de sistemas de recolección, almacenamiento transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos. El permiso podrá otorgarse cuando en la operación de tales sistemas o la realización de dichas actividades, se de cumplimiento a lo que establezcan los Reglamentos y Normas Técnicas Ecológicas correspondientes.</p>	<p>• H. AYUNTAMIENTO</p>	<p>• REGLAMENTOS LOCALES</p> <p>• NORMAS TÉCNICAS ECOLÓGICAS</p>

1.6.2 REGLAMENTO DE ASEO PÚBLICO DEL MUNICIPIO DE GUANAJUATO

El Municipio de Guanajuato, cuenta con un Reglamento de Servicio de Limpia y de recolección de basura, el cual fue promulgado el 12 de noviembre de 1991.

En términos generales se puede decir que contempla disposiciones mínimas necesarias para regular los diferentes aspectos de la prestación del servicio de limpia, tal como el almacenamiento, barrido, recolección y disposición final de residuos, delimitando la participación de la población y el organismo encargado del mismo servicio.

Asimismo, se establece muy claramente la responsabilidad de las autoridades y su nivel de competencia en la prestación del servicio, especificando el tipo de residuos del cual será responsable y estableciendo lineamientos para aquellos residuos cuyas características representen dificultades en su manejo y/o riesgos para la población.

Para el caso de comercios e industrias que generan grandes cantidades de residuos sólidos se establece la obligación de hacerse cargo de la recolección y transporte de sus residuos sólidos y en el caso de que la autoridad preste este servicio se establece el cobro correspondiente, de acuerdo con la cantidad de residuos sólidos por manejar.

En materia de disposición final, se contempla la obligación ubicar el sitio conforme a un mínimo de requisitos basados en distancia de los núcleos de población, estudios de mecánica de suelos, dirección de vientos, crecimiento de la población y planes de desarrollo, quedando sujeta a leyes estatales y federales aplicables a este rubro. Asimismo, se establece que la disposición final de los residuos sólidos municipales deberá ser a través del relleno sanitario y sujetarse conforme a las disposiciones de las áreas de ecología y de salud.

Por otra parte, el reglamento impone sanciones muy específicas para aquellos personas que incumplan las disposiciones establecidas por este instrumento e incluso se establecen sanciones para los mismos miembros del servicio de limpia.

Finalmente, se puede decir que en términos generales este reglamento reúne puntos básicos para regular las diferentes etapas del servicio de limpia, excepto que es necesario que se actualice de acuerdo con las nuevas tendencias en el manejo de los residuos sólidos y demás normatividad en materia de medio ambiente.

CAPÍTULO 2

ESTUDIOS PREVIOS

2.1 UBICACION DEL SITIO.

El **sitio de proyecto** se localiza aproximadamente a 30 km al SE de la ciudad de Guanajuato, las coordenadas que lo identifican son $20^{\circ} 55' 00''$ y $101^{\circ} 05' 00''$. Las poblaciones que lo rodean son: Santa Fé de Guadalupe, Campuzano, El Rincón, San Juan del Estañón, El Apartado, La Milpitas, La Soledad, La Cantera, San Cristobal y el Chorro, son poblaciones de baja densidad de habitantes salvo la primera que es un poco mayor. Dadas las características fisiográficas del área dichos asentamientos humanos se encuentran en zonas de topografía mayormente abrupta, lo que da lugar a accesos por medio de caminos de terracería, el mismo sitio presenta una topografía similar, implicando que el tiro se desarrolle en una especie de olla a más bajo nivel que la carretera Federal N° 45.

2.2 ACCESOS.

La comunicación al lugar sería por la carretera Federal N° 45, es un medio de comunicación pavimentado que une a Guanajuato con Juventino Rosas y Dolores Hidalgo, dadas las características topográficas regionales, dicha carretera atraviesa un sistema de lomeríos, por lo que se le podría tipificar como sinuosa. Cabe señalar que es el **único medio de comunicación**, por lo que para diseñar el sistema operativo de transporte habrá que considerar un buen entronque para dar acceso al confinamiento.

2.3 FISIOGRAFIA.

La región que nos ocupa se localiza dentro de las dos provincias fisiográficas, la primera ocupa la porción sur y corresponde a la Faja Volcánica Transmexicana, la segunda abarca la porción norte y pertenece a la Faja Ignibritica Mexicana. La configuración local es de tipo lomas redondeadas, flanqueadas por sierras de topografía abrupta (sierra de Guanajuato al oriente y el Refugio al poniente) que alcanzan elevaciones hasta de **2,300 m sobre el nivel del mar** ambas sierras tienden a confluir en la porción norte debido a que la sierra principal (Guanajuato) guarda una dirección NW-SE. El área de estudio presenta una **elevación de 2100 m** sobre el nivel del mar, se trata de una pequeña depresión intermontana. La

región se encuentra considerada dentro de las de baja sismicidad, aún cuando la sierra Madre Occidental (Sierra de Guanajuato), presenta un cuadro tectónico activo.

2.4 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN.

Para la proyección de la población, se partió de la información de los censos generales de población y vivienda, correspondientes al año de 1990, publicados por el INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA, DE LA SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO Y DEL PLAN DIRECTOR DE DESARROLLO URBANO DE LA CIUDAD DE GUANAJUATO, GTO; publicado por la SEDESOL y el Gobierno del Estado de Guanajuato, y posteriormente, se aplicaron diversos métodos de proyección (Interés Compuesto, Geométrico y Aritmético).

En la **Tabla 2.1**, se presenta una descripción general de los principales métodos de proyección de la población.

Ahora bien, de acuerdo al censo realizado por el INEGI, en **1990**; la población en el municipio de Guanajuato fué de **119,170 hab.**; dato que se tomó como base para realizar las proyecciones de población; resultando que para el año **2012**, se tendrá una población de aproximadamente **229,525 hab.**, considerando que la Tasa de Crecimiento utilizada en dicha estimación fué de aproximadamente el **3.054%**.

En la **Tabla 2.2**, se muestran los valores de población obtenidos por los tres métodos, los cuales se representan en la **FIGURA 2.1 y 2.2**.

Cabe decir que, según INEGI, las tasas de crecimiento en el estado de *Guanajuato*, han venido aumentando año con año de **1.8 %** a **3.054 %**. De los métodos utilizados se puede observar, que la población estimada por el método aritmético es el más bajo, esto es, aproximadamente el **24%** respecto al obtenido con el método geométrico que fué de **260,107 hab.**

Además el método de interés compuesto arroja una población de **230,990**; o sea el **11%** respecto a la mayor; y obteniendo un promedio de porcentajes, se tiene que la diferencia entre las poblaciones estimadas, es de aproximadamente del **17%**.

Se tiene en términos globales que, el Estado de *Guanajuato*, presenta en la tasa de crecimiento anual un incremento a partir de **1980**, habiendo alcanzado un máximo de **2.7%** en el periodo de **1970 -1980**.

TABLA 2.1
MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DE LA PROYECCIÓN
DE LA POBLACIÓN DE GUANAJUATO. GTO.

MÉTODO	FORMULACIÓN
INTERÉS COMPUESTO	$P = P_0(1+i)^t$
GEOMÉTRICO	$P_f = P_a[1 + T_c]^n$
ARITMÉTICO	$P_f = P_a + (P_a - P_o)(T_m - T_a) / (T_a - T_o)$

SIMBOLOGÍA	
Pf =	Población futura.
Pa =	Población actual o del ultimo censo
Po =	Población del primer censo
Tm =	Año correspondiente a la población futura.
To =	Año correspondiente a la población inicial
Tc =	Tasa de Crecimiento
n =	Número de años del intervalo entre censos (10 años)
i =	Tasa de Interés

TABLA 2.2
PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE GUANAJUATO, GTO.
A TRAVÉS DE DIFERENTES MÉTODOS.

AÑO	INT.COMP	GEOMÉTRICO	ARITMÉTICO	PROMEDIO
1990	119170	119170	119170	119170
1991	122809	123474	122729	123004
1992	126560	127934	126289	126928
1993	130425	132554	129848	130942
1994	134408	137342	133408	135023
1995	138513	142302	136967	139261
1996	142743	147441	140526	143570
1997	147103	152787	144088	147045
1998	151595	158284	147045	152508
1999	156225	164001	151205	157144
2000	160996	169924	154764	161895
2001	165913	176061	158323	166766
2002	170980	182420	161883	171761
2003	176202	189008	165442	176884
2004	181593	195835	169002	182140
2005	187128	202908	172561	187532
2006	192843	210236	176114	193084
2007	198733	217829	179680	198747
2008	204802	225690	183239	204579
2009	211057	233848	186799	210554
2010	217502	242294	190358	216718
2011	224145	251045	193917	223036
2012	230990	260108	197477	229529
2013	238045	269578	201036	236196
2014	245315	279239	204596	243050
2015	252807	289325	208155	250096

FIGURA 2.1
PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN
(DIFERENTES MÉTODOS)

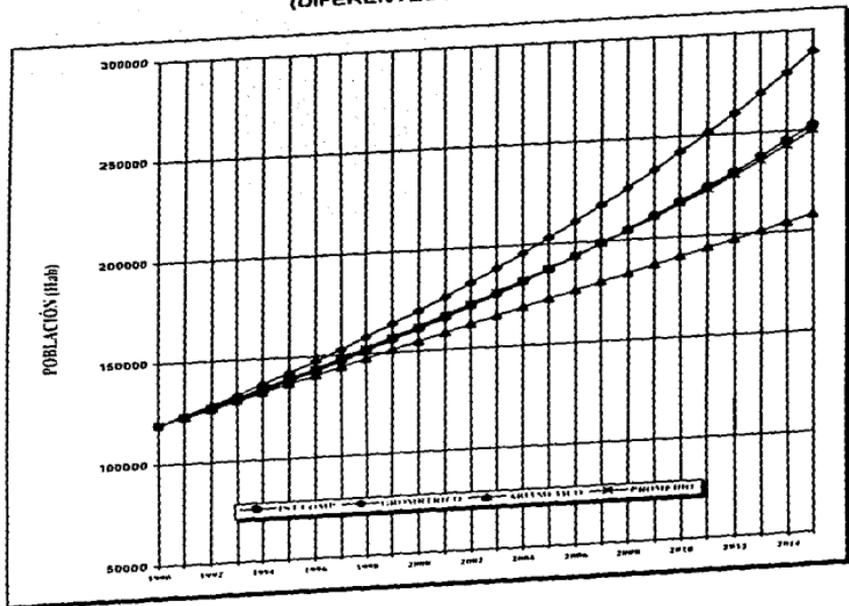
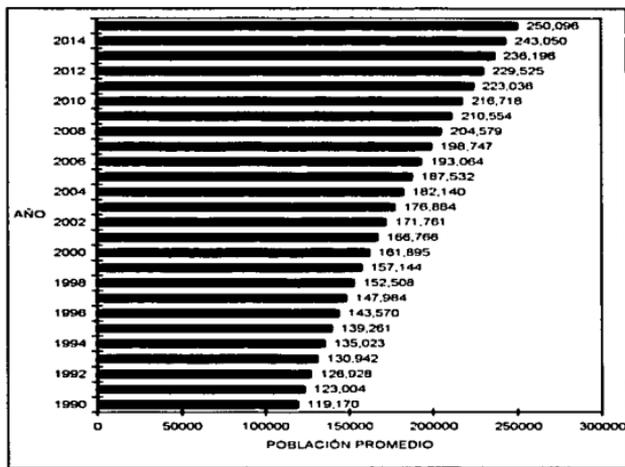


FIGURA 2.2
POBLACIÓN PROMEDIO.



En la **Tabla 2.3** se presenta la tasa de crecimiento que se ha tenido en el municipio de **Guanajuato**, y se puede apreciar que en el periodo de **1980 a 1990**, fue del **3.7%**.

**TABLA 2.3
TASA DE CRECIMIENTO DE POBLACIÓN
DE GUANAJUATO, GTO.**

CENSO	POBLACIÓN	TASA DE CRECIMIENTO (%)
1950	46,037	0
1960	55,107	1.8
1970	65,324	1.8
1980	83,576	2.4
1990	119,1705	3.7

Considerando el nuevo panorama económico de nuestro país, en lo que respecta al Tratado de Libre Comercio y a la localización estratégica del sitio en estudio, se consideró pertinente, utilizar el valor promedio de los métodos de proyección utilizados, los cuales consideran las mismas tendencias de crecimiento del último periodo analizado, debido a que existe un potencial de crecimiento para los poblados de la zona Centro de nuestro país.

Aplicando los métodos mencionados anteriormente, se determinó la proyección de la población del municipio de *Guanajuato* de 1997 al año 2015, tomando el promedio de las proyecciones realizadas a partir del año 1997. Ver **Tabla 2.2** y **FIGURA 2.2**

2.5 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Previo a los trabajos topográficos, se realizó un recorrido del predio a levantar, en el cual se definió el sitio propuesto, detalles relevantes a detectar y un panorama general de lo que se requiere conocer del terreno.

Después se procedió a trazar una poligonal de apoyo sobre el lindero, buscando mantener las dimensiones que se propusieron para dar el área de proyecto que es de 21 Has ; la poligonal de apoyo se cerró para comprobarla lineal y angularmente, respetando las siguientes fórmulas.

- **TOLERANCIA ANGULAR**

$T=20'' \sqrt{n}$; donde n = Número de vértices del polígono.

• **TOLERANCIA LINEAL**

1: 3000 mínimo.

Para el logro de las precisiones antes citadas se utilizó un tránsito de 20 segundos de aproximación y un nivel fijo de ± 2 min., por kilómetro nivelado.

Posterior al cierre y comprobación del polígono de apoyo, se procedió a calcular la posición de las mojoneras de deslinde y se colocaron en el sitio. Estas señales (mojoneras) son de concreto simple (colado en el sitio), y alojan en el centro una varilla de 3/8" de diámetro y 50 cms. de longitud. La forma del monumento es cilíndrica con 20 cms. de diámetro y 80 de longitud, enterrándose 60 cms., aproximadamente.

A continuación, se realizó el levantamiento altimétrico del predio.

La nivelación diferencial se realizó cerrando circuito para su debida comprobación y respetando la fórmula de tolerancia siguiente:

$T.N = 0.015 \sqrt{D(\text{en km})}$; donde D = longitud nivelada.

Con los elementos de campo obtenidos, se procedió a revisar el cálculo realizado en campo para la ubicación de las mojoneras, y con esto calcular bajo el mismo sistema coordenado las radiaciones de configuración del terreno y así representarlo en los planos realizados.

Además con los datos obtenidos del levantamiento altimétrico se procedió a calcular y después dibujar el **plano** de la configuración topográfica o de **levantamiento topográfico** donde se presenta: la poligonal, los ejes de referencia en el predio y las curvas de niveles. Ver **plano LT**, en el anexo B.

2.6 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOFÍSICO

2.6.1 TRABAJOS REALIZADOS

Estos estudios se realizaron con el objeto de conocer las características estratigráficas que guarda el subsuelo, en el predio destinado para la disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio de *Guanajuato*.

Para el reconocimiento de las características físicas de la estructura del subsuelo, se planteó la ejecución de un **estudio geofísico** y para las propiedades mecánicas se elaboró un **estudio geotécnico**.

El **estudio geofísico** se realizó a través de la metodología geoelectrónica resistiva de **barrido**, de alta densidad de medidas BF-63. La prospección se llevó a cabo por medio de 6 dispositivos con una longitud de 100 m cada uno, los cuales se integraron a dos perfiles, mismos que se ubicaron estratégicamente para obtener una amplia información, ver **plano N° 1**, en el anexo B.

El método geofísico eléctrico de resistividad, se basa en la determinación de ciertos parámetros que el subsuelo presenta cuando es excitado artificialmente, estos parámetros son la **conductividad** y la resistencia específica o **resistividad**. El fenómeno es producido cuando es aplicada una corriente eléctrica al subsuelo a través de pulsos de baja frecuencia emanados de un cuerpo emisor que envía la corriente eléctrica por medio de dos electrodos hincados en el subsuelo. Entre ellos fluye una corriente eléctrica que es medida utilizando un **resistímetro digital**. Esas emanaciones de corriente viajan a lo largo de un número infinito de flujo, que provocan a su vez una diferencia de potencial en un área curva llamada superficie equipotencial. A partir de **ley de Ohm's**, es posible definir los parámetros de resistividad que guarda el subsuelo, correlacionando estos datos con la geología del lugar hasta llegar finalmente a las secciones de tipo **geoelectrónico** (perfil estratigráfico), en donde podemos conocer la **estratigrafía** predominante que se presenta en el subsuelo del sitio estudiado.

Para los estudios de **mecánica de suelos** se realizó una exploración de tipo directo, a través de 3 **pozos a cielo abierto** (P.C.A.). De cada uno de los pozos se obtuvieron los especímenes necesarios para someterlos a los ensayos de laboratorio, y así obtener las propiedades índice, como se pueden ver en las tablas de resultados que se presentan en el anexo A.

2.6.2 RESULTADOS GEOFÍSICOS.

Determinaciones resistivas; con las determinaciones de resistividad (r), en ohmios/metro (W), obtenidas a las diferentes profundidades previamente programadas y con el apoyo de la correlación geológica superficial, se dedujeron los contactos litoelectrónicos que delimitan a los diferentes horizontes o estratos que constituyen la estructura del subsuelo estudiado. Dichos **horizontes** para su descripción se le clasificó de acuerdo al rango de valores resistivos, como **A, B, C, D y E**. También se llevó a cabo la interpretación basada en el análisis de los espectros isoresistivos, considerando la transmisibilidad de la corriente eléctrica en forma horizontal y vertical, siguiendo la secuencia se analizaron las anomalías eléctricas resistivas en sus diferentes caracterizaciones, las de alta conductividad y

las de baja conductividad, mismas que se correlacionaron con fenómenos naturales tales como: fallas, fracturas, fisuras y cambios litológicos importantes e inestabilidades.

HORIZONTE A. Con valores resistivos de $r = 20 - 30 \text{ W/m}$, se delimita a un **primer horizonte** de espesor variable, que va de **0.20 a 1.30 m**, ver perfiles de resultados en el **plano N° 2** en el anexo B, se trata de **suelos arcillosos y suelos orgánicos, de consistencia blanda a firme, con parámetros cualitativos de permeabilidad alta.**

HORIZONTE B. Con valores de resistividad de $r = 40 \text{ W/m}$, se delimita a un **segundo horizonte**, cuyo contacto litoeléctrico inferior va de **7.50 a 25 m**, como se puede ver en los perfiles de resultados del **plano N° 2**. Se le correlaciona con **tobas arenosas, de consistencia dura con parámetros cualitativos de permeabilidad media a baja**. Tal horizonte solo abarca una parte proporcional del área estudiada hasta formar **transición con tobas arcillosas**, la cobertura más delgada se da hacia el NE, la cobertura más amplia se da hacia el SW. En este estrato u horizonte se presentan **interdigitaciones de gravas, lo que da lugar a que los parámetros de permeabilidad sean medios.**

HORIZONTE C. Con valores resistivos de $r = 50 - 60 \text{ W/m}$, se delimita a un **tercer horizonte** litoeléctrico cuyo contacto inferior se establece alrededor de los **10 a 45 m**, como se puede ver en el perfil de resultados del **plano N° 2**, se le correlaciona con **tobas arcillosas, con alternancias de gravas y fragmentos. Su consistencia es muy dura y presenta parámetros cualitativos de permeabilidad baja en general.** El espesor más delgado se presenta en la porción norte. Dentro del mismo horizonte se detectaron valores resistivos más bajos que los del medio, debido a la **influencia de humedad provocadas por la circulación de agua que proviene de las recargas, tales circulaciones se drenan a través de las fracturaciones que se presentan en estos bloques tobáceos y se muestran las más representativas en los perfiles de resultados.**

HORIZONTE D. Con valores de resistividad de $r = 70 - 80 \text{ W/m}$, se delimita a un **cuarto horizonte**, en donde el contacto litoeléctrico inferior se establece alrededor de los **35 a 85 m**, ver **plano N° 2**, se le correlaciona con una **secuencia de derrames de rocas ígneas extrusivas, medianamente fracturadas.** Conforme a las determinaciones resistivas se deduce que los parámetros cualitativos de **permeabilidad son de medios a altos, es decir se trata de una permeabilidad secundaria que es consecuencia a la fracturación citada.**

HORIZONTE E. Finalmente con valores resistivos de $r \geq 100 \text{ W/m}$, se delimita a un **quinto horizonte** litoeléctrico, al cual se le correlaciona con una **subsecuencia de derrames ígneos extrusivos, se trata de rocas riolíticas prácticamente**

masivas, conformadas en estructuras con fracturaciones reducidas, por esta razón los parámetros cualitativos de **permeabilidad tienden a ser bajos, con circulaciones de agua que se drenan por dicha fracturación**, misma que se puede ver en los perfiles de resultados y se reflejan en los valores resistivos que tienden a ser menores que los del medio, como se puede ver en los espectros isorresistivos.

2.6.3 RESULTADOS GEOTECNICOS.

La exploración realizada por medio de **3 pozos a cielo abierto (P.C.A.)**, mostró que el área presenta una estratigrafía superficial, constituida por dos tipos de suelos que son representativos de la zona; en la porción superior el **P.C.A. 1**, aportó la siguiente estratigrafía: con un espesor de **0.30 m**, existe una **capa de suelos arcillosos y orgánicos**, tal suelo se encontró en el **P.C.A. 2**, en donde el espesor aumentó a **0.35 m**, y se volvió a encontrar en el **P.C.A. 3**, en donde dicho espesor disminuyó (**0.20 m**). Subyaciendo al estrato descrito en el **P.C.A. 1** se encontró hasta la profundidad explorada (**1.80 m**) un **material areno-arcilloso**, color gris claro, de consistencia dura. En los **P.C.A. 2 y 3**, se encontró una **pequeña capa de gravas y fragmentos**, medianamente empacados en suelos finos, subyaciendo a los últimos materiales descritos y hasta la profundidad investigada (**1.70 m**), se encontró un tercer estrato constituido por **tobas arcillosas**, de color café amarillento, de consistencia dura, estos suelos no se detectaron en el **P.C.A. 1**, por lo que se designó la clasificación de materiales en dos tipos.

De los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se determinaron los siguientes valores: en el **P.C.A. 1** el contenido de agua natural (**W%**) fue de **16**; en el **P.C.A. 2** fue de **13**, en el **P.C.A. 3** fue de **21**. El **límite líquido** osciló de **27 al 32 %**, el **límite plástico** fue del **22.5 al 23.6%**, el **índice plástico** fue del **4.2 al 8.4 %**. La **granulometría** mostró valores de **gravas de 20 al 41 %**, **suelos 25 a 27 % y finos del 31 al 36 %**, como se puede ver en las tablas de resultados del anexo A.

Los valores aportados, en cuanto a las **pruebas de compresión simple** fueron los siguientes: **peso volumétricos** $> 1500 \text{ ton/m}^3$, al esfuerzo cortante **qu** $> 20 \text{ ton/m}^2$, los ensayos a la **compresión triaxial rápida** fue de **30 a 40 de ángulo de fricción** y de **1.140 ton/m²** al **esfuerzo cortante**, como se puede ver en las tablas de resultados del anexo A.

2.6.4 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE GEOFISICA.

Los resultados del estudio geofísico aportaron una información que define, que la **estructura del subsuelo estudiado se encuentra constituido por cinco horizontes litoelectrónicos**, ordenados o depositados a partir de la superficie de la manera

siguiente: el **primer horizonte** de cobertura raquitica corresponde a suelos arcillosos, orgánicos, en donde en algunos lugares ya descritos se encuentran gravas o depósitos de diamante; el **segundo horizonte litoeléctrico** corresponde a materiales tobáceo arenosos que ocupan una porción importante del área, tales suelos son de consistencia dura; en la parte norte (**tercer horizonte**) se encontraron materiales tobáceo arcillosos, mismos que se sumergen bajo los arenosos, tales suelos presentan parámetros cualitativos de permeabilidad de media a baja; subyaciendo a lo anterior se deduce una secuencia de derrames de rocas ígneas extrusivas (**cuarto horizonte**), muy fracturadas en transición con el tercer horizonte, presentan una permeabilidad de tipo secundaria; finalmente se detecta a un **quinto horizonte** constituido por una serie de derrames ígneos extrusivos, lo más representativo son las rocas ácidas, los parámetros de permeabilidad tienden a ser bajos en general. La tectónica del área muestran una estructura medianamente fracturada, en donde dichas fracturas no presentan limitantes para el proyecto que se tiene en puerta.

2.6.5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS DE GEOTECNIA.

La estratigrafía representativa de la porción superior determinada a través de la geotecnia, muestra **dos tipos de materiales**, correspondientes a un origen similar, como son los ígneos extrusivos, tales materiales son de **consistencia mayormente dura a muy dura**, y de entre las propiedades índice destaca el **peso volumétrico** que se establece con un **valor mayor de $\gamma = 1.500 \text{ ton/m}^3$** , en ambos materiales (**tobas arenosas y tcbas arcillosas**). Conforme a los resultados a las pruebas al esfuerzo cortante a la compresión simple y triaxial en los especímenes extraídos de los estratos analizados, se definió que tienen una **capacidad portante mayor que 10 ton/m^2** , con un **ángulo de fricción de 30.4** el cual aumenta en los materiales arenosos, lo que implica que el **diseño de taludes se pueda llevar de tipo vertical**. Conforme a las propiedades geotecnicas ambos estratos tienen **capacidad para desarrollar el proyecto que se pretende, tomando un valor de 8.5 ton/m^2** , en cuanto a las pruebas de permeabilidad de acuerdo a los ensayos que se llevaron por carga variable, de donde se obtuvieron valores de KT en $\text{cm/seg} = 4.9 \times 10^{-4}$, en las pruebas Nasberg de la determinación de permeabilidad. La **capacidad de intercambio catiónico total (CICT) es de 39.6 meq 7100 g**; los cationes intercambiables obtenidos del estricto de amonio a un pH de 7 presentan las características siguientes: sodio (Na), 20.4 meq/100 g, 40% de saturación Na, potasio (K), 11.5 meq/100 g, calcio (Ca) 6.5 meq/100 g, magnesio (Mg) 1.6 meq/100g y fósforo (P) 35.5 ppm. Las propiedades de permeabilidad de estos materiales permiten ampliar el rango de seguridad, ya que se les puede clasificar dentro del rango de impermeables.

Cabe señalar que el área de estudio, no es el área propicia para este tipo de proyectos, sin embargo dadas las necesidades, es importante que se limite, dejando fuera de movimiento de tierras la zona donde afloran los derrames

igneos extrusivos, considerando por lo menos una franja de amortiguamiento de unos 100 m a partir de los afloramientos, mismos que se indican en el plano N° 4. Si bien dados los costos de cortes en este tipo de materiales tampoco es conveniente, se debe acentuar que estos afloramientos rocosos, son los sistemas de recargas para los acuíferos regionales. Por otro lado dadas las características de los materiales no rocosos, éstos son de excelente calidad para utilizarlos en las cubiertas, ya que se pueden obtener compactaciones al 90% de las pruebas Proctor Standard. Conforme a la caracterización antes descrita y considerando la Normatividad en estos aspectos habrá que tomar en cuenta un buen diseño de impermeabilidad, mismo que repercutirá en la protección de los recursos naturales como lo es el agua.

2.7 GEOLOGÍA REGIONAL.

La estrechez continental relativa de México, su interacción convergente con las placas del Pacífico establecidas durante el cenozoico (Placas Farallón, Cocos y Rivera), los ángulos de subducción y las velocidades variables de las Placas mencionadas ocasionaron que México modificara su estructura y composición litoesférica de manera compleja durante el cenozoico.

En el periodo terciario se generaron una serie de eventos en donde se depositaron discordantemente sobre las unidades del mesozoico, conglomerados de origen continental, a su vez tuvo lugar una actividad ígnea intrusiva y extrusiva, la primera la representan unidades de granodiorita, granito y pórfidos riolíticos que afectaron a las rocas existentes, en cuanto a lo segundo se formaron unidades de composición ácida, este conjunto de unidades sobreyacen indistinta y discordantemente a las unidades citadas con anterioridad. Dentro de este mismo periodo existen rocas de origen sedimentario continental representadas por: brecha sedimentaria, caliza, arenisca y asociación de arenisca conglomerado. El periodo cuaternario está representado por unidades de basalto, arenisca, conglomerado, suelo aluvial y lacustre.

La columna estratigráfica de la zona se encuentra constituida por derrames ígneos extrusivos correspondientes a la andesita cedro, que abarca una extensión importante con dirección NW-SE. Se presentan también derrames de riolita de la Formación La Bufa (Crb), tobas arcillosas y arenosas así como conglomerados. Sobreyaciendo a los depósitos ígneos extrusivos, formando pequeños valles se encuentran los depósitos aluviales constituidos por: arcillas, limos y suelos orgánicos, que son el vestigio del acarreo de la alteración de los macizos montañosos, dada por la intemperización y meteorización.

2.8 HIDROGEOLOGIA REGIONAL.

En el sitio y región se encuentran unidades volcánoclasticas poco consolidadas, así como conglomerados y macizos rocosos. De acuerdo a la caracterización litológica las unidades acuíferas se presentan en los materiales granulares poco consolidados, si bien los macizos rocosos son las áreas de recarga, por lo que en los alrededores del sitio la explotación se lleva por medio de norias y pozos poco profundos.

2.9 ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS Y DE OTRAS FUENTES.

Los estudios de cuantificación y caracterización de los residuos sólidos que se realizaron en Guanajuato, fueron tomados del "Plan Maestro de Residuos Sólidos" (primera parte) Diagnóstico de Guanajuato, Gto. Proporcionada por la Secretaría de Desarrollo Social; así como por la Dirección General de Servicios Municipales.

Dicha información es la siguiente:

- **Generación per-cápita de residuos sólidos de origen doméstico.**
- **Composición de los residuos sólidos domésticos.**

2.9.1 GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS DE ORIGEN DOMÉSTICO

Según la Dirección General de Normatividad Ambiental, del Instituto Nacional de Ecología, las características que presentan los residuos sólidos municipales, pueden zonificarse de acuerdo a la latitud geográfica, al clima predominante y al giro económico de la ciudad de que se trate. La zonas establecidas en este caso fueron: Norte, Centro y Sur; ubicándose el estado de Guanajuato en la zona Centro. Adicionalmente se tomaron datos por estrato socioeconómico.

Para el análisis se utilizó la generación global como un factor de la generación per cápita, y al hacerlo así, se pudo obtener por giro económico como parte de la generación per cápita.

Se realizó un análisis estadístico de los datos recabados como alguna característica de la localidad, encontrándose que la función de distribución de probabilidades corresponde a una lognormal, ésto es, que los logaritmos naturales de los datos se comportan como una distribución normal. Se obtuvieron parámetros estadísticos como son la media, la desviación estándar y los estimadores de

máxima verosimilitud de la distribución lognormal, de los resultados de éstos parámetros se desprenden los factores que se usaron.

Los parámetros se calcularon mediante las siguientes funciones:

$$\text{Error F}(x) = \frac{1}{X\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(\frac{-\ln x - \mu}{2\sigma^2}\right)^2$$

$$\bar{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_i}{n}$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i - \bar{\mu})^2}{n}}$$

$$\bar{x} = e^{\mu + \sigma^2}$$

$$\bar{\sigma}^2 = e^{2\mu + \sigma^4} (e^{\sigma^4} - 1)$$

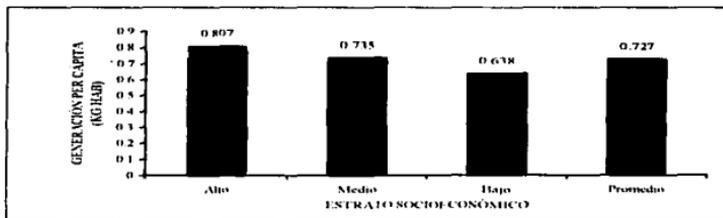
El análisis realizado por la Secretaría de Desarrollo Social, presenta una generación per cápita promedio de **0.727 kg/hab/día** y un crecimiento anual del **3%**; según se aprecia en la **Tabla 2.4.**, así como alrededor de **55 ton.** de residuos sólidos generados diariamente en Guanajuato donde se presta el servicio. Se espera un crecimiento anual en esta última cifra, de aproximadamente **5.4%**.

Por otro lado, según estudios realizados en el mes de Setiembre de 1995, por la Dirección General de Servicios Municipales, la generación per cápita en la ciudad de Guanajuato fue en promedio de **0.677 kg/hab/día**.

TABLA 2.4
GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS
TRES ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS
DE LA CIUDAD DE GUANAJUATO, GUANAJUATO.

NIVEL SOCIOECONÓMICO	GENERACIÓN PER-CÁPITA [KG./HAB.-DÍA]
<i>Alto</i>	0.807
<i>Medio</i>	0.735
<i>Bajo</i>	0.638
<i>Promedio</i>	0.727

FIGURA 2.3
GENERACIÓN PER-CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS TRES ES-
TRATOS SOCIOECONÓMICOS DE LA CIUDAD DE GUANAJUATO,
GUANAJUATO.



De los resultados presentados en la **Tabla 2.4**, se desprende que la generación per cápita domiciliar de residuos sólidos, casi no presenta diferencias entre los estratos socioeconómicos.

Por otro lado es importante mencionar que en Guanajuato por ser un centro turístico, existen variaciones en la generación de residuos sólidos, con aumentos considerables en los siguientes meses o fechas clave, donde la afluencia turística es alta:

En el periodo vacacional de semana santa, se tiene un aumento en la generación de residuos sólidos de **2.04%** en promedio diario. En el periodo vacacional del mes

de julio y la primera mitad del mes de Agosto, el aumento en la generación es de **1.82%** en promedio diario.

Durante el mes de Octubre de la segunda a la tercera semana del mes, se desarrolla el Festival Internacional Cervantino y en estas tres semanas de duración, el incremento en la recolección de residuos sólidos es del **28%** en promedio diario.

Cabe mencionar que para este proyecto se utilizará el valor promedio de **generación per cápita** global, es decir, la generación per capita domiciliaria aumentada un 30 % debido a la generación de comercios, oficinas, etc. Por lo cual se tendrá un valor de $0.727 \times 1.3 = 0.954$ **kg/hab/día** para la generación de residuos sólidos.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

3.1 CONSIDERACIONES EN LAS QUE SE BASARÁ LA PROYECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.

Para realizar la proyección de residuos sólidos, generados por los habitantes del municipio de Guanajuato, Gto.; es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Es deseable que la **vida útil** del proyecto, para el cual se satisfaga la disposición final de los residuos, sea de por lo menos **15 años**.
- Deberá considerarse que la **población se incrementa** con el tiempo, al igual que el **volumen de basura generado "per cápita"**.
- La **generación per cápita de residuos domiciliarios** se considerará de **0.954 kg/hab/día**
- **Índice de crecimiento de la generación.** Este valor es muy difícil de evaluar debido a que es dependiente de los hábitos de consumo, de las condiciones socioeconómicas, de la producción de nuevos bienes de consumo, y otros diversos factores. Sin embargo para el caso del Municipio de Guanajuato, se tomó el **valor medio del intervalo de 1 a 3%** de incremento anual de la generación per cápita, establecido por la extinta Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en 1985. Para este proyecto se utiliza para dicho municipio un valor del **3%**.
- **Población de Proyecto (1997-2015).**
En el capítulo 2 se realizó el cálculo de las proyecciones de población, en la **TABLA 3.1** se presentan los resultados obtenidos, los cuales serán dato para determinar la cantidad de residuos a disponer.

**TABLA 3.1
POBLACIÓN DE PROYECTO**

AÑO	POBLACIÓN (HAB.)
1994	147,000
1998	152,508
1999	157,144
2000	161,895
2001	166,768
2002	171,781
2003	176,884
2004	182,140
2005	187,532
2006	193,064
2007	198,747
2008	204,579
2009	210,554
2010	216,718
2011	223,036
2012	229,520
2013	236,196
2014	243,050
2015	250,096

- **Peso volumétrico de los residuos sólidos en el futuro relleno sanitario.**
Se considerará de 850 kg/m³.

3.2 PROYECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A CONFINAR.

3.2.1 PROYECCIÓN DE GENERACIÓN PER CÁPITA DE RESIDUOS SÓLIDOS

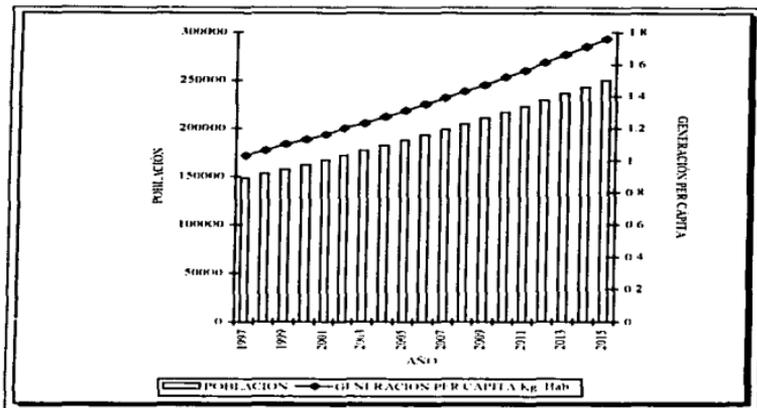
Este cálculo para el municipio de Guanajuato, Gto.; se realizó considerando: como el valor de **generación per cápita para 1994 de 0.945 kg/hab/día**; y un **índice de crecimiento de 3%**.

En la **Tabla 3.2**, se presentan los resultados, en donde se aprecia que la **generación per cápita de residuos sólidos para el año de 1997, es de 1.03 kg/ hab/ día**, y en el año **2015 será de 1.76 kg/ hab/día**.

**TABLA 3.2
PROYECCIÓN DE GENERACIÓN PER CÁPITA
DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE GUANAJUATO**

AÑO	GENERACIÓN PER CÁPITA kg/hab/día
1994	0.95
1995	0.97
1996	1.00
1997	1.03
1998	1.06
1999	1.10
2000	1.13
2001	1.16
2002	1.20
2003	1.23
2004	1.27
2005	1.31
2006	1.35
2007	1.39
2008	1.43
2009	1.47
2010	1.52
2011	1.56
2012	1.61
2013	1.66
2014	1.71
2015	1.76

FIGURA 3.1
PROYECCIÓN DE GENERACIÓN PER CÁPITA
DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE GUANAJUATO



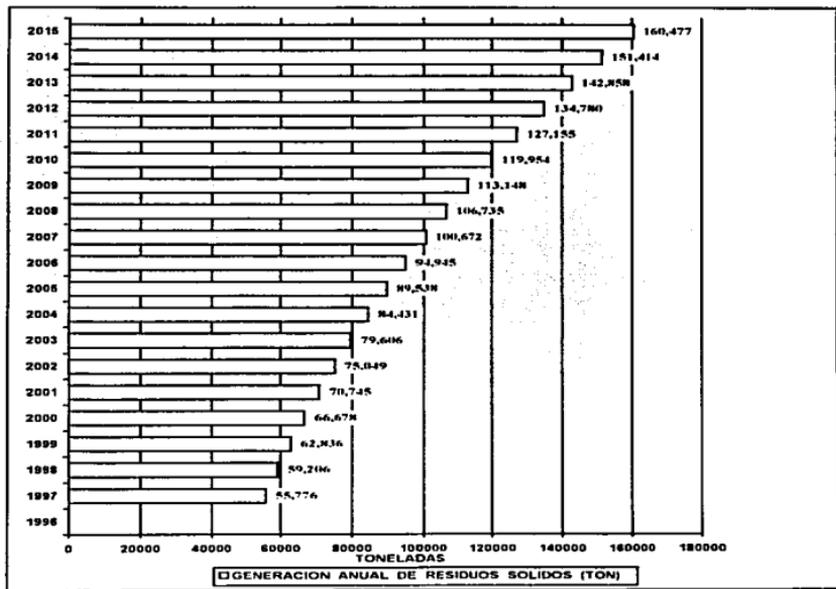
3.2.2 PROYECCIÓN DE GENERACIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES.

Ahora bien, con la población de proyecto, y la generación per cápita por año se determinó la generación diaria de residuos de la población del municipio de Guanajuato. Y considerando el año con 365 días se calculó la generación anual. Obsérvense los resultados en la TABLA 3.3 y la FIGURA 3.2.

**TABLA 3.3
RESIDUOS MUNICIPALES GENERADOS POR LA POBLACIÓN DEL
MUNICIPIO DE GUANAJUATO**

AÑO	RESIDUOS (TON)	COEFICIENTE	RESIDUOS (TON)	RESIDUOS (TON)	RESIDUOS (TON)
1994	135,023	0.95	127,597	46,572,808	46,572.81
1995	139,261	0.97	135,550	49,475,638	49,475.64
1996	143,570	1.00	143,936	52,536,704	52,536.70
1997	147,000				
1998	152,508	1.06	162,208	59,206,065	59,206.07
1999	157,144	1.10	172,153	62,836,010	62,836.01
2000	161,895	1.13	182,679	66,677,830	66,677.83
2001	166,766	1.16	193,821	70,744,512	70,744.51
2002	171,761	1.20	205,615	75,049,366	75,049.37
2003	176,884	1.23	218,100	79,606,448	79,606.45
2004	182,140	1.27	231,318	84,431,062	84,431.06
2005	187,532	1.31	245,311	89,538,441	89,538.44
2006	193,064	1.35	260,124	94,945,125	94,945.13
2007	198,747	1.39	275,814	100,672,111	100,672.11
2008	204,579	1.43	292,425	106,735,004	106,735.00
2009	210,554	1.47	309,994	113,147,911	113,147.91
2010	216,718	1.52	328,641	119,954,143	119,954.14
2011	223,036	1.56	348,369	127,154,713	127,154.71
2012	229,000				
2013	236,196	1.66	391,392	142,857,972	142,857.97
2014	243,050	1.71	414,832	151,413,568	151,413.57
2015	250,000	1.76	435,000	160,000,000	160,000.00

**FIGURA 3.2
PROYECCIÓN DE GENERACIÓN ANUAL
DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
GUANAJUATO, GTO.**



Como puede observarse, la proyección de la generación de residuos sólidos municipales para el año 1997 es de aproximadamente **152.812 ton/día y 55,776 ton/año**; considerando que se mantiene la misma tasa de crecimiento anual, se

estima que se producirán para el año **2012**, que es el año al cual llegará la vida útil del relleno sanitario, será de **369.260 ton/día**, es decir, **134,780 ton/año**.

De esta cantidad de residuos sólidos municipales generados por la población del municipio de Guanajuato, **se considerará para fines de este proyecto**, que el **100% será confinado** o dispuesto en el relleno sanitario; aun cuando realmente sólo un porcentaje recibe dicho control.

Entre otras, las causas por las cuales en la realidad no todos los residuos generados se disponen en un sitio controlado, son: no todos logran recolectarse, se disponen en zonas no controladas como terrenos baldíos, barrancas, etc.

3.2.3 VOLUMEN DE RESIDUOS A DISPONER

Los residuos son depositados en el sitio de disposición final, pero para evitar la generación de incendios y aumentar la vida útil del sitio se **compactan**. La compactación se efectuará utilizando **maquinaria pesada**, particularmente un tractor con hoja topadora que acarreará, extenderá y compactará dichos desechos sólidos. Se propone servirse de dos tractores de orugas D7.

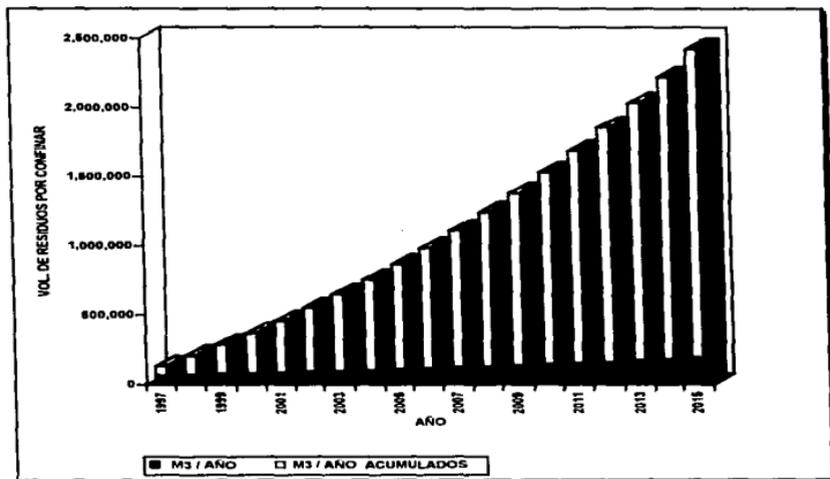
Además de la disminución de volumen por la operación del tractor, los residuos aumentan su densidad a través del tiempo. Ese aumento es debido, entre otros factores, a la biodegradación de la materia orgánica, y a la presión recibida por los estratos superiores de residuos.

Es por lo anterior que se considerará un valor de **0.85 ton/m³** como peso volumétrico de los residuos ya confinados. Con este valor se calculó el volumen de residuos por confinar, los resultados, se observan en la **TABLA 3.4** y en la **FIGURA 3.3**.

**TABLA 3.4
VOLUMEN ANUAL Y ACUMULADO
DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES A DISPONER EN
GUANAJUATO, GTO.**

AÑO	M/AÑO	M/AÑO ACUMULADO
1997	66,619	66,619
1998	69,654	135,274
1999	73,925	209,198
2000	78,445	287,643
2001	83,229	370,872
2002	88,293	459,165
2003	93,655	552,820
2004	99,331	652,150
2005	105,339	757,490
2006	111,700	869,190
2007	118,438	987,628
2008	125,571	1,113,198
2009	133,115	1,246,313
2010	141,123	1,387,436
2011	149,594	1,537,030
2012	158,664	1,695,694
2013	168,068	1,863,662
2014	178,134	2,041,796
2015	188,797	2,230,593

FIGURA 3.3
VOLUMEN ANUAL Y ACUMULADO
DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES A DISPONER EN
GUANAJUATO, GTO.



3.3 DESCRIPCIÓN DEL SITIO SELECCIONADO PARA CONSTRUIR EL RELLENO SANITARIO.

3.3.1 UBICACIÓN DEL SITIO

El sitio está ubicado entre las coordenadas geográficas 101° 08' Longitud Oeste y 20° 54' Latitud Norte. Y se encuentra en el kilómetro 26.5 de la carretera Guanajuato-Juventino Rosas en la zona adyacente al carril de circulación este-oeste.

3.3.2 DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

Este terreno corresponde a una polígona irregular, de 8 lados; con una superficie total de 21 38 Has., el lado más largo del sitio mide aproximadamente 520 m., y el ancho promedio es de 450 m.

El lugar es de **topografía muy accidentada**, conformado por hondonadas profundas y valles escarpados, con pendientes longitudinales y transversales variables, siendo las primeras del 20% y las segundas del 30 % aproximadamente; respecto a las hondonadas o depresiones, éstas tienen pendientes entre el 18 y el 20 % y anchos variables, están divididas por un vado cuya pendiente gobernadora es del 15% aproximadamente. Se puede observar un desnivel de 120 m entre el relieve más alto y la hondonada más baja.

Las dos depresiones, en las zonas Este y Oeste, presentan desniveles que varían entre 20 y 25 m. y distancias longitudes de más de 200 m y anchos máximos de 50 m.

Dichas condiciones topográficas, permiten que el sitio ofrezca una **amplia capacidad de confinamiento**, no obstante el tener que realizar importantes movimientos de tierras.

3.3.3 ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

La reglamentación actual, sobre rellenos sanitarios, indica que no se debe construir ninguna obra en una franja perimetral de 50 m de ancho. Lo único que se puede hacer es colocar una barrera de árboles, la cual evitará, entre otras cosas, se emitan malos olores al exterior del sitio.

Para este proyecto se trazo esa franja de 50m de ancho en casi todos los lados de la polígona, excepto en el lado adyacente de la carretera, donde el ancho fue de 70m, para considerar el derecho de vía. Debido a la zona de amortiguamiento la superficie real de disposición disminuye. Siendo entonces la superficie, aproximada, efectiva para la construcción de dicha obra de 12 38 hectáreas.

3.3.4 OTRAS OBSERVACIONES

Respecto a la vegetación, el sitio tiene gran cantidad de arbustos, árboles y maleza en la zona de depresiones o barrancas. Además, de los escurrimientos naturales de agua que se observan en los taludes de éstas.

3.4 PREPARACIÓN DEL SITIO.

Para llevar a cabo la construcción del relleno, es necesario efectuar la preparación física del sitio, siendo las actividades principales:

- a) construcción del acceso externo;
- b) preparación de los caminos internos temporales;
- c) desmote;
- d) despalme;
- e) nivelación del terreno natural del sitio;
- f) impermeabilización del terreno;
- g) construcción de caminos permanentes;
- h) tendido de la red de drenaje para lixiviados
- i) preparación de chimeneas para el desalojo del biogas, pudiendo llevarse a cabo al alcanzar los niveles finales de disposición, a través de su perforación desde el exterior.

La preparación del sitio se realizará considerando las etapas de desarrollo del relleno sanitario.

La primer etapa integrará la construcción del acceso externo y la preparación para el desarrollo del nivel 951.5 al nivel 964.5. La segunda etapa será del nivel 964.5 al 972.5. Las etapas tercera a séptima se efectuarán a cada 15 metros de altura a medida que aumentan los niveles de desechos sólidos confinados.

De esta manera, el relleno sanitario iniciará sus operaciones, en la parte más baja del socavón Suroeste en el nivel 951.5, depositando los residuos sólidos de la parte superior de la celda diaria, ya que en esta primera fase los vehículos recolectores ni el equipo pesado operará en la base del relleno sanitario, dado que representa un riesgo para el sistema de impermeabilización.

3.5 DISEÑO DE LA CELDA DIARIA Y NIVELES.

La unidad básica de construcción de un relleno sanitario se conoce como "celda diaria", siendo un espacio específicamente definido, dentro del cual se confinan y compactan los residuos de un día de operación. Al conjunto de varias celdas diarias adyacentes (todas de la misma altura) se le conoce como una "capa" y un relleno sanitario es un conjunto o serie de capas.

3.5.1 FORMULACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO.

Las dimensiones y volumen de las celdas de basura en un relleno sanitario dependen del área total del relleno, del volumen diario de residuos recibidos, del equipo mecánico empleado y del material de cubierta. En el sitio para el Municipio de Guanajuato, Gto., deberá seguirse las siguientes especificaciones:

- Peso de los residuos recibidos en un día: kg/día (varía con el año).
- Volumen de residuos sólidos. m³/día (compactados) (varía con el año).
- Peso Volumétrico. 650 kg/ m³ (Diseño de la celda diaria)
- Peso Volumétrico: 850 kg/m³ (Residuos sólidos Estabilizados, 2 años)
- **Altura de celda**: 2.15 m.
- **Ancho de celda**: considerando un tracto de ancho de hoja de 5.01m y un factor de espacio de 1.67 se tiene un valor de 8.37 m.
- **Talud** del frente de trabajo y de celdas: 3:1
- **Espesor de Cubierta Diaria**: 15 cm.
- **Espesor de Cubierta Intermedia**: 15 cm.

3.5.2 DIMENSIONES DE LA CELDA DIARIA.

Se considero únicamente un equipo para calcular el ancho del frente de trabajo. Como en este relleno sanitario habrá etapas que varían en sus dimensiones y geometría de manera apreciable, se operará necesariamente en la primera etapa con un sólo frente de trabajo, pero en las etapas posteriores, si así se desea pueden operarse dos o más frentes, disminuyendo, así, sustantivamente el congestionamiento.

La cantidad de residuos sólidos en una celda diaria, dependen del peso volumétrico de los residuos proporcionado por el equipo de compactación. Pero su capacidad de acuerdo con su geometría está dada por la fórmula del volumen, que es:

$$V = xyh$$

donde:

V = volumen de la celda diaria, m³.

X = ancho del frente de trabajo, 8.37 m.

y = largo de la celda diaria, en m.

h = altura de la celda, 2.15 m.

La superficie que debe envolver el material de cubierta, depende de la pendiente de los taludes, de "y", "x" y "h". Ver **Figura 3.4**.

La expresión matemática de esta área es:

$$A = xy + Lx + Ly$$

donde:

A = área por cubrir en la celda diaria, en m².

L = longitud que depende de los taludes, en m.

Como $y = 0.47 V / x$ de la ecuación de volumen, la ecuación de área queda:

$$A = x (0.47 V / x) + Lx + L (0.47 V / x)$$

$$L = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$$

$$x_1 = \sqrt{(3h)^2 + (3h)^2}$$

$$y_1 = \sqrt{h^2 + (3h)^2}$$

$$z_1 = \sqrt{h^2 + (3h)^2}$$

$$L = \sqrt{9h^2 + 9h^2 + h^2 + 9h^2 + h^2 + 9h^2} = \sqrt{38h^2} = \sqrt{38}h = 6.16h = 6.16 * 2.15 = 13.25m$$

Entonces A, queda:

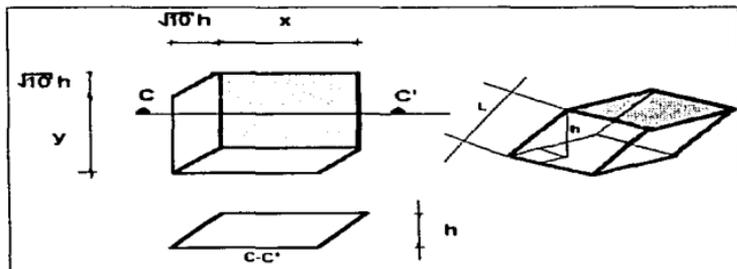
$$A = 0.47 V + 13.25 x + 6.23 V/x$$

$$dA / dx = 13.25 - 6.23 V x^2$$

para minimizar $dA/dx = 0$, finalmente se obtiene que:

$$x = 0.69 V^{1/2}, \quad y = y = x = 0.69 V^{1/2}$$

FIGURA 3.4
DIMENSIONAMIENTO DE CELDA DIARIA



**TABLA 3.5
DISEÑO DE CELDA DIARIA**

año	ton/día	vol. celda diaria (m ³ /día)	l y (m ³)	l (m ³)	de m ³ de celda (m ³)
1997	152.81	235.10	10.15	372.25	61.15
1998	162.21	249.55	10.90	407.66	61.15
1999	172.15	264.85	11.23	423.67	63.55
2000	182.68	281.04	11.57	440.34	66.05
2001	193.82	298.19	11.91	457.71	68.66
2002	205.61	316.33	12.27	475.82	71.37
2003	218.10	335.54	12.64	494.69	74.20
2004	231.32	355.87	13.02	514.37	77.16
2005	245.31	377.40	13.40	534.90	80.24
2006	260.12	400.19	13.80	556.32	83.45
2007	275.81	424.33	14.21	578.68	86.80
2008	292.42	449.88	14.64	602.02	90.30
2009	309.99	476.91	15.07	626.37	93.96
2010	328.64	505.60	15.52	651.87	97.78
2011	348.37	535.95	15.97	678.48	101.77
2012	369.28	568.05	16.45	706.29	105.95
2013	391.39	602.14	16.93	735.37	110.31
2014	414.83	638.20	17.43	765.78	114.87
2015	439.68	676.41	17.95	797.65	119.64

3.6 DESCRIPCIÓN DE ETAPAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS.

La disposición de desechos sólidos se llevará a cabo en 7 etapas, la primera iniciará en el nivel **951.5** que corresponde al punto más bajo del sitio, ascendiendo hasta el nivel **964.5** que corresponde al nivel de preparación de piso del socavón Suroeste, continuando el ascenso a **cada 15 m** y alcanzando los siguientes niveles **972.5, 987.5, 1002.5, 1017.5, 1032.5 y 1047.5**. Durante la construcción de dichas etapas, se construirá un camino permanente de **7.0 m. de ancho**, el cual tendrá los niveles de mencionados, dicho camino irá ascendiendo en forma sinuosa con una pendiente del **10%** hasta llegar al nivel **1047.5**.

3.6.1 PRIMERA ETAPA.

El desarrollo de la primera etapa se inicia en el nivel **951.5** que corresponde al punto más bajo del sitio ubicado en el socavón Suroeste, hasta el nivel **964.5** que corresponde al nivel de piso del socavón Noreste.

La operación se llevará a cabo de la siguiente manera:

Debido a la forma geométrica del socavón (Ver **Plano PT** en el anexo B), la disposición de los residuos se efectuará de abajo hacia arriba, aplicando el método de área, alcanzando los niveles del camino de acceso. Para ello se considerará una celda diaria de 8 m de ancho por 15 m de longitud y 2.15 m altura, con una pendiente de 3:1.

En la zona correspondiente al nivel **951.5**, se presenta una contra pendiente por el cambio de niveles (del 956.5 que es el nivel de camino, al 951.5), formando un columpio. Se rellenará esta zona hasta alcanzar el nivel **957.5** y a partir de éste, se continuará disponiendo de manera alternada es decir de Norte a Sur, hasta alcanzar el nivel **964.5** que corresponde al nivel del acceso del socavón Noreste.

La cobertura de los desechos sólidos se llevará a cabo al final del día, utilizando el material producto de la excavación para lo cual se efectuarán acarrees desde la zona Sur en donde estará almacenado, recorriendo aproximadamente 250.0 m por el camino.

En esta primera etapa se tendrán espesores de 13 m aproximadamente en un área de 6300 m², por lo que el volumen será de 40,243m³ de residuos sólidos con material de cobertura, considerando que la compactación será de 0.65 ton/m³.

Nivelados ambos socavones a la misma cota (964.5), la disposición se podrá efectuar en dos frentes es decir uno en el socavón Suroeste y el otro en el socavón Noreste.

3.6.2 SEGUNDA ETAPA.

El desarrollo de la segunda etapa se iniciará en el nivel **964.5** que corresponde al nivel de piso del socavón Noreste, hasta el nivel **972.5** que es el nivel del camino permanente, realizándose la operación de la siguiente manera:

Se continuará operando con el método de área de abajo hacia arriba en ambos socavones, formando celdas y franjas con taludes 3:1; utilizando el camino construido previamente, el cual se irá nivelando simultáneamente al desarrollo de las franjas de desechos sólidos, tendiendo a desaparecer.

La cobertura de los desechos sólidos se llevará a cabo al final del día, utilizando el material producto de la excavación para lo cual se efectuarán acarrees desde la

zona Sur en donde estará almacenado, haciendo recorridos entre 250 m a 200 m aproximadamente por el camino interno temporal.

En esta etapa se tendrán espesores de 8 m aproximadamente en un área de 19,089 m², por lo que el volumen será de 146,404 m³ de residuos sólidos con material de cobertura, considerando que la compactación será de 0.65 ton/m³

3.6.3 TERCERA ETAPA.

El desarrollo de la tercera etapa se iniciará en el nivel **972.5**, hasta el nivel **967.5** que es el nivel del camino permanente, realizándose la operación de la siguiente manera:

Se continuará operando con el método de área de abajo hacia arriba en ambos socavones, formando celdas y franjas con taludes 3:1, utilizando el camino construido previamente, el cual se irá nivelando simultáneamente al desarrollo de las franjas de desechos sólidos, tendiendo a desaparecer.

La cobertura de los desechos sólidos se llevará a cabo al final del día, utilizando el material producto de la excavación para lo cual se efectuarán acarreos desde la zona Sur en donde estará almacenado, haciendo recorridos máximos de 250 m a 200 m aproximadamente por el camino interno temporal.

En esta etapa se tendrán espesores de 15 m aproximadamente en un área de 33034 m², por lo que el volumen será de 382,951m³ de residuos sólidos con material de cobertura, considerando que la compactación será de 0.65 ton/m³

3.6.4 CUARTA ETAPA.

El desarrollo de la cuarta etapa se iniciará en el nivel **987.5**, hasta el nivel **1002.5**, que es un nivel del camino permanente, realizándose la operación de la siguiente manera:

Se continuará operando con el método de área de abajo hacia arriba en ambos socavones, formando celdas y franjas con taludes 3:1, utilizando el camino construido previamente, que se irá nivelando simultáneamente al desarrollo de las franjas de desechos sólidos, tendiendo a desaparecer.

La cobertura de los desechos sólidos se llevará a cabo al final del día, utilizando el material producto de la excavación para lo cual se efectuarán acarreos desde la zona Sur en donde estará almacenado, haciendo recorridos máximos de 150 m a aproximadamente por el camino interno permanente.

En esta etapa se tendrán espesores de 15 m aproximadamente en un área de 32,663.41 m², por lo que el volumen será de 447,694 m³ de residuos sólidos con

material de cobertura, considerando que la compactación proporcionará una densidad de 0.65 ton/m³.

3.6.5 QUINTA ETAPA.

El desarrollo de la quinta etapa se iniciará en el nivel **1002.5**, hasta el nivel **1017.5**, que es un nivel del camino permanente, realizándose la operación de la siguiente manera:

Se continuará operando con el método de área de abajo hacia arriba en ambos socavones, formando celdas y franjas con taludes 3:1, utilizando el camino construido previamente sobre los residuos, el cual se irá nivelando simultáneamente al desarrollo de las franjas de desechos sólidos, tendiendo una parte a desaparecer y otra a formar el camino permanente.

La cobertura de los desechos sólidos se llevará a cabo al final del día, utilizando el material producto de la excavación para lo cual se efectuarán acarrees desde la zona Sur en donde estará almacenado, haciendo recorridos máximos de 150 m a aproximadamente por el camino interno permanente.

En esta etapa se tendrán espesores de 15 m aproximadamente en un área de 25,553 m², por lo que el volumen será de 466,849 m³ de residuos sólidos con material de cobertura, considerando que la compactación proporcionará una densidad de 0.65 ton/m³.

3.6.6 SEXTA ETAPA.

El desarrollo de la sexta etapa se iniciará en el nivel **1017.5**, hasta el nivel **1032.5**, que es el nivel del camino permanente, realizándose la operación de la siguiente manera:

Se continuará operando con el método de área de abajo hacia arriba en ambos socavones, formando celdas y franjas con taludes 3:1, utilizando el camino construido previamente sobre los residuos, el cual se irá nivelando simultáneamente al desarrollo de las franjas de desechos sólidos, tendiendo una parte a desaparecer y otra a formar el camino permanente.

La cobertura de los desechos sólidos se llevará a cabo al final del día, utilizando el material producto de la excavación para lo cual se efectuarán acarrees desde la zona Sur en donde estará almacenado, haciendo recorridos máximos de 250 m a aproximadamente por el camino interno permanente.

En esta etapa se tendrán espesores de 15 m aproximadamente en un área de 27,940 m², por lo que el volumen será de 477,507 m³ de residuos sólidos con material de cobertura, considerando que la compactación proporcionará una densidad de 0.65 ton/m³.

3.6.7 SÉPTIMA ETAPA.

El desarrollo de la séptima etapa se iniciará en el nivel **1032.5** , hasta el nivel **1047.5**, que es el nivel del camino permanente, realizándose la operación de la siguiente manera:

Se continuará operando con el método de área de abajo hacia arriba en ambos sacavones, formando celdas y franjas con taludes 3:1, utilizando el camino construido previamente sobre los residuos, el cual se irá nivelando simultáneamente al desarrollo de las franjas de desechos sólidos, tendiendo a desaparecer o a formar parte del camino permanente.

La cobertura de los desechos sólidos se llevará a cabo al final del día, utilizando el material producto de la excavación para lo cual se efectuarán acarreos desde la zona Sur en donde estará almacenado, haciendo recorridos máximos de 250 m aproximadamente por el camino interno permanente.

En esta etapa se tendrán espesores de 15 m aproximadamente en un área de 7,399 m², por lo que el volumen será de 275,176 m³ de residuos sólidos con material de cobertura, considerando que la compactación proporcionará una densidad de 0.65 ton/m³.

3.7 VIDA ÚTIL

3.7.1 ALTURA MÁXIMA DE LLENADO.

La altura máxima a que llegará el relleno, está limitada por la visibilidad del sitio, la maniobrabilidad y la operatividad en el frente de trabajo.

El relleno tendrá 7 capas de un espesor aproximado de 15 m. Tomando como nivel de referencia el del acceso principal que corresponde a la cota 1002.5 se tiene una altura de llenado de 45m hacia arriba y 51 m hacia abajo.

3.7.2 CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DEL TERRENO.

La capacidad volumétrica, es el volumen utilizable después de realizar la preparación del terreno.

Para calcularla se necesito el diseño de la preparación del terreno (Ver Capítulo 5) y del desarrollo de las etapas de disposición de los residuos. El diseño de las etapas se hizo de forma tal que el relleno tenga una **vida útil mínima de 15 años**, es decir, si empezará a operar a partir de 1997 deberá tener capacidad para recibir residuos hasta el año 2012.

Conociendo las configuraciones topográficas de la preparación del terreno y de las etapas se obtuvieron las siguientes cantidades de la capacidad:

TABLA 3.6
CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DEL TERRENO

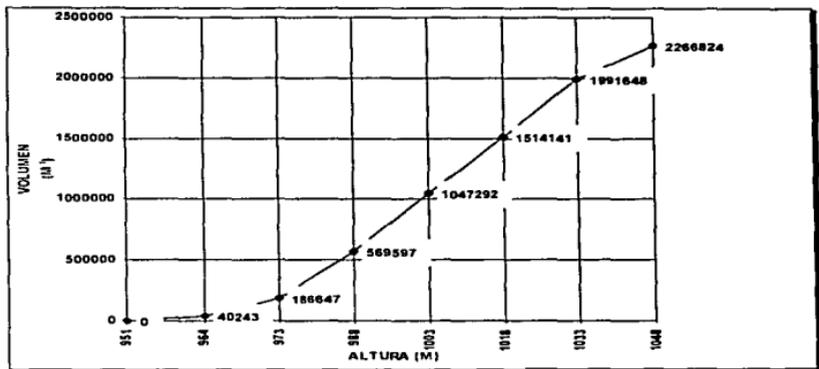
ETAPA	CAPACIDAD/ ETAPA (M³)	CAPACIDAD ACUMULADA (M³)
1	40,243	40,243
2	146,404	186,647
3	382,951	569,598
4	477,695	1,047,293
5	466,849	1,514,142
6	477,507	1,991,649
7	275,176	2,266,825

El terreno elegido para disponer los residuos, después de hacerse los movimientos de tierra, tendrá un volumen de **2 266 825 m³** como espacio aprovechable. Sin embargo, es importante mencionar que esta **capacidad** es la que se ocupará con **residuos y material de cubierta**.

3.7.3 CURVA ALTURA - VOLUMEN.

La curva altura - volumen se determina mediante la geometría que tendrá el relleno y el cálculo de su capacidad según espesores de llenado determinados. También aquí cabe decir que se trata de un volumen ocupado por residuos y material de cubierta. La **Figura 3.5**, ilustra la curva altura volumen.

FIGURA 3.5
CURVA ALTURA VOLUMEN.



3.7.4 MATERIAL DE CUBIERTA

La cantidad necesaria de material de cubierta se calcula considerando que es el 30% del volumen de residuos a disponer, calculado en el apartado 3.2.3, obteniéndose los siguientes valores:

TABLA 3.7
MATERIAL DE CUBIERTA

ANO	V. R. DESP (M ³)	V. ACUM. (M ³)	M. CUBIERTA ACUM. MULTIPLICADO (M ³)
1997	85,810	85,810	10,480
1998	69,654	135,274	40,582
1999	73,925	209,198	62,759
2000	78,445	287,643	88,293
2001	83,229	370,872	111,261
2002	88,293	459,165	137,750
2003	93,655	552,820	165,846
2004	99,331	652,150	195,645
2005	105,339	757,490	227,247
2006	111,700	869,190	260,757
2007	118,438	987,628	296,288
2008	125,571	1,113,198	333,959
2009	133,115	1,246,313	373,894
2010	141,123	1,387,436	416,231
2011	149,594	1,537,030	461,109
2012	168,644	1,805,674	508,678
2013	168,068	1,863,662	559,099
2014	178,134	2,041,796	612,539
2015	188,797	2,230,593	669,178

El material de cubierta total necesario durante la vida del relleno sanitario de Guanajuato es de **508,678 m³**.

3.7.5 VIDA ÚTIL

Los residuos generados por la población del Municipio de Guanajuato, Gto. se dispondrán en el relleno sanitario propuesto hasta que la capacidad del terreno lo permita.

La vida útil es el tiempo en el cual se agotará el espacio utilizable en el sitio. En la siguiente tabla se determina la vida útil relacionando la capacidad volumétrica del terreno con el volumen de residuos generados, que entre otros factores depende del tiempo:

TABLA 3.8
DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL

AÑO	CR	MC	CR+MC	VN	VD	T (A)	ETAPA
1997	65,619	19,688	85,305	85,305	40,243	0.47	1ER. ETAPA
1998	69,654	20,896	90,550	135,613	135,613	1.00	2DA. ETAPA
1999	73,925	22,177	96,102	96,102	10,791	0.11	2DA. ETAPA
2000	78,445	23,533	101,978	187,289	187,289	1.00	3RA. ETAPA
2001	83,229	24,969	108,197	108,197	108,197	1.00	3RA. ETAPA
2002	88,293	26,488	114,781	114,781	87,464	0.76	3RA. ETAPA
2003	93,655	28,096	121,751	149,068	149,068	1.00	4TA. ETAPA
2004	99,331	29,799	129,130	129,130	129,130	1.00	4TA. ETAPA
2005	105,339	31,602	136,941	136,941	136,941	1.00	4TA. ETAPA
2006	111,700	33,510	145,210	145,210	62,555	0.43	4TA. ETAPA
2007	118,438	35,531	153,969	236,624	236,624	1.00	5TA. ETAPA
2008	125,571	37,671	163,242	163,242	163,242	1.00	5TA. ETAPA
2009	133,115	39,935	173,050	173,050	66,983	0.39	5TA. ETAPA
2010	141,123	42,337	183,459	289,526	289,526	1.00	6TA. ETAPA
2011	149,594	44,878	194,472	194,472	187,981	0.97	6TA. ETAPA
2012	158,564	47,569	206,134	212,625	212,625	1.00	7MA. ETAPA
2013	168,068	50,420	218,489	218,489	62,552	0.29	7MA. ETAPA
2014	178,134	53,440	231,574	-	-	-	-
2015	188,797	56,639	245,436	-	-	-	-

Donde:

CR = cantidad de cubiertos, m³/año.

MC = material de cubierta necesario, m³/año.

VN = volumen necesario para disponer residuos con material de cubierta, m³/año.

VD = espacio libre por etapa para disponer residuos con material de cubierta, m³.

T = tiempo (VD/VN), años.

ETAPA = etapa de desarrollo en la que se dispone.

Finalmente, con los cálculos de la TABLA 3.8, se determino la vida útil de cada etapa ver TABLA 3.9

TABLA 3.9
VIDA ÚTIL

ETAPA	CAPACIDAD (m ³)	V. ÚTIL (años)
1	40,243	0.47
2	146,404	1.64
3	382,951	3.65
4	477,695	3.67
5	466,849	2.96
6	477,507	2.58
7	275,176	1.32
TOTAL		16.29

CAPÍTULO 4

INGENIERÍA AMBIENTAL

4.1 BIOGAS

Con el fin de minimizar los riesgos potenciales y molestias a la población cercana al sitio propuesto para el relleno sanitario, se necesita control efectivo y manejo apropiado del biogas que se generará, una vez que sean cubiertos los residuos sólidos en su totalidad.

4.1.1 GENERACIÓN DEL BIOGAS.

Las condiciones que prevalecen en el relleno sanitario, constituyen un excelente ambiente para la producción de biogas. Su velocidad de generación depende de el contenido orgánico, la temperatura, la humedad, el contenido de oxígeno, el tamaño de partícula, la compactación y el pH.

La composición del biogas cambia, pues se presentan dos procesos básicos de degradación. Primero el proceso **aerobio** y posteriormente el **anaerobio**. Los procesos de degradación se llevan a cabo en cuatro **fases: aerobia, anaerobia no metanogénica, anaerobica metanogénica inestable y anaerobica metanogénica estable** (ver Figura. 4.1)

4.1.1.1 FASE AEROBIA

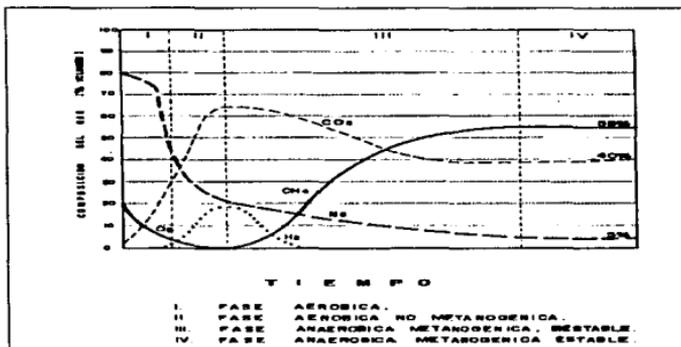
Al final de la disposición los residuos sólidos están compactados y cubiertos. Además son un medio poroso. Los huecos existentes están llenos de aire, esto implica que se tiene aproximadamente un **78% de nitrógeno, 21% oxígeno y 1% de trazas de otros gases**. Es entonces cuando se presenta la **fase aerobia** de la descomposición microbiana de los residuos, ya que este proceso toma lugar en una atmósfera rica en oxígeno, y solamente existe la actividad de microorganismos aeróbicos y facultativos. Bajo estas condiciones, los residuos sólidos son oxidados a bióxido de carbono, amoníaco y agua, con liberación de energía (calor), como se muestra a continuación.

MATERIA ORGÁNICA > OXÍGENO > DÍOXIDO DE CARBONO > FOSFÓGENO > AMONÍACO > ENERGÍA

En lo que concierne a la generación de calor, este se pone de manifiesto por la elevación de la temperatura en el sitio de disposición final, alrededor de los 68°C.

Esta fase se caracteriza por las grandes cantidades de bióxido de carbono, alcanzando concentraciones del 90% en volumen.

**FIGURA 4.1
PROCESO DE DEGRADACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**



El oxígeno es consumido durante el proceso de descomposición aeróbica, sin embargo dependiendo de las condiciones de la cobertura final, se tiene entrada de más aire (O₂) hacia los estratos superiores de residuos sólidos en el interior del sitio de disposición final, el proceso de digestión aeróbica cesará eventualmente y la digestión anaeróbica iniciará.

4.1.1.2 FASE ANAEROBIA NO METANOGENICA

En la fase **Anaeróbica no Metanogénica**, prevalecen las condiciones anaeróbicas y el oxígeno ha sido consumido, produciéndose **bióxido de carbono e hidrógeno únicamente**.

La digestión anaeróbica es llevada a cabo por muchas clases de bacterias. Asimismo, la materia orgánica insoluble con altos pesos moleculares, es convertida en materiales muy simples y solubles en agua. Se estima que esta fase puede darse en un **periodo de 4 meses**.

4.1.1.3 FASE ANAEROBIA METANOGENICA INESTABLE

La fase **Anaeróbica Metanogénica Inestable**, se caracteriza por la presencia de **metano** y la **disminución del bióxido de carbono**, así como el **consumo del hidrógeno**.

Esta fase toma lugar simultáneamente con la segunda fase, la producción de metano comienza después de que todo el oxígeno ha sido removido. **Las bacterias que forman metano son necesariamente anaeróbicas**. El oxígeno en cualquier cantidad inhibe su actividad, sin embargo, dichas bacterias forman esporas y cuando se restablecen las condiciones anaeróbicas iniciales, recuperan nuevamente su actividad.

En ausencia del oxígeno, las bacterias que forman metano convierten a los ácidos orgánicos en 50% bióxido de carbono y 50% metano aproximadamente. También se presentan pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H_2S) y nitrógeno (N_2). Las bacterias metanogénicas son también capaces de generar metano a partir de dióxido de carbono e hidrógeno, cuando ambos están presentes.

MATERIA ORGÁNICA → METANO + DIÓXIDO DE CARBONO + ENERGÍA

Muy poca energía es perdida durante el proceso de conversión de la materia orgánica a metano, permaneciendo el 90% de la energía en éste. Por lo tanto, se genera menos calor que cuando la descomposición aeróbica se completa.

4.1.1.4 FASE ANAEROBIA METANOGENICA ESTABLE

En la fase **Metanogénica Anaeróbica en Estado Estable**, las condiciones de producción y composición del biogas se acercan a un estado estable. Las concentraciones de gas **metano** se estabilizan en un rango de **50 a 60 %** en volumen y del **dióxido de carbono** están entre **40 y 50 %** en volumen. También están presentes **trazas de otros gases** (ácido sulfhídrico, mercaptanos, y

algunos compuestos orgánicos volátiles, etc.), los cuales son las principales fuentes de olor en los sitios de disposición final.

El tiempo requerido para la **estabilización** de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos, varía de pocos **meses a varios años**, dependiendo de los factores que afectan la producción del metano. El tiempo de la generación del biogas en los sitios de disposición final es muy difícil de calcular. Se han desarrollado **modelos sofisticados basados en conceptos teóricos y pruebas de laboratorio que posiblemente pueden predecir la duración de la producción del biogas en un sitio de disposición final; pero esto dependerá de la representabilidad de la información utilizada con respecto a las condiciones reales.** De acuerdo con observaciones en sitios antiguos se sabe que la mayor parte del volumen de biogas se generará durante los primeros 10 y 15 años.

De acuerdo con los procesos de degradación biológica se puede concluir que teóricamente en un plazo de **4 meses a un año de operación del relleno sanitario empezará una importante producción de biogas**, por lo que será necesario dotar de sistemas de control para el correcto venteo.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS Y VOLUMEN DE BIOGAS ESTIMADO.

4.1.2.1 CARACTERÍSTICAS

Los principales **componentes** del biogas generado en los residuos sólidos son el **metano y el dióxido de carbono**, además en bajas concentraciones se tiene **nitrógeno y ácido sulfhídrico**; sin embargo, existen otros componentes a nivel traza que son importantes por sus posibles efectos sobre la salud humana. En la **Tabla 4.1**, se muestra la composición promedio del biogas detectada en sitios de disposición final de residuos sólidos.

En lo que concierne a los compuestos a nivel traza éstos provienen de dos posibles fuentes:

- a - Los generados por el proceso de biodegradación natural que se presenta en los sitios de disposición final. En esta fuente se tiene a los siguientes grupos:
 - **Compuestos Oxigenados.**
 - **Compuestos de azufre.**
 - **Hidrocarburos.**

- b.- Los generados artificialmente por el hombre y que son depositados con los residuos sólidos. En esta fuente se tiene a los siguientes grupos:
 - **Hidrocarburos Aromáticos.**

• **Hidrocarburos clorados.**

De estos grupos, en los Estados Unidos de Norteamérica se han identificado compuestos en el biogas cuyas características se asocian con propiedades carcinogénicas.

En nuestro país, no se cuenta con suficiente información al respecto, sin embargo se han realizado caracterizaciones de biogas de manera aislada detectando los siguientes compuestos:

- **Octano.**
- **Nonano.**
- **3-Metil Nonano.**
- **Decano.**
- **Metil Benceno.**
- **1,2-Dimetil Benceno.**
- **1,3-Dimetil Benceno.**
- **Metil 4 (1-Metil etil) Benceno.**
- **1,3,5-Trimetil Benceno.**
- **Limoneno.**
- **Alfa-Pireno.**

TABLA 4.1
COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS TÍPICAS
DEL BIOGAS EN UN RELLENO SANITARIO.

COMPONENTE	% DEL COMPONENTE (VOLUMEN, BASE SECA)
METANO	47.5
BIÓXIDO DE CARBONO	47.5
NITRÓGENO	3.7
OXÍGENO	0.8
HIDROCARBUROS PARAFINICOS	0.1
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS Y CÍCLICOS	0.2
HIDROGENO	0.1
ÁCIDO SULFHÍDRICO	0.01
MONÓXIDO DE CARBONO	0.1
COMPUESTOS TRAZAS	0.5
CAPACIDAD CALORIFICA	300-550
GRAVEDAD ESPECIFICA	1.04
CONTENIDO DE HUMEDAD	SATURADO
TEMPERATURA(EN LA FUENTE)	41 °C

La existencia de materiales orgánicos volátiles en el biogas, obliga a que en el relleno sanitario se tenga un control eficiente del mismo, para evitar problemas de salud a los operarios y molestias por los olores desagradables a la población circundante.

4.1.2.2 VOLUMEN

La estimación del volumen de biogas que se generará en el relleno sanitario del municipio de Guanajuato, es muy difícil de calcular, debido a que actualmente se cuenta con métodos teóricos, que en ocasiones manejan constantes que han sido determinadas experimentalmente con residuos sólidos con características muy diferentes a los residuos que se generan en nuestro país.

En los últimos años se ha medido en varios rellenos sanitarios y en tiraderos abiertos, el volumen generado por la degradación la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, sin embargo, los valores obtenidos han presentado un

amplio rango de valores, debido a las múltiples condiciones en las que se encuentra el sistema durante las mediciones. El rango encontrado fluctúa entre **0.75 a 34 litros de biogas por kilogramo de residuo húmedo por año**, pero hay investigadores que llegan a valores teóricos llamados de última productividad, tan altos como **450 lt/kg**, y valores medidos en laboratorio de **260 lt/kg**. Esto obedece a los factores que afectan dicha producción como son: la composición de la basura, la temperatura, el pH y alcalinidad y la cantidad y calidad de nutrientes principalmente **nitrogeno, fósforo y potasio contenidos en los residuos sólidos**, y finalmente la presencia de algunos inhibidores dentro del relleno.

Es conocido que su tasa de producción varía con el tiempo por lo que el método **estequiométrico** requiere de la ayuda de la **cinética de reacción**, no obstante que la producción de éste continúa por varias décadas haciéndose difícil la predicción del mismo.

En un intento para predecir la generación de biogas, varios modelos se han programado usando **cinética de orden cero**, es decir que la tasa de generación de metano es independiente de la cantidad de **sustrato** que permanece, el modelo sería según Ham y Barlaz

$$-dc/dt = k$$

El modelo de cinética de primer orden establece que la tasa de pérdida de material putrecible es proporcional a la cantidad de materia putrecible que permanece, y su modelo sería:

$$-dc/dt = kc$$

y finalmente el modelo de cinética de segundo orden puede escribirse como:

$$-dc/dt = kc^2$$

Sin embargo, **La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica**, esta recomendando un modelo muy simple de aplicar y que predice, con suficiente aproximación a la realidad, la cantidad de biogas generado en los rellenos sanitarios. La generación total de metano del sitio toma en cuenta la masa de basura recibida anualmente aceptando la misma tasa anual en el tiempo de operación del relleno, sin embargo si se conocen las entradas de basura con el tiempo puede establecerse un promedio anual y con estos valores, variando anualmente, correr el modelo.

El modelo es como sigue

$$Q = Lo R (e^{-kt} - e^{-k(t+c)})$$

Donde:

- Q** = Tasa de generación de metano con el tiempo, m³/año.
- Lo** = Capacidad potencial de los residuos sólidos de generar metano, m³/ton.
- R** = Tasa de aceptación promedio de basura durante la vida activa del relleno, ton/año.
- k** = Tasa de generación de metano se supone constante, l/año.
- c** = Tiempo desde la clausura del relleno, año.
- t** = Tiempo desde el inicio de colocación de la basura en el relleno, año.

En la fórmula no se ha incluido ningún término de vida media o porcentaje de desechos rápida o moderadamente putrescibles, pero los valores de Lo y k los toman en cuenta.

El modelo acepta un tiempo de retraso durante el cual las condiciones anaeróbicas se establecen, para climas semi-áridos con baja precipitación y alta evaporación puede aceptarse 1 año como tiempo de retraso, para las condiciones de otros climas, no incluidos como los áridos, los que presentan alta precipitación, alta temperatura y cualquier condición de evaporación, este tiempo tal vez no deba concederse.

La EPA recomienda los siguientes valores para Lo y k:

Variable	Clima Semi-Árido	Otros Climas
Lo	90 m ³ /ton	175 m ³ /ton
k	0.05 l/año	0.05 l/año

Considerando el modelo descrito anteriormente, para el presente proyecto se utilizará la experiencia obtenida en el medio mexicano, relativa a la determinación del potencial de generación de biogas a partir de residuos sólidos.

La información disponible al respecto, ha sido generado por Instituto de

Investigaciones Eléctricas de la C.F.E y el Departamento del Distrito Federal, que conjuntamente han estudiado la viabilidad del aprovechamiento de la energía generada por el biogas de sitios de disposición final. Estas instituciones llevaron a cabo la determinación de la capacidad potencial de generación de biogas, partir de muestras frescas de residuos sólidos, mediante la digestión anaerobia a nivel laboratorio.

Es importante señalar que los residuos sólidos, correspondieron a muestras frescas obtenidas en el sistema de transferencia de residuos sólidos del Distrito Federal.

Para las muestras de residuos sólidos, se determinó un potencial de generación de biogas de $91 \text{ m}^3/\text{ton}$ de residuo, con un 65 % de metano en su proporción es decir 59.15 de potencial de generación de metano, siendo un valor más bajo que el recomendado por EPA.

Con base en dicha parámetro, se aplico el modelo de referencia obteniendo los resultados de la **Tabla 4.2**.

Para los cálculos del sistema de control se considerará el valor máximo anual de la producción de biogas (ver **Tabla 4.2**), cuyo valor es de **$8,555,111 \text{ m}^3/\text{año}$** .

Finalmente, para el dimensionamiento del sistema de control de biogas, se utilizará el valor anterior, de tal modo que el sistema asegure el efectivo control del biogas que se generará a lo largo de la vida útil.

TABLA 4.2
PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN DE BIOGAS
RELLENO SANITARIO DE GUANAJUATO, GTO.
 (Lo = 90 m³/ton K = 0.05 lt/año)

AÑO	AS DISPONER ton/año			(m ³ /año)	(m ³ /año)	
1997	55,778	0	0			
1998	59,206	0	1	395,386	790,772	15.4
1999	62,836	0	2	771,489	1,542,977	24.6
2000	66,678	0	3	1,129,249	2,258,497	33.9
2001	70,745	0	4	1,469,561	2,939,121	41.5
2002	75,049	0	5	1,793,275	3,586,550	47.8
2003	79,606	0	6	2,101,202	4,202,404	52.8
2004	84,431	0	7	2,394,111	4,788,222	56.7
2005	89,538	0	8	2,672,735	5,345,470	59.7
2006	94,945	0	9	2,937,770	5,875,540	61.9
2007	100,672	0	10	3,189,879	6,379,759	63.4
2008	106,735	0	11	3,429,693	6,859,386	64.3
2009	113,148	0	12	3,657,811	7,315,622	64.7
2010	119,954	0	13	3,874,803	7,749,608	64.6
2011	127,155	0	14	4,081,213	8,162,426	64.2
2012	134,780	0	15	4,277,555	8,555,111	
2013	142,858	1	16	4,068,937	8,137,874	57.0
2014	151,414	2	17	3,870,492	7,740,985	51.1
2015	160,477	3	18	3,681,726	7,363,463	

4.1.3 CONTROL DE BIOGAS

Cuando se ha llegado a la etapa final de desarrollo en un sitio de disposición final, es necesario controlar el biogas generado para evitar la posibilidad de migración en las áreas circundantes y así, también minimizar su efecto nocivo en la salud de los trabajadores del relleno sanitario. Aunque a veces, se requiere realizar este control aún antes de finalizar la operación.

Al efectuar una adecuada impermeabilización con materiales geosintéticos, la emigración, se piensa, no ocurrirá y por lo tanto no se justifica la instalación de un sistema activo, a menos que se pretenda aprovechar el poder energético del gas

metano que se producirá.

4.1.3.1 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE BIOGAS

En la práctica, en los sitios de disposición final se utilizan dos sistemas para controlar el biogas: el sistema pasivo y el sistema activo.

El **sistema pasivo**, funciona mediante el principio de presión natural y el mecanismo de la convección, para favorecer el movimiento del biogas a través de los estratos de residuos sólidos confinados. El **sistema activo**, controla el movimiento del biogas mediante una presión negativa inducida (vacío), de tal modo que el gas es extraído del sitio de disposición final.

El sistema pasivo, no es muy efectivo para la remoción del biogas, y cuando este no es removido puede provocar daños a la cubierta vegetal por efecto de los componentes del biogas sobre las raíces y el follaje, y por consiguiente originar la erosión de la cubierta final del sitio. La falla de los sistemas pasivos es generalmente atribuida a que la presión del biogas en realidad es muy baja, dentro de los estratos de residuos, para alcanzar los dispositivos de venteo. Otro problema de estos sistemas es que con la variación de alta a baja presión barométrica o viceversa se provoca la entrada de aire cuando la presión barométrica sube.

En lo que concierne a los sistema de control activos, estos utilizan la succión del gas con ayuda de un soplador logrando con ello un control efectivo de la migración lateral. Asimismo, esta forma de extracción es ideal para el establecimiento de un sistema de aprovechamiento del biogas, principalmente como una fuente no convencional de energía.

En conclusión, los sistemas pasivos se recomiendan para áreas en donde el riesgo es mínimo, y por lo tanto no se justifica hacer una fuerte inversión para el control del biogas; mientras que los sistemas activos, se justifican desde un punto de vista de riesgo a la población o simplemente cuando existen planes de aprovechamiento del biogas, independientemente de los costos que estas acciones representen.

Para las condiciones del sitio de Guanajuato el riesgo es mínimo, por lo cual se recomienda utilizar pozos pasivos.

4.1.3.2 POZOS DE VENTEO PASIVOS.

Los pozos de venteo pasivos son, relativamente más fáciles de construir que el sistema de zanja o trincheras y por ello los más utilizados para airear el biogas en nuestro país. Se construyen, frecuentemente, durante el depósito de los residuos sólidos en el sitio de disposición final, para ahorrar en su construcción; sin embargo, en la operación esos pozos pueden ser dañados y no cumplir con su función una vez que el sitio ha sido clausurado.

En la mayoría de los tiraderos a cielo abierto no existen dispositivos para el control

de los gases, por lo cual la práctica es perforar los pozos de venteo después de conformar el sello final del sitio.

Además de construirse los pozos, deben colocarse quemadores a la salida de estos para controlar los malos olores y minimizar el daño a la salud del personal.

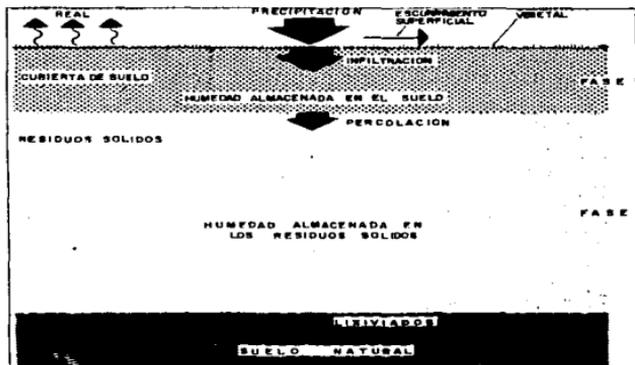
En la parte superior del pozo se colocará un sello con arcilla, bentonita, mezcla de suelo cemento o cualquier otro material impermeable que evite la salida descontrolada del biogás y/o la entrada de agua hacia el interior del pozo, siendo este último aspecto desfavorable para el adecuado venteo del gas, además de que se favorece la generación de lixiviados. En el **Plano de Etapa Final EF** en el anexo B, se observa la ubicación de los pozos de venteo de biogás.

4.2 LIXIVIADOS

Los residuos sólidos que se depositarán en la celda diaria del relleno sanitario, sufrirán cambios físicos, químicos y biológicos, teniendo como productos finales gases y líquidos agresivos para el ambiente.

Para evaluar la cantidad de estos líquidos se requiere de un análisis detallado de las condiciones existentes en el sitio, tanto superficiales como climatológicas, se considera que el "**Método de Balance de Agua**" de C. W. Thornthwaite es apropiado, debido a que esta técnica se basa en la relación entre la precipitación, la evapotranspiración y el escurrimiento, así como en la humedad que se almacena en la capa de material de cubierta.

**FIGURA 4.2
BALANCE DE AGUA
RELLENO SANITARIO DE GUANAJUATO**



Los residuos sólidos contienen humedad en un cierto porcentaje, ésta es la utilizada parcialmente por los microorganismos, para degradar la materia orgánica. En las diferentes reacciones biológicas que se presentan, se consume y se produce agua más otros compuestos, como son: metano (CH_4), bióxido de carbono (CO_2), nitratos (NO_3), etc

El agua percolada que a lo largo de su escurrimiento sobre los residuos sólidos adsorbe y diluye compuestos contaminantes presentes, debe ser controlada, ya que si se logra infiltrar a través de las capas de suelo, y llegar a los mantos freáticos, éstos pueden contaminarse y degradar su calidad. De aquí que se debe estimar la generación de estas infiltraciones denominados percolados.

Cabe mencionar que los percolados escurren bajo la condición de que el medio, es decir, el suelo o los residuos sólidos se encuentran saturados de agua, para que comiencen a escurrir e infiltrarse. Por lo tanto, debe calcularse el grado de saturación de humedad del suelo para estimar el tiempo en que aparecerán los lixiviados.

4.2.1 GENERACIÓN DE LIXIVIADOS.

La generación de lixiviados se debe a varios factores, como son: la saturación de agua en el suelo y en los residuos sólidos, la precipitación pluvial, la evapotranspiración, las reacciones físico-químicas y biológicas originadas por distintos elementos tales como la humedad, el calor, el espacio de aire presente en las interfaces de los residuos sólidos, o la ausencia de éste, y a la cantidad de materia biodegradable en el sitio. El tipo de reacciones que pueden llevarse a cabo en un relleno sanitario son:

- Las reacciones físico-químicas responsables de la solubilización, precipitación pluvial, óxido-reducción, intercambio iónico o de gases de algunos contaminantes.
- Las reacciones de degradación biológica de materiales para el control de lixiviados en donde se utiliza material de cobertura impermeable que minimiza la infiltración de agua hacia el interior del relleno sanitario, así como drenes que recolectan y conducen a los lixiviados por conductos hacia depósitos especiales, para su posterior tratamiento o recirculación.

Para poder determinar la generación de lixiviados se hará un balance hídrico que determine las **condiciones en las que se encuentra el sitio para la generación de los lixiviados**, tales como la precipitación pluvial, la permeabilidad del suelo y la temperatura ambiente.

Para el relleno sanitario, las entradas y salidas de agua están estrechamente relacionadas con el ciclo hidrológico y con la capacidad de almacenamiento de agua de los residuos sólidos y de el material de cobertura.

A continuación, se describen y calculan cada uno de los factores que intervienen en el balance hídrico.

4.2.2 PRECIPITACIÓN PLUVIAL.

En la **TABLA 4.3**, se tiene los valores de la precipitación media mensual para Guanajuato. Por otro lado, en la **TABLA 4.4**, se tienen los promedios mensuales de las temperaturas; estos datos son indispensables para el cálculo de la generación de lixiviados que se efectuará a lo largo de esta sección, es importante señalar que esta información fue obtenida de registros de 15 años.

**TABLA 4.3
PRECIPITACIÓN MEDIA EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO**

MES	PRECIPITACIÓN mm
ENERO	23.80
FEBRERO	8.67
MARZO	9.67
ABRIL	13.50
MAYO	72.77
JUNIO	135.38
JULIO	202.66
AGOSTO	128.11
SEPTIEMBRE	90.45
OCTUBRE	38.19
NOVIEMBRE	18.66
DICIEMBRE	9.08

**TABLA 4.4
TEMPERATURA MEDIA EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO**

MES	TEMPERATURA °C
ENERO	14.3
FEBRERO	15.7
MARZO	18.1
ABRIL	20.3
MAYO	21.5
JUNIO	21.1
JULIO	19.3
AGOSTO	19.5
SEPTIEMBRE	19.0
OCTUBRE	17.9
NOVIEMBRE	16.4
DICIEMBRE	14.8

4.2.3 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.

El primer cálculo necesario para determinar el volumen de lixiviados es el del escurrimiento superficial que se determina con la expresión:

$$E = (K_e) (P)$$

donde:

E = escurrimiento superficial mensual en milímetros.

K_e = coeficiente de escurrimiento.

P = precipitación pluvial en milímetros.

Para poder utilizar esta expresión, es necesario determinar el coeficiente de escurrimiento, factor que depende del tipo de suelo presente en la región y de la pendiente de la superficie final del relleno sanitario. El tipo de suelo se considera, para fines de cálculo, como un suelo compuesto por toba arcillosa media y la pendiente que se le dará al término de la obra será del 2%, lo cual nos indica un coeficiente de 0.13 para época de secas y 0.17 para época de lluvia; los valores de escurrimiento se muestran en la **Tabla 4.5**.

TABLA 4.5
CÁLCULO DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

MES	P mm	K_e	E mm
ENERO	23.80	0.13	3.09
FEBRERO	8.67	0.13	1.13
MARZO	9.67	0.13	1.26
ABRIL	13.50	0.13	1.76
MAYO	72.77	0.13	9.46
JUNIO	135.38	0.17	23.01
JULIO	202.66	0.17	34.45
AGOSTO	128.11	0.17	21.78
SEPTIEMBRE	90.45	0.17	15.38
OCTUBRE	38.19	0.13	4.97
NOVIEMBRE	18.66	0.13	2.43
DICIEMBRE	9.08	0.13	1.18

4.2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN.

También es necesario conocer la evapotranspiración que ocurre en la zona, que se interpreta como una pérdida de humedad en el suelo, por la evaporación y la transpiración de los vegetales que en el balance hídrico se toma como salida de agua hacia la atmósfera, causada principalmente por las temperaturas alcanzadas en el lugar. Se puede calcular la evapotranspiración potencial generada en la zona, en base la temperatura mensual, utilizando en primer término la fórmula de C.W. Thornthwaite que se expresa en índices mensuales "I":

$$i = (T/5) 1.514$$

donde:

i = índice mensual de temperatura, adimensional.
T = temperatura media del mes considerado, en °C.

La evapotranspiración potencial, queda dada por la fórmula:

$$EVTP = 1.6 (10 T / IT)^{1.5}$$

donde:

E = evapotranspiración potencial mensual no corregida, en mm.
T = temperatura media mensual, en °C.
IT = sumatoria de los índices mensuales del año: $\sum i$, adimensional.

$$y \quad \alpha = 6.75 \times 10^{-7} (IT)^3 - 7.71 \times 10^{-5} (IT)^2 + 1.792 \times 10^{-2} (IT) + 0.49239$$

En la **Tabla 4.6** se tienen calculados éstos valores. Una vez obtenido, se requiere ajustarlo, de acuerdo con la latitud en que se encuentra el sitio de la zona de estudio, es decir, se ajusta de acuerdo a la incidencia de los rayos solares con la correspondiente ubicación del sitio. Para esto, se tiene la ecuación de ajuste definida como

$$EVTP \text{ ajustada} = (EVTP) (Kc)$$

donde:

EVTP ajustada = evapotranspiración potencial "ajustada" en mm.
EVTP = evapotranspiración potencial mensual "no ajustada" en mm.
Kc = factor de corrección que depende de la latitud del lugar estudiado y del mes que se quiere considerar.

En la **Tabla 4.6**, se encuentran ajustados los valores, de acuerdo a la latitud del sitio, la cual es de 20° 54'. Esta, como su nombre lo dice es la evapotranspiración que en un momento se podría generar en el sitio.

TABLA 4.6
CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN AJUSTADA

MES	TEMP. °C	I mm	EVTP mm	K _e	EVTP ajust. mm
ENERO	14.3	4.89	31.13	0.95	29.57
FEBRERO	15.7	5.64	36.52	0.9	32.86
MARZO	18.1	7.02	46.60	1.03	48.00
ABRIL	20.3	8.35	56.59	1.05	59.42
MAYO	21.5	9.12	62.42	1.13	70.53
JUNIO	21.1	8.82	60.15	1.11	66.77
JULIO	19.3	7.71	51.78	1.14	59.03
AGOSTO	19.5	7.85	52.79	1.11	58.59
SEPTIEMBRE	19.0	7.54	50.52	1.02	51.53
OCTUBRE	17.9	6.89	45.67	1.00	45.67
NOVIEMBRE	16.4	6.05	39.48	0.93	36.72
DICIEMBRE	14.8	5.17	33.17	0.91	30.19
	$I = \sum I =$	85.05			
	$\alpha =$	1.69			

4.2.5 DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD DEL SUELO.

La condición necesaria para que los lixiviados se percolen hacia las profundidades del suelo, en donde se encuentran los mantos freáticos, es que las capas del relleno sanitario o las capas de suelo por donde atraviesen los lixiviados, se hallen completamente saturados de humedad. Es por esto, que es indispensable conocer la disponibilidad de humedad del suelo de la zona de estudio, **mediante las evapotranspiraciones que ocurren, los escurrimientos superficiales y las infiltraciones** que por consecuencia se dan. Con el proceso de infiltración hacia el suelo, éste, comienza a humedecerse, hasta que el agua satura por completo a la capa del suelo, rebasando la capacidad de campo existente en éste. Es entonces, cuando el agua comienza a percolarse, haciendo posible degradación del acuífero. En lo que respecta a la capacidad de campo tanto del material de cubierta como de los residuos sólidos, éste se debe entender como el máximo contenido de humedad, que se puede retener en un campo gravitacional, sin que se tenga percolación.

Cabe mencionar, que los cálculos que se están realizando en este trabajo son tomando en cuenta únicamente las precipitaciones pluviales y las temperaturas medias alcanzadas, sin considerar los porcentajes de humedad contenida en los residuos sólidos. Tampoco se toman en cuenta los diferentes compuestos que puedan estar presentes en los lixiviados que se generen, ya que para ello se ne-

cesitaría de mucho tiempo de muestreo y análisis, bajo ciertos criterios, que pueden llegar a retrasar en tal medida la operación del relleno sanitario, que tal vez, cuando se pusiera en marcha, el diseño en sí sería obsoleto, y se tendría que volver a rediseñar. El cálculo queda pues definido únicamente en la generación de humedad metabólica de los residuos sólidos y la percolación de agua, a través de las precipitaciones pluviales.

Los parámetros antes mencionados, se analizan en el caso de que los lixiviados se produzcan y alcancen a percolarse por las diferentes capas de residuos sólidos y suelo. En este trabajo, se calcularán únicamente el agua recibida por el suelo y su percolación hacia los mantos freáticos. Si hay percolación, entonces se precederá a calcular la humedad metabólica presente en los residuos sólidos. A continuación se calculará la evapotranspiración real.

4.2.6 INFILTRACIÓN.

La infiltración es el movimiento del agua, a través de la superficie de suelo o residuos y hacia adentro de los mismos, este movimiento es producido por la acción de las fuerzas de gravitacionales. La diferencia entre el volumen de agua que llueve (P) y el que escurre (E) es el volumen que se infiltra (I), que se calcula con la siguiente fórmula:

$$I = P - E$$

donde:

I = infiltración,

P = precipitación,

E = escurrimiento.

En la **Tabla 4.7** se calcula la infiltración para el relleno sanitario de Guanajuato, Gto.

**TABLA 4.7
CÁLCULO DE INFILTRACIÓN**

MES	P mm	E mm	I mm
ENERO	23.80	3.09	20.71
FEBRERO	8.67	1.13	7.54
MARZO	9.67	1.26	8.42
ABRIL	13.50	1.76	11.75
MAYO	72.77	9.46	63.31
JUNIO	135.38	23.01	112.37
JULIO	202.66	34.45	168.21
AGOSTO	128.11	21.78	106.33
SEPTIEMBRE	90.45	15.38	75.07
OCTUBRE	38.19	4.97	33.23
NOVIEMBRE	18.66	2.43	16.24
DICIEMBRE	9.08	1.18	7.90

4.2.7 HUMEDAD DEL SUELO.

Para poder determinar la humedad del suelo y su variación, es necesario realizar algunos procedimientos:

- Se calcula la diferencia entre la infiltración y la evapotranspiración potencial ajustada.
- Después, se toma el segundo valor negativo y se suma con el anterior, igualándose al segundo valor negativo de (I-EVTP). Después se toma el tercer valor y se procede de la misma manera. En el caso de llegar al mes de diciembre y tener aún valores negativos, entonces se suma el valor de enero hasta sumar los doce valores u obtener un valor mayor o igual a cero en estas sumas. Estos valores (neg(I-EVTP)), se toman como coordenadas para localizar el número correspondiente en la humedad del suelo. Si este valor es igual a cero, entonces la humedad del suelo será igual a la capacidad de campo, lo que significa que el suelo se encuentra completamente saturado de humedad. Por el contrario, si el valor es negativo y diferente de cero, es cuando el suelo tendrá un valor menor a la capacidad de campo lo que podemos interpretar, como un suelo parcialmente húmedo, estos valores se pueden encontrar en la tablas de Humedad calculadas por C W. Thornthwaite.
- El cambio en la humedad del suelo (ΔH_s), es la diferencia de las humedades del suelo de mes a mes. Si el valor es negativo es la humedad perdida del suelo y

si esta cantidad es positiva, quiere decir que el suelo ha ganado humedad.

La **Tabla 4.8** presenta los resultados de el seguimiento de este cálculo.

**TABLA 4.8
CÁLCULO DE LA VARIACIÓN
EN LA HUMEDAD DEL SUELO**

MES	E mm	I mm	EVTP a. mm	I - EVTP a. mm	Ineg(I-EVTPa) mm	MS mm	ΔMS mm
ENERO	3.09	20.71	29.57	-8.87	-8.87	141	38
FEBRERO	1.13	7.54	32.86	-25.32	-34.19	119	-22
MARZO	1.26	8.42	48.00	-39.58	-73.77	90	-29
ABRIL	1.76	11.75	59.42	-47.68	-121.45	65	-25
MAYO	9.46	63.31	70.53	-7.23	-128.67	62	-3
JUNIO	23.01	112.37	66.77	45.60	-48.00	108	46
JULIO	34.45	168.21	59.03	109.17		150	42
AGOSTO	21.78	106.33	58.59	47.74		150	0
SEPTIEMBRE	15.38	75.07	51.53	23.54		150	0
OCTUBRE	4.97	33.23	45.67	-12.45	-12.45	138	-12
NOVIEMBRE	2.43	16.24	36.72	-20.48	-32.93	120	-18
DICIEMBRE	1.18	7.90	30.19	-22.29	-55.22	103	-17

4.2.8 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.

La evapotranspiración real es la estimación de la evaporación y transpiración que se da en la zona de estudio por las temperaturas alcanzadas en el suelo y su vegetación. Para esto, es necesario tomar en cuenta factores tales como: la humedad del suelo, la infiltración, y la evapotranspiración potencial "ajustada" de acuerdo a la latitud.

Cuando sucede, en un mes dado, que la infiltración que ocurre en el suelo sea mayor que la evapotranspiración potencial ajustada, $(I - EVPTa) > 0$, la evapotranspiración real se iguala a la evapotranspiración potencial ajustada:

$$EVPTa = EVPTa$$

Por otro lado, si consideramos que la evapotranspiración potencial ajustada (EVTPa) es mayor a la infiltración (I), $(I - EVPTa) < 0$, la evapotranspiración real (EVPT) está limitada a la humedad disponible en el suelo y se determina mediante la ecuación:

$$EVPT = I - \Delta Hs$$

donde:

EVTPR = evapotranspiración real, en mm.

EVTPa = evapotranspiración potencial ajustada, en mm.

ΔHs = variación en la humedad del suelo, en mm.

I = infiltración, en mm

**TABLA 4.9
CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.**

MES	I mm	EVTP ajust. mm	I - EVTP aj. mm	ΔHs mm	EVTPR mm
ENERO	20.71	29.57	-8.87	38.00	0.00
FEBRERO	7.54	32.86	-25.32	-22.00	29.54
MARZO	8.42	48.00	-39.58	-29.00	37.42
ABRIL	11.75	59.42	-47.68	-25.00	36.75
MAYO	63.31	70.53	-7.23	-3.00	66.31
JUNIO	112.37	66.77	45.60	46.00	66.77
JULIO	168.21	59.03	109.17	42.00	59.03
AGOSTO	106.33	58.59	47.74	0.00	58.59
SEPTIEMBRE	75.07	51.53	23.54	0.00	51.53
OCTUBRE	33.23	45.67	-12.45	-12.00	45.23
NOVIEMBRE	16.24	36.72	-20.48	-18.00	34.24
DICIEMBRE	7.90	30.19	-22.29	-17.00	24.90

4.2.9 PERCOLACIÓN.

La percolación es el resultado final, que se obtiene en el análisis completo de la disponibilidad de humedad del suelo. De la **Tabla 4.10**, se tiene el cálculo de:

$$PERC = P - ES - \Delta Hs - EVTR$$

donde:

PERC = percolación.

P = precipitación.

E = escurrimiento.

ΔHs = variación en la humedad del suelo.

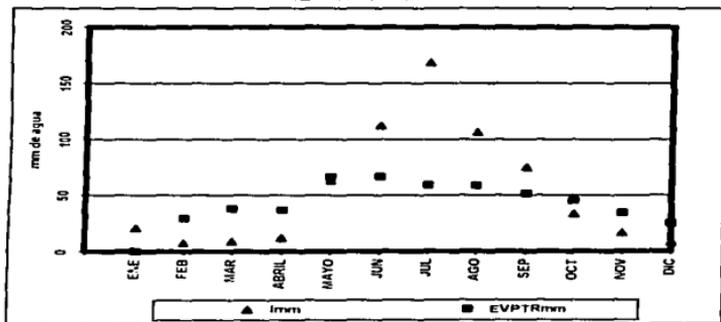
EVTR = evapotranspiración real.

Cabe mencionar, que si la precipitación es más grande y el cambio de humedad del suelo es positivo, entonces la Percolación resultante aumenta, mientras que los otros valores disminuyen la cantidad de agua percolada.

TABLA 4.10 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE PERCOLADOS

MES	P mm	E mm	AMS mm	EVPTM mm	PERC mm
ENERO	23.80	3.09	38.00	-17.29	0.00
FEBRERO	8.67	1.13	-22.00	29.54	0.00
MARZO	9.67	1.26	-29.00	37.42	0.00
ABRIL	13.50	1.76	-25.00	36.75	0.00
MAYO	72.77	9.46	-3.00	66.31	0.00
JUNIO	135.38	23.01	46.00	66.77	-0.40
JULIO	202.66	34.45	42.00	59.03	67.17
AGOSTO	128.11	21.78	0.00	58.59	47.74
SEPTIEMBRE	90.45	15.38	0.00	51.53	23.54
OCTUBRE	38.19	4.97	-12.00	45.23	0.00
NOVIEMBRE	18.66	2.43	-18.00	34.24	0.00
DICIEMBRE	9.08	1.18	-17.00	24.90	0.00

**FIGURA 4.3
BALANCE DE AGUA**



de la tabla anterior se desprende que:

PERC = 138.05 mm/año

De acuerdo con los cálculos efectuados en el punto anterior, se concluye que se tendrá una generación de lixiviados de **138.05 mm por año**, por efecto de la percolación.

Es importante señalar, que no se consideró la influencia que tiene la biodegradación biológica de los residuos, debido a que este valor es muy pequeño.

4.3 CONTROL DE LIXIVIADOS.

Los principios de ingeniería utilizados en el diseño de rellenos sanitarios han progresado rápidamente entre los últimos 10 y 15 años. Inicialmente éstos eran diseñados, pensando en que el ambiente natural atenuaría los efectos del lixiviado generado durante la descomposición de los residuos, mientras que en la actualidad los criterios utilizados para la disposición final, enfatizan en la contención de los residuos y la colección y tratamiento de los lixiviados. Para la primer parte se emplean sistemas de impermeabilización y para la segunda sistemas de colección de lixiviados.

La contaminación del agua se transforma en una preocupación, principalmente cuando se colocan los residuos sólidos cerca de los cuerpos de agua superficial o subterránea. Dándose en la mayoría de los casos un flujo libre de líquido desde los estratos de residuos hasta los cuerpos de agua circundantes.

Los movimientos del lixiviado dentro de los estratos del subsuelo, frecuentemente es detectado mediante pozos de Monitoreo, o si la situación es más crítica, cuando una fuente de abastecimiento de agua potable presenta contaminación.

Los factores que influyen en la generación de lixiviados e indirectamente en el potencial deterioro de los recursos acuíferos que se encuentran cerca de un relleno sanitario son el clima, la topografía, la existencia y espesor de material de cubierta, el procedimiento operativo del relleno, el tipo de materiales y desechos depositados en el relleno y la existencia de vegetación sobre el material de cubierta.

El control de los lixiviados, tiene implicaciones puramente ambientales y puede realizarse de diferentes formas, las cuales sin embargo, pueden clasificarse en dos grupos básicos: control de volúmenes y control de sus características.

El control de los volúmenes de lixiviado a generarse, así como el manejo adecuado de los volúmenes generados son **actividades prioritarias** en la operación de un relleno sanitario ya que constituyen la forma menos costosa para reducir o eliminar la migración de contaminantes hacia fuera del sitio.

Las características tanto **fisicoquímicas** como **microbiológicas** de los lixiviados dependen del tipo de residuos depositados y de las condiciones climatológicas imperantes en el sitio, así como de la interacción entre ambos. Por lo que las características del lixiviado resultante pueden ser controladas mediante la restricción del tipo de residuos que se reciben y depositan en el sitio de interés, lo que implica la necesidad adicional de implementar **sistemas de control que permitan detectar y rechazar residuos industriales y hospitalarios peligrosos** durante las etapas de operación.

Por estas razones se considera necesario establecer sistemas para el control de lixiviados, que nos permitan su captación y conducción hacia las áreas destinadas a su almacenamiento, para su posterior recirculación, además de impermeabilizar la base del relleno, lo que impedirá que los líquidos percolados que se formen dentro de los estratos de residuos depositados en las áreas de relleno, se infiltren al subsuelo.

4.3.1 DRENAJE Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS.

De forma estricta se puede decir que los elementos de un sistema de control de lixiviados son la cobertura del relleno, la infraestructura para el control de las aguas superficiales, la impermeabilización del relleno, los sistemas de colección de lixiviados, los sistemas de detección de lixiviados y finalmente los sistemas de tratamiento y disposición final de los lixiviados. Sin embargo en esta parte nos enfocaremos exclusivamente al diseño de los sistemas de colección de lixiviados, ya que algunos de los elementos mencionados anteriormente se desarrollan en otros apartados de este trabajo.

Un sistema de colección de lixiviados se compone de una red de tubos perforados y cárcamos. Estos sistemas son diseñados para dirigir el lixiviado a uno o varios puntos de almacenamiento, desde donde puede ser enviado a algún sistema de tratamiento. Los sistemas de colección de lixiviados que más comúnmente se utilizan son, los sistemas de drenaje interno, los sistemas perimetrales y el sistema de colección en la base del relleno.

En la preparación del terreno se instalarán los sistemas para control de lixiviados de la siguiente manera

En el socavón suroeste

Se excavarán dos zanjas longitudinales de 200 m cada una, 0.40 m de ancho y 0.40 m de profundidad, una al pie del talud y la otra en el extremo opuesto, colocándose dentro de cada una de ellas un ducto de PVC hidráulico de 6" de diámetro; los cuales conducirán los lixiviados aguas abajo del socavón, para ser captados en un cárcamo impermeabilizado con geosintéticos de 2.0 m de longitud por 2.0 m de ancho y 2.0 m de profundidad, ubicado en el nivel más bajo que corresponde al 951.5. **VER PLANO DE PREPARACIÓN DEL TERRENO PT** en el anexo B. En dicho cárcamo los lixiviados serán bombeados para recircularse, es decir se regresarán a las celdas y posteriormente al cárcamo. Antes de tenderse los ductos, serán perforados cada uno parcialmente, con el fin de que una cara (la perforada) sirva para captación y la otra como canal de conducción. En este sentido, se tiene previsto el bombeo de lixiviados de la base del relleno a un estanque para su evaporación y en su caso para su recirculación al mismo relleno.

Cada línea de drenaje será un ducto de **polietileno de alta densidad de 6" de diámetro y con ranuras en su parte inferior**, por donde se filtrarán los lixiviados y serán conducidos hasta el cárcamo de colección, este ducto estará cubierto por una capa de material pétreo a lo largo del mismo, con el fin de que no pasen residuos al tubo y lo obstruyan.

Existirán dos cárcamos de captación, debido a su corta distancia de longitud, los cuales estarán ubicados en el nivel más bajo de cada uno, es decir uno en el nivel 951.5 socavón Suroeste y el otro en el nivel 964.5 del socavón Noreste.

Los lixiviados llegarán a estos cárcamos por gravedad, después se utilizará una bomba de succión de agua a una laguna para que se evapore o se alimenten pipas, las cuales esparcirán este líquido sobre los residuos sólidos (para su recirculación), sobre el material de cubierta (para mejorar su humedad), o sobre los caminos de acceso.

4.4 REQUERIMIENTOS DE IMPERMEABILIZACIÓN.

Impermeabilizar es **aislar** con algún material impermeable una región de terreno, con el fin de **evitar la filtración** de cualquier fluido (líquido o gaseoso), del interior de la región hacia el exterior y viceversa.

En sitios de **disposición final** los fluidos por manejar son los **lixiviados** y el **biogas**, estos son los productos finales que resultan de la descomposición de la materia orgánica contenida en los desechos sólidos confinados.

Se puede **impermeabilizar** el sitio con **materiales naturales o artificiales**, de los cuales en seguida se presentan algunos aspectos importantes.

4.4.1 IMPERMEABILIZACIÓN CON MATERIAL NATURAL.

Para llevar a cabo la correcta impermeabilización con material natural, es indispensable cumplir varios requisitos, tanto al seleccionar el material como al efectuar la colocación. Para la selección del material, existen dos opciones:

- Emplear un **material fino plástico** (como las arcillas de baja compresibilidad (CL) cuya permeabilidad debe ser menor a 10^{-7} cm/seg), y protegerse contra erosión y secado mediante **una capa** de al menos **0.20 m de grava-arena bien graduada**, que a la vez sirva para el drenaje del lixiviado.
- Emplear un **material** que combine en la medida de lo posible todas las propiedades deseables (como las **gravas arenarcillosas o las gravas arcillosas**). El contenido de arcilla debe ser suficientemente alto y uniforme.

Al colocar el material, se debe cuidar el **espesor** de la capa impermeable, el cual se recomienda sea **mayor a 0.50 m**, de tal manera que prevenga cualquier filtración al subsuelo por lo menos durante **50 años**.

Las **capas se compactan en espesores de 0.15 m**, utilizando equipo ligero como el tractor agrícola, pues los equipos tradicionales de compactación (rodillo liso o pata de cabra) suelen atascarse.

4.4.2 IMPERMEABILIZACIÓN CON MATERIAL ARTIFICIAL A BASE DE GEOSINTÉTICOS.

Los materiales geosintéticos más utilizados en las obras de ingeniería pueden funcionar para la separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección e impermeabilización de los suelos.

La familia de los geosintéticos está compuesta por **geotextiles, geomembranas, georedes, geocompuestos, etc.**

4.4.2 1 GEOTEXTILES

Son textiles de fibras sintéticas (generalmente de polipropileno o poliéster), porosas, tejidas o no tejidas y punzonadas, permiten una fácil circulación de agua y aire a través y a lo largo de sí mismas, pero con diferentes permeabilidades.

Por su textura rugosa, en algunos casos se utilizan para evitar el deslizamiento de las geomembranas cuando son colocadas sobre pendientes importantes.

No se recomienda soldar o cocer los tramos, ya que dicha **unión es susceptible a fallar** debido a la tensión provocada por los asentamientos de los desechos sólidos

cuando se biodegradan.

Por ello su colocación en una superficie horizontal, se debe efectuar juntando libremente los extremos de cada tramo.

Cuando la superficie es inclinada o vertical se puede fijar con algún anclaje mecánico.

4.4.2.2 GEOREDES.

Están formados por una red de plásticos con aberturas muy grandes, se utilizan para separar (ocasionalmente) y para reforzar (generalmente).

4.4.2.3 GEOMALLAS.

Están formados por un extrusión continua de costillas de polímeros, con ángulos agudos. Cuando estas costillas se encuentran separadas, se forman aberturas relativamente grandes, configurando una malla. Su principal función es la de drenaje.

4.4.2.4 GEOCOMPUESTOS.

Consisten en la combinación de dos o más geosintéticos:

- geotextil y geored,
- geored y geomembrana;
- geotextil, geored y geomembrana;
- o cualquier combinación de los anteriores; con tubos, cables de acero, anclas, etc.

Se utilizan para filtrar, drenar, proteger e **impermeabilizar**. Garantizan una superficie de trabajo plana, limpia y continua al cubrir irregularidades en la superficie del suelo.

4.4.2.5 GEOMEMBRANAS.

En los siguientes puntos se presentan algunos aspectos relevantes de este tipo de geosintéticos, ya que por su manejo y utilización son los que requieren mayor estudio.

• Generalidades:

Son materiales muy delgados en forma de sábanas de hule o de plástico. Están hechas a partir de resinas obtenidas como producto de una reacción química llamada polimerización, en el mercado se pueden encontrar membranas de Polietileno (PE), Polivinilo de cloruro (PVC), Polietileno clorinado (CPE), Hule

butilo, Neopreno, Hypalon, etc.

Son utilizados principalmente para impermeabilizar depósitos que contengan líquidos o sólidos.

La mayoría de las geomembranas son de color negro, debido al negro de humo que se le añade para combatir los defectos nocivos por los rayos ultravioleta del sol.

Estas pueden ser colocadas solas o en combinación con otros materiales ya sean naturales (como arena, arcilla, bentonita, etc.), o sintéticos (como georedes o geotextiles), con el fin de reforzarlas y protegerlas tanto de pinchaduras como de los esfuerzos por tensión.

De la misma forma las geomembranas han sido usadas verticalmente, forrando barreras interceptoras de flujo, haciendo las veces de pantallas impermeables.

• **Selección del tipo de geomembranas.**

La selección del tipo de geomembranas debe tomar en cuenta muchos factores, los cuales dependen de cada obra en particular. En la **CUADRO 4.1**, se presenta una lista de los principales criterios de selección en orden decreciente de importancia.

CUADRO 4.1
CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA REVESTIMIENTOS SINTÉTICOS

- ✓ Alta resistencia a la **tensión, flexibilidad y elongación** sin falla.
- ✓ Resistencia a la **abrasión, al punzonamiento y a los efectos de agua de desecho.**
- ✓ Buena resistencia al **intemperismo**; el fabricante garantiza **larga vida.**
- ✓ Inmunidad al ataque de **bacterias y hongos.**
- ✓ Densidad mayor que 1.
- ✓ Color: negro para resistir **rayos ultravioleta.**
- ✓ Espesor mínimo 20 mils. (0.4 mm.)
- ✓ Composición uniforme y ausencia de defectos físicos.
- ✓ Resistencia a **variaciones de temperatura y a condiciones ambientales.**
- ✓ Fácil reparación.
- ✓ Economía.

• **Instalación.**

Las geomembranas y los demás geosintéticos se adquieren en rollos. Su colocación sobre la superficie a impermeabilizar puede ser manual o mecánica.

Es muy importante el control de calidad en la instalación de las geomembranas, pues aún cuando se fabriquen y entreguen perfectas, pueden fallar debido a diversas razones: cualquier método de unión de la geomembrana en obra, es susceptible a error; terreno inestable; viento, clima y temperatura; la calidad de la mano obra en la colocación, está siempre sujeta al error humano; y la presencia de fuertes de pinchadura ya sea en el equipo de instalación o en la obra en sí.

• **Uniones.**

Las técnicas más comunes para las uniones en obra son las que se describen en los siguientes puntos:

Unión con adhesivos: Las dos superficies de geomembranas son traslapadas y unidas con un adhesivo químico o con cintas adhesivas.

Generalmente cuando se utilizan adhesivos se emplea un sistema de dos componentes químicos pero esto requiere una mezcla cuidadosa.

Esta forma de unión se aplica frecuentemente a las membranas de polietileno.

Unión con aire caliente: Consiste en aplicar aire o gas a una temperatura alta sobre las dos piezas de geomembranas, hasta que se unen, momento en el cual se aplica presión para crear una unión homogénea entre ambas. El tiempo y la presión deben controlarse cuidadosamente para evitar algún daño provocado por el calor.

Este método no puede aplicarse a membranas gruesas (por ejemplo de más de 1 mm).

Unión con solvente: El material de revestimiento es disuelto con un solvente, que ablanda y une las superficies del revestimiento. Esta técnica es usada tanto en planta como en la obra, en particular para membranas de P.V.C.

Unión con soldadura por extrusión o soldaduras de costuras dobles: Consiste en la inyección del mismo polímero entre las placas solapadas que son precalentadas con aire caliente. Dichas soldaduras deben tener un ancho mayor o igual a 0.04 m, las sendas de cada soldadura deben ser mayores o iguales a 0.07 m.

Esta forma de unión, crea dos zonas de costura para los paneles solapados, dejando un canal intermedio, utilizado para la prueba de presión de aire

Este método in-situ, es el más recomendable por obtener una costura homogénea.

● **Evaluación de las uniones**

La evaluación de la integridad de las uniones en obra por medio de pruebas no destructivas y destructivas, es parte del control de la instalación de las geomembranas en campo.

Las **pruebas no destructivas** se aplican a las uniones por extrusión o de costuras dobles, consisten en verificar el sellado de los empalmes, aplicando aire a presión dentro del canal que se forma en dicha unión, si después de cierto tiempo hay un decremento en tal presión (la cual se mide con un manómetro), se comprueba que hay fugas a lo largo de la unión y se procede a detectar y reparar tales anomalías. Dicha prueba sólo muestra la impermeabilidad de las costuras, lo cual no es suficiente para garantizar un buen control de calidad de la instalación.

Las **pruebas destructivas**, consisten en desprender tramos de costuras o uniones con el fin de analizarlos en laboratorio en donde además de verificar el sellado, se prueba la resistencia al corte y a la separación.

Ha pesar de realizar pruebas de campo para evaluar las uniones de los paneles de geomembranas, estas no han dejado de representar un problema. Cualquier falla, disminuye la funcionalidad de las geomembranas; por ello es recomendable que se realicen la mayor cantidad de uniones en planta donde se puede tener más control de calidad que en campo

4.4.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE IMPERMEABILIZACIÓN PARTICULAR PARA EL RELLENO SANITARIO DE GUANAJUATO, GTO.

La impermeabilización recomendada será utilizando material geosintético, geomembranas y geotextiles.

4.4.4 ÁREA DE COLOCACIÓN.

El proyecto de relleno sanitario en cuestión, está dividido en siete etapas.

Tanto los socavones como los caminos interiores serán impermeabilizados en su momento con Geomembrana tipo 60 mil, según especificaciones de proyecto. Asimismo se impermeabilizarán los dos tanques diseñados para el almacenamiento de los lixiviados que se generarán en todo el relleno sanitario.

En la **Tabla 4.12**, se presenta la cuantificación de dichos geosintéticos incluyendo traspapes, pérdidas y anclajes.

**TABLA 4.11
CANTIDADES TOTALES DE GEOMEMBRANA
Y GEOTEXTIL (M²)**

EJE	TOTAL	AREA	A. G.M.E.	
18	44.5	0	-	-
24	130.3	4,372	5,028	9,182
28	170.0	7,508	8,635	15,768
30	243.6	10,341	11,892	21,716
34	228.4	11,801	13,572	24,783
36	380.9	15,233	17,518	31,988
40	367.9	18,719	21,527	39,310
42	247.1	15,374	17,680	32,285
47	349.5	14,915	17,152	31,322
53	310.6	24,755	28,468	51,984
TOTAL	123,018	123,018	141,470	264,488

4.4.5 PROCEDIMIENTOS DE COLOCACIÓN.

4.4.5.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO.

Antes de la colocación de la Geomembrana, se realizarán movimientos de tierra, para compactar posteriormente la superficie de desplante al 95 % de la Prueba Proctor Modificada, esto con la finalidad de evitar pinchaduras o desgarramientos de la geomembrana, a causa de aristas punzo cortantes en el terreno natural. Esta capa de escarificado también se aplicará sobre la superficie de los taludes.

4.4.5.2 ANCLAJE.

El anclaje varía según se trate de la etapa de los socavones o las etapas de los taludes.

En los socavones el anclaje de la geomembrana se efectuará a través de una zanja perimetral en la parte superior de los taludes, aproximadamente a 1.00 m de distancia del hombro. Las dimensiones de la excavación para el anclaje son de 0.45 m. de ancho por 0.45 m. de profundidad, siendo necesario que los bordes de esta estén redondeados.

Una vez colocada la Geomembrana en la zanja se procederá a su relleno con material propio de la zona, compactándolo en capas de 20 cm al 80 % de la Prueba Proctor modificada.

4.4.5.3 TENDIDO DE LA GEOMEMBRANA.

Previo al tendido de la geomembrana se recomienda efectuar una revisión de las características de la superficie, con el objeto de asegurar que no existieran elementos que pudieran interferir en las funciones de la misma, tal como: objetos punzo cortantes, piedras, oquedades y abultamientos, posteriormente se procederá al tendido de una capa de geotextil, como refuerzo a la prevención del deterioro de la geomembrana por contacto directo con el suelo natural y sobre este se tenderá la geomembrana. Una vez tendida se evitará el paso de vehículos pesados o cualquier elemento que pudiera perforar o causar daño al material.

4.4.5.4 UNIÓN DE LA GEOMEMBRANA.

Una vez tendida la geomembrana sobre la superficie del terreno previamente preparado se deberá proceder a unir los paneles de polietileno de alta densidad por termofusión, llevando a cabo un control de calidad estricto para asegurar su efectiva unión.

4.4.5.5 COBERTURA DE PROTECCIÓN.

Una vez colocada la geomembrana se procederá a cubrirla con una geored de polietileno de alta densidad, sobre la que se colocará un geotextil, el cuál recibirá una capa de arena de 0.30 m, como medida de protección para evitar rupturas o desgarres debido al depósito de los residuos sólidos y a las maniobras en la operación del relleno sanitario. Adicionalmente se recomienda la colocación de una primera capa de "*basura controlada*", es decir residuos francamente libres de materiales punzo cortantes, preferentemente flexibles y con tamaños promedio de partícula de entre 0.05 y 0.10 m (p. ej. llanta molida).

4.5 BARRERAS DE AMORTIGUAMIENTO Y PROTECCIÓN.

Debido a la existencia de la carretera Guanajuato- Juventino Rosas y de algunas viviendas aisladas, se ha establecido como límites del relleno sanitario, una distancia de 50 m a partir del trazo de la poligonal, excepto el lado Sur adyacente a la carretera, donde se tomaron además de los 50m, 20m por derecho de vía, de modo que la zona de amortiguamiento quede constituida por un área poligonal de aproximadamente 9 Ha, que rodea todo el predio.

En esta zona no se dispondrán residuos, sin embargo en el lado Este, se construirá el canal de aguas pluviales, así como la construcción de los pozos de monitoreo de biogas y agua.

El área definida como zona de amortiguamiento deberá desarrollarse antes de iniciar la operación del relleno, a fin de controlar la dispersión de polvos, además de atenuar la acción del viento.

La zona de amortiguamiento constituye en sí misma un espacio de gran utilidad desde el punto de vista ambiental, por este motivo, es fundamental desarrollarla en el relleno sanitario propuesto.

La barrera de amortiguamiento, se colocará a 20 o 25 m del canal y estará conformada por 6 hileras de árboles.

4.6 MONITOREO AMBIENTAL.

En este apartado se presentan los lineamientos generales para el monitoreo ambiental que se desarrollará durante y después de las operaciones del relleno sanitario. Esta nueva actividad, juega un papel importante para prevenir y controlar la contaminación del ambiente y minimizar el riesgo a la salud de la población, además de evaluar el buen funcionamiento del propio relleno.

El monitoreo ambiental en los rellenos sanitarios es un concepto nuevo dentro del Área de los residuos sólidos, que tiene una amplia aplicación en la disposición final de los residuos sólidos.

Los objetivos básicos del monitoreo ambiental son:

- Determinar los procesos y fenómenos que se presenten.
- Validar y/o calibrar modelos ambientales.
- Hacer predicciones en el corto, mediano y largo plazo.
- Vigilar y controlar los impactos negativos al ambiente.
- Optimizar los sistemas operativos y de control ambiental.
- Evitar riesgos a operarios y a la población circundante.

El monitoreo ambiental, se puede definir como la actividad que consiste en efectuar una serie de observaciones, mediciones y evaluaciones de carácter continuo, con el objeto de identificar los impactos y riesgos hacia el ambiente y la salud de la población.

Para el caso del relleno sanitario, el monitoreo ambiental se orientara a observar, medir y evaluar los siguientes factores:

- Asentamientos diferenciales y calidad de la cobertura final.
- Estabilidad de taludes
- Calidad de biogas
- Características de lixiviados
- Calidad del agua subterránea.
- Características de los residuos sólidos.

4.6.1 MONITOREO DE ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES Y CONDICIONES DE LA CUBIERTA FINAL.

Esta actividad se desarrollará, una vez que se tenga el área terminada y que ya no se vaya a utilizar en un futuro.

La importancia de llevar a cabo mediciones de los asentamientos, es debido a que con los asentamientos diferenciales que se presentarán con respecto al tiempo, mostrarán las tendencias del movimiento que tiene el relleno sanitario, asimismo, se puede valorar el comportamiento de terrazas o plataformas formadas con los residuos sólidos depositados, pudiéndose identificar alguna futura falla (deslizamiento) en la estabilidad de las mismas. O bien si existirán depresiones que acumulen agua de lluvia sobre la superficie del relleno, favoreciendo la infiltración de estas aguas hacia los residuos sólidos confinados, la cual influye directamente en la generación de lixiviados.

Por otro lado, la revisión periódica de la cobertura final, tiene la finalidad de identificar grietas y áreas descubiertas debido a los asentamientos diferenciales y por la erosión respectivamente. La presencia del deterioro de la cubierta también representa un problema de infiltración de agua y generación de lixiviados, además de propiciar la migración vertical del biogas que se genera como parte de la biodegradación de la parte orgánica contenida en los residuos sólidos.

4.6.1.1 PROCEDIMIENTO PARA REVISAR ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.

Para conocer el comportamiento y evolución de los asentamientos diferenciales, se tomará en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Se construirán mojoneras con cemento a cada 100 m. y se asignará un número de identificación.
2. Se efectuará la nivelación inicial, registrando esta información, con la fecha y niveles.
3. Las nivelaciones se efectuarán cada 15 días durante los primeros 3 meses y posteriormente se hará la nivelación cada mes y medio. Dependiendo de la variación de las lecturas, se tomará la decisión de efectuar dichas mediciones en periodos más largos.

4.6.2 MONITOREO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Sujeto a la fuerza constante de la gravedad, los taludes formados en el relleno sanitario tienden a moverse hacia abajo. Este movimiento encuentra resistencia por la presión pasiva del suelo, la fricción, la cohesión, así como los elementos superficiales, como la vegetación y los muros. Cuando las fuerzas que tienden a causar el movimiento exceden a las que lo resisten, ocurre un deslizamiento.

Si bien es cierto, que cuando se construye un talud se efectúa un análisis de estabilidad, resulta que las condiciones en un relleno sanitario, son muy variables y heterogéneas, tales como los cambios de peso de los residuos sólidos y la cubierta, debido a la humedad, a los cambios en la cohesión de los residuos sólidos por la biodegradación y el cambio del ángulo de reposo de los taludes por los asentamientos diferenciales, por citar a los más importantes.

El problema de los deslizamientos de los terraplenes o plataformas, por causa de una falla en su estabilidad, puede provocar los siguientes problemas:

1. El afloramiento de los residuos sólidos, propiciando problemas de imagen y contaminación por los olores desagradables, así como la entrada de agua a los estratos de residuos sólidos y la proliferación de fauna nociva.

2. Los deslizamientos pueden ocasionar accidentes a los operarios o a los choferes de los vehículos recolectores, además de los costos asociados con pérdidas humanas y materiales, así como la restauración de los mismos.

4.6.2.1 PROCEDIMIENTOS DE MONITOREO.

El sistema de monitoreo para identificar que se presentará un deslizamiento, se recomienda el siguiente sistema:

1. Los sistemas de monitoreo se ubicarán a cada 50 m y se llevará la nivelación por trimestre en los primeros dos años y posteriormente, se efectuará cada semestre.

2 El sistema estará integrado por 3 mojoneras Distribuida en la superficie de la posible falla

4.6.3 CALIDAD DEL BIOGAS.

La producción del biogas que se producirá por la biodegradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos, deberá monitorearse frecuentemente, debido a que cuando el gas metano contenido en el biogas alcanza una proporción del 5 al 15 % en el aire, puede ocasionar una explosión o una combustión.

Por otra parte, de acuerdo con análisis efectuados en nuestro país y en el extranjero, existe a nivel traza una gran gama de compuestos orgánicos tóxicos que asociados a efectos carcinogénicos cuando se tiene una constante exposición.

Otro efecto, menos tangible pero de gran trascendencia, es asociación del metano con el efecto de invernadero que contribuye a los cambios de temperatura a nivel mundial.

4.6.3.1 PROCEDIMIENTO DE MONITOREO.

Se fomentará venteo y control del biogas de tal forma que los operarios tengan el mínimo contacto con este elemento.

Para el monitoreo del biogas será necesario contar con equipo de medición de biogas, tal como, un explosímetro, un medidor de gases de combustión (Bióxido de carbono, oxígeno y límite superior de explosividad), medidor de ácido sulfhídrico.

La medición se efectuará en las áreas aledañas del relleno sanitario y en las instalaciones del mismo, tales como, cárcamo de lixiviados, área de bombeo de lixiviados y en cualquier registro que potencialmente pudiera acumularse el biogas.

Quando se detecte, una concentración de por lo menos de 25 %, se tomarán medidas de seguridad y se evitará que haya alguna fuente de ignición al punto en donde se tiene detectado el problema.

Quando se requiera efectuar algún trabajo en áreas cerradas en el relleno sanitario, antes de entrar a dicho sitio se verificará la deficiencia de oxígeno.

Esta actividad, se efectuará cada 15 días. Además será conveniente tener un registro del biogas en algunos pozos de venteo, a fin de tener la historia y evolución del biogas en el sitio. Esta información será de utilidad si se tiene algún proyecto para el aprovechamiento del mismo.

4.6.4 CARACTERÍSTICAS DE LIXIVIADOS.

La generación de lixiviados es uno de los problemas más graves de contaminación ambiental que puede provocar cualquier sitio de disposición final. Principalmente, cuando no se cuenta con un sistema de control de lixiviados y de impermeabilización.

Los principales problemas están asociados con el deterioro de la calidad del agua subterránea, la cual en las condiciones de nuestro país constituye una de las fuentes más ricas de abastecimiento de agua potable.

4.6.4.1 PROCEDIMIENTO DE MONITOREO.

Se tomarán muestras de lixiviados del sistema de almacenamiento por lo menos 3 muestras por mes, durante los primeros cuatro años. Con la información generada, será posible conocer el potencial del contaminante y como evolucionan las características fisicoquímicas y biológicas

4.6.5 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Uno de los riesgos potenciales de mayor magnitud que se pueden derivar de un relleno sanitario, es la fuga y migración de lixiviados hacia los cuerpos de agua subterráneos.

4.6.5.1 PROCEDIMIENTO DE MONITOREO.

Por lo que es indispensable contar con un sistema de monitoreo de la calidad del agua subterránea, el cual consistirá en la construcción de pozos de monitoreo aguas arriba y aguas abajo.

La ubicación de los sistemas de monitoreo, conforme a la dirección del flujo, ayudará a detectar la posible alteración de la calidad del agua, en el caso de que el lixiviado migrará fuera del relleno sanitario, simplemente se compararán las

características físico-químicas del agua de los puntos de muestreo aguas arriba con los de aguas abajo.

Para la vigilancia de la calidad del agua del acuífero, se deberá implantar un programa de monitoreo tomando en consideración lo siguiente:

a).- Parámetros por medir.

Para la implantación del monitoreo, se deberá considerar como mínimo los siguientes parámetros:

- 1.- Amoniaco (como n).
- 2.- Bicarbonato (HCO_3).
- 3.- Calcio.
- 4.- Cloruros.
- 5.- Hierro.
- 6.- Magnesio
- 7.- Manganeso (disuelto).
- 8.- Nitrato (como N).
- 9.- Potasio.
- 10.- Sodio.
- 11.- Sulfatos (SO_4)
- 12.- DQO.
- 13.- Sólidos Totales Disueltos.
- 14.- Carbono Orgánico Total.
- 15.- pH.
- 16.- Arsénico.
- 17.- Bario.
- 18.- Cadmio.
- 19.- Cromo.
- 20.- Cianuro.
- 21.- Plomo.
- 22.- Mercurio.
- 23.- Selenio.
- 24.- Plata
- 25.- Compuestos Orgánicos.

En cuanto a la selección de los compuestos orgánicos, se analizarán no más de 30 compuestos, dependiendo del riesgo que representen para la salud humana.

b).- Frecuencia de muestreo.

La frecuencia de muestreo se efectuará por lo menos dos veces al año como mínimo o en periodos más cortos dependiendo de las exigencias por la propia

institución.

4.6.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.

Con el propósito de generar parámetros para el diseño futuro del aprovechamiento del biogas, será conveniente llevar periódicamente un muestreo representativo de los residuos sólidos que se depositan en el relleno sanitario. Este muestreo puede ser dos veces por año y se realizarán los siguientes análisis:

- Materia Orgánica.
- Cenizas
- Nitrogeno
- Azufre
- Humedad

CAPÍTULO 5

INGENIERÍA APLICADA

5.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

Como ya se mencionó en el capítulo 3, para construir el relleno, es necesario efectuar la preparación del terreno, las actividades principales para realizar ésta son:

- a) construcción del acceso externo;
- b) preparación de los caminos internos temporales;
- c) desmonte;
- d) despalme;
- e) nivelación del terreno natural del sitio;
- f) impermeabilización del terreno;
- g) construcción de caminos permanentes;
- h) tendido de la red de drenaje para lixiviados;
- i) preparación de chimeneas para el desalojo del biogas, pudiendo llevarse a cabo al alcanzar los niveles finales de disposición, a través de su perforación desde el exterior.

Estas actividades se realizarán considerando las etapas de desarrollo del relleno sanitario.

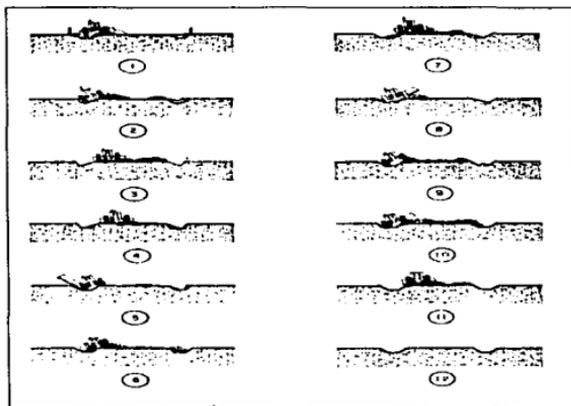
5.1.1 ACCESO EXTERNO AL SITIO.

La construcción de los caminos de acceso siguen el mismo esquema básico que a continuación se describe (Figura 5.1)

- Plan de obra: Se marcan con estacas los trazos de las zanjas. La motoniveladora hace un primer corte, inicialmente en la zanja izquierda y después en la derecha
- La motoniveladora hace un segundo corte hasta llegar a la profundidad deseada de la zanja. Dicho corte se realiza en ambas zanjas.
- La motoniveladora esparce el material (tierra).
- Terminación del primer esparcimiento.
- La motoniveladora corta el talud exterior de la zanja tanto izquierda como derecha
- El material (tierra) de los taludes exteriores es movido hacia la capa del camino.
- La tierra es distribuida sobre la capa del camino.

- La motoniveladora corta los taludes interiores de la zanja.
- Con la hoja en la zanja, la motoniveladora corta el fondo de las mismas.
- El material del fondo se mueve hacia el camino.
- El material se esparce procurando dar una pendiente a los lados del camino.
- El camino y las zanjas quedan como lo indicado en el plan de la obra.

FIGURA 5.1
CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS.



Como se ha mencionado anteriormente, el terreno seleccionado es adyacente a la carretera Guanajuato-Juventino Rosas, por ello su acceso será por ésta. Sin embargo, se presenta un inconveniente, la llegada de los vehículos es por el carril de sentido oeste-este y el terreno se encuentra colindante al sentido contrario.

Para remediar el problema es necesario que se construya lateralmente al carril de llegada de los vehículos un **camino de desaceleración**. Las particularidades de este camino son:

- longitud de 300 m, a partir de la entrada del sitio;

- ancho de 7 metros; y
- pendiente de 0%.

El acceso se efectuará de la siguiente manera: el vehículo se desviará, disminuirá su velocidad y realizará las maniobras necesarias para entrar al relleno sanitario, esperando para cruzar la carretera y arribar al sitio.

Además, se colocarán **señales preventivas** 0.5 km antes del acceso, en los dos carriles, indicando "**velocidad máxima 30 km/hr**", "**entrada y salida de vehículos**" y "**camino de acceso al relleno sanitario.**"

5.1.2 CAMINOS INTERNOS TEMPORALES

La preparación del sitio se iniciará en las dos depresiones ubicadas una en la zona Noreste y la otra en la Suroeste dentro del sitio, conformándolas en socavones geométricos, para ello se construirá un **camino ondulado descendente de 541 m de longitud, 15 m de ancho y pendiente del 10%**; este partirá desde el nivel 1002.5 que corresponde al del acceso principal, hasta el 951.5 que es el punto más bajo de la depresión Suroeste.

Para ello se desmontará, trazará y nivelará dicho camino, haciendo importantes movimientos de tierras, siendo los cortes mínimos de 4 m y máximos de 13 m, así como rellenos de 1.5 a 3 m, compactando finalmente con un rodillo liso o rodillo pata de cabra

El camino servirá de acceso para los dos socavones, llegando al **socavón Suroeste** como ya se mencionó, con la cota **951.5**, la cual corresponde al nivel de terreno natural, para ello será necesario invadir parte de la zona de amortiguamiento. **Ver Plano PT de Preparación del Terreno** en el anexo B.

Por otro lado, el camino de acceso al **socavón Noreste**, llegará al nivel **964.5**, es decir a 12 m sobre el nivel de terreno, por lo que será necesario rellenar hasta alcanzar el nivel de llegada

5.1.3 DESMONTE

Desmante consiste en eliminar la vegetación existente en el área destinada para la operación del relleno sanitario, y la zona para la construcción de obras complementarias (caminos de acceso, oficinas, almacenes, talleres, etc) y en el área seleccionada para la obtención del material de cobertura.

El propósito de realizar el desmante es el de facilitar la adecuación del sitio, la realización de obras complementarias y, además, proporcionar una buena visibilidad de la zona de trabajo. Las actividades en el despalme son:

- Tala o corte de árboles y arbustos.
- Roza de la maleza, hierba, zacate y residuos de las siembras.
- Desenraice o extracción de troncos y tocones con raíces.
- Limpieza y retiro del material producto de esta actividad.

Para el caso del predio de este proyecto se recomienda realizar el desmonte por etapas con la finalidad de no favorecer la generación de tolvaneras, iniciando por las áreas destinadas a oficinas, caminos de acceso al sitio, a la primera etapa, y al área que ocupará el banco de material. En este caso se despalmará en monte alto, medio y bajo que incluye principalmente pasto arbusto y árboles (ver figuras 5.2 y 5.3).

Para despalmar se propone utilizar un tractor montado sobre orugas con hoja topadora y una cuadrilla de 6 personas para actividades no realizables para los tractores, como el desrrame de árboles muy altos.

FIGURA 5.2
DESMONTE BAJO CON HOJA TOPADORA.

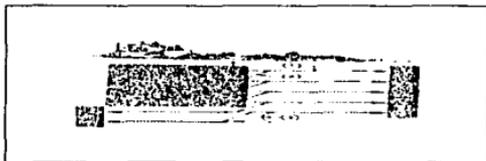


FIGURA 5.3
DESMONTE BAJO CON HOJA LIMPIADORA.



5.1.4 DESPALME:

Es quitar aproximadamente 0.60 m de espesor del terreno, con el fin de quitar raíces y material orgánico que en un futuro pudiera afectar a la capa impermeable, sea esta última natural o sintética. El despalme se realizará durante el movimiento de tierras necesario para la nivelación del terreno.

5.1.5 NIVELACIÓN DEL TERRENO.

Los materiales en la zona destinada para el relleno sanitario se puede clasificar como de **tipo B**. Esto con base en la clasificación de materiales y en los estudios geológicos y de mecánica de suelos, realizados.

Debido a la topografía escarpada del terreno, inicialmente se realizarán Operaciones en Pendiente Descendente.

Cuando sea posible siempre se moverá la tierra hacia abajo, ya que se requiere menor energía y el rendimiento de la maquinaria será mayor (**FIGURA 5.4**). El movimiento de tierra podrá realizarse de dos maneras.

- En el caso de que la pendiente del terreno deba ser excavada, el operador colocará una cuchilla de la hoja a una profundidad determinada para cortar tierra. Durante el transporte la carga se voltea continuamente.
- En el caso de que se deba mover la tierra sin excavar, el material almacenado en ese sitio se arrastrará con la cuchilla al ras del suelo. En este caso, la carga no voltea y se encuentra en una posición "flotante".

FIGURA 5.4
MOVIMIENTO DE TIERRAS EN PENDIENTE HACIA ABAJO.



Debido a que el sitio estará conformado por taludes principalmente, y el costo es alto por la área tan grande por preparar, ésta operación, así como la disposición se realizará por etapas a cada 15 m de altura.

La preparación de los socavones incluye las siguientes actividades:

- Desmante.
- Despalmes.
- Movimiento de Tierras.
- Compactación del piso.
- Impermeabilización con material natural o sintético.
- Instalación de red de drenaje.
- Instalación de pozos de biogas.

El nivel de desplante se **inicia** en la cota **951.5**, haciéndose cortes de este punto hacia arriba, para conformar el piso de los socavones, los cuales se realizaron tratando de dar pendientes mínimas para evitar posibles deslizamientos. Para dichos cortes se tomó en cuenta entre otros factores, el nivel de aguas freáticas el cual está a 40 m de profundidad, el suelo está compuesto en los primeros **40 m**, por estratos de **limos arcillosos orgánicos, tobas limo arenosas, tobas arcillosas** y los siguientes por derrames ígneos extrusivos fracturados y derrames ígneos extrusivos medianamente fracturados.

Gran parte del material producto de las excavaciones se puede utilizar como material de cubierta. Sin embargo, por estabilidad de taludes se proyectó minimizando los cortes.

De acuerdo a los criterios mencionados en los párrafos anteriores, se generarán principalmente cortes y algunos "pequeños" terraplenes. Al calcular los movimientos de tierra totales para realizar la preparación del terreno se tienen los siguientes resultados:

**TABLA 5.1
CÁLCULO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA.**

EJE T.	A. CORTE m ²	A. TERRA m ²	A. TOTAL m ²	VOLUMEN m ³
18	107.50	-	107.50	
24	241.00	-	241.00	8,713
28	409.00	-	409.00	16,250
30	464.00	-	464.00	21,825
34	998.50	-	998.50	36,563
36	2,345.00	-	2,345.00	83,588
40	1,619.00	-	1,619.00	99,100
42	2,069.00	121.00	1,948.00	89,175
47	715.50	8.50	707.00	66,375
53	406.50	520.00	(113.50)	22,256
			Σ	443,844

Gran parte de este material obtenido de los cortes puede utilizarse como material de cubierta. Cuando se excave para preparar cada etapa el material aprovechable se almacenará en la zona sur del sitio. Y se hará uso de él cuando así se necesite.

5.1.6 PREPARACIÓN DEL SOCAVÓN SUROESTE.

- **Desmante y Despalme:** Estas actividades se llevarán a cabo desmontando y despalmando el piso y los primeros 15 m. Talud 1.6:1, sobre todo el socavón.
- **Movimiento de Tierras:** Se descenderá por el camino ya construido, iniciándose el movimiento de tierras de abajo hacia arriba, utilizando para ello un tractor de orugas con hoja topadora (bulldozer) efectuándose cortes en los primeros 100 m de longitud, para formar secciones trapeciales con taludes que van del 4:1, 1.6:1 y 3:1; los anchos variarán de 20 m a 50 m aproximadamente; continuando con rellenos en los siguientes 50 m y finalmente con cortes en los 57 m subsiguientes. En la sección del eje transversal 36, correspondiente a dicho socavón, se construirá un escalón de 10 m de altura con el fin de descender a un nivel de piso adecuado para dar la pendiente mínima 0% y máxima del 10 %
- En la zona más baja se construirá un muro de retención de gaviones de 100 m de largo y 5.0 m de altura; para ello se utilizará la roca extraída de los cortes. En el apartado 5.4.8 se muestran los detalles de dicho muro.

De esta forma se tendrá finalmente un socavón de 207 m de longitud.

Respecto al material de corte, se acarreará a 500 m, hasta la zona asignada para almacenaje de éste, la cual estará ubicada en la parte Sur del sitio.

- **Compactación del Piso:** De acuerdo a la geofísica, el tipo de suelo encontrado en esta zona, corresponde a material aluvial y toba arenosa, por lo que la compactación del piso se realizará primeramente con el mismo tractor de orugas dando 4 pasadas, afinando con un rodillo liso para alcanzar aproximadamente el 90% respecto a la prueba Proctor estándar, dando entre 8 y 10 pasadas; para ello se tendrá una pipa de agua para humedecer el terreno según se requiera.
- **Impermeabilización:** La recomendada será utilizando material geosintético es decir geomembranas y geotextiles. Las especificaciones de dichos materiales y el procedimiento para llevar a cabo esta actividad se presentan en el **capítulo 4**.
- **Drenaje para lixiviados:** se excavarán dos zanjas longitudinales de 200 m cada una, 0.40 m de ancho y 0.40 m de profundidad, una al pie del talud y la otra en el extremo opuesto, colocando dentro de cada una de ellas un ducto de PVC hidráulico de 6" de diámetro; los cuales conducirán los lixiviados aguas abajo del socavón, para ser captados en un cárcamo impermeabilizado con geosintéticos de 2.0 m de longitud por 2.0 m de ancho y 2.0 m de profundidad, ubicado en el nivel más bajo que corresponde al 951.5. **VER PLANO PT.** En dicho cárcamo los lixiviados serán bombeados para recircularse, es decir se regresarán a las celdas y posteriormente al cárcamo. Antes de tenderse los ductos, serán perforados cada uno parcialmente, con el fin de que una cara (la perforada) sirva para captación y la otra como canal de conducción.

5.1.7. SOCAVÓN NORESTE.

- **Desmante y Despalme:** Se puede llevar a cabo al mismo tiempo que para el socavón Suroeste ya que se tiene acceso por el mismo camino ya construido.
- **Movimiento de Tierras:** Se descenderá por dicho camino, iniciándose el movimiento de tierras de abajo hacia arriba, utilizando para ello un tractor de orugas con hoja topadora (bulldozer) efectuando cortes en los primeros 200 m de longitud, para formar secciones trapeziales con taludes que varían del 1.6:1 y 3:1; los anchos serán de 50 m aproximadamente, continuando con rellenos en los siguientes 50 m.

La pendiente natural de esta depresión va de Sur a Norte, la cual es de más del 20 %; por ello se pretende disminuir los primeros 200 m al 10 %, y construir una plataforma en los siguientes 50 m abajo; en dicha plataforma se construirá un **muro de retención de gaviones de 50 m de longitud y 5.0 m de altura**. Se propone

utilizar la roca extraída en los cortes para la construcción de dicho muro. Ver especificaciones del muro en el apartado 5.4.8.

De esta forma se tendrá finalmente un socavón de 260 m de longitud aproximadamente.

- **Compactación del Piso:** La compactación del piso se realizará de abajo hacia arriba, primero con el mismo tractor de orugas dando entre 4 a 6 pasadas y finalmente afinando con un rodillo liso para alcanzar entre el 90% respecto a la prueba Proctor Estandar.
- **Impermeabilización:** De la misma forma que en el socavón Suroeste, la impermeabilización recomendada será a través de material geosintético, es decir utilizando geomembranas y geotextiles. Esta actividad se realizará por etapas igual que el socavón Noreste, preparando los taludes una vez alcanzados los primeros 15 m de espesor de desechos sólidos, se impermeabilizan los siguientes 15 m de talud y así sucesivamente hasta alcanzar el máximo nivel de terreno.

De acuerdo con las características del terreno, y a la necesidad del aprovechamiento óptimo del mismo, se plantea el desarrollo de una base conformada por caminos temporales, la cual estará integrada de modo equilibrado con la topografía actual, ver **PLANO PT**.

5.1.8 PREPARACIÓN DEL ÁREA SUPERFICIAL.

El llenado de los socavones alcanzará el nivel superficial de 1002.5 que corresponde al nivel del acceso principal; en este nivel se tendrá una plataforma de 32,633 41 m² en donde se tenderá una línea de 310 m de tubo PVC para el drenaje del lixiviado, los cuales serán conducidos a través del talud hacia el cárcamo ubicado en el nivel 964.5 Dicho tubo se instalará dentro de una zanja previamente excavada. Además del drenaje, se continuarán preparando los taludes, desmontando, cortando con pendientes que van del 1.6:1 a 3:1, e impermeabilizando los siguientes 15 m de la misma manera como se viene haciendo es decir colocando una capa de geotextil, otra de geomembrana y otra de geotextil, dichos materiales se anclarán en zanjas de 0.50 m de ancho por 0.50 m de altura excavadas en la corona y en el pie del talud.

5.2. DISEÑO DE CAMINOS

Inicialmente se diseño un camino ondulado que baja de la entrada a los socavones donde se inicia la operación del relleno sanitario. El diseño se realizó considerando una pendiente máxima de 10 % y 40" de grado máximo de curvatura. Aunque irá

cambiando conforme al desarrollo del relleno sanitario, pues se dispondrán residuos sobre él, se seguirá usando como acceso en la operación hasta que se llegue a la etapa 4, es decir un nivel de 1002.5 m. A partir de entonces se desarrollarán caminos para cada etapa, ascendiendo para llegar a la parte alta del terreno. Una porción de estos caminos se convertirán en partes de los permanentes y finales. **VER PLANOS DE ETAPA 4 Y FINAL.**

5.3 DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL Y DE LIXIVIADOS

5.3.1 DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL

El terreno donde se construirá el relleno sanitario para el Municipio de Guanajuato, Gto. No tiene área tributaria, sin embargo se considerará área tributaria la que esta arriba de la línea que delimita la zona de amortiguamiento, para así evitar cualquier problema que pudiera presentarse por lluvia en esa zona y afectará la operación o incrementará la generación de lixiviados. Es por ello que se construirá un **canal perimetral a la zona de operación**, para que el agua de la lluvia que se precipite cerca de la zona, pueda ser conducida por este, sin que llegue a entrar a la zona del relleno y se provoque la perturbación de la operación, además de que es indispensable evitar al máximo el contacto del agua con los residuos sólidos, por la generación de líquidos percolados.

Además, de construir el dren perimetral, los caminos permanentes que se tienen planeados para el desarrollo del relleno sanitario, deberán de contar con sus canales de conducción de aguas pluviales y su desalojo fuera de las áreas de trabajo.

Para el diseño del canal se utilizó la fórmula del método racional americano, para obtener el gasto:

$$Q = 0.00278 C i A$$

$$i = 32 / T^{0.83}$$

$$T = t_c = 1.8 (1.1 - C)(3.28D)^{1/2} / (s)^{1/3}$$

Sustituyendo valores

$$T = 1.8(1.1-0.20)(3.28*520)^{1/2} / (20)^{1/3} = 24.65 \text{ min.}$$

$$i = 32 / (24.65/60)^{0.83} = 66.96 \text{ mm/hr}$$

Entonces el gasto será:

$$Q = 0.00278(0.20)^{2/3}(66.96)^{1/2}(2.1) = 0.078 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se considera un canal de sección rectangular revestido de concreto por lo cual se utilizarán las siguientes fórmulas para su diseño:

$$V = (R^{2/3} S^{1/2}) / n \quad \dots (1)$$

$$Q = V \cdot A \quad \dots (2)$$

$$A = 2d^2 \quad \dots (3)$$

$$b = 2d \quad \dots (4)$$

$$P = 4d \quad \dots (5)$$

$$R = d/2 \quad \dots (6)$$

De la ecuación (2) $A = Q / V \quad \dots (7)$

Sustituyendo las ecuaciones (1), (3) y (6) en la ecuación (7), se tiene que:

$$\begin{aligned} 2d^2 &= Q / ((R^{2/3} S^{1/2}) / n) \\ &= Q n / (R^{2/3} S^{1/2}) \\ &= Q n / ((d/2)^{2/3} \cdot S^{1/2}) \\ &= Q n 2^{2/3} / (d^{2/3} \cdot S^{1/2}) \\ d^{7/2} &= Q n 2^{2/3} / (2S^{1/2}) \end{aligned}$$

Finalmente:

$$d = (Q n / (2^{1/3} S^{1/2}))^{2/7}$$

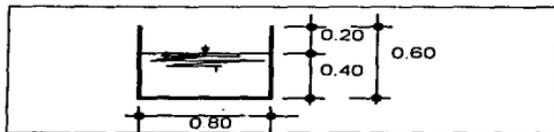
Con los siguientes datos $n = 0.30$ $S = 0.20$ y $Q = 0.078 \text{ m}^3/\text{s}$, se tienen el tirante y la base del canal.

$$d = 0.40 \text{ m}$$

$$b = 0.80 \text{ m}$$

Se considera un borde de 20 cm, para que finalmente se tenga la sección que se ve en la **FIGURA 5.5**.

FIGURA 5.5
SECCIÓN DEL CANAL PERIMETRALES
DE AGUAS PLUVIALES



5.3.2 DRENAJES Y FOSAS DE COLECCIÓN DE LIXIVIADOS

En este sentido, se tiene previsto el bombeo de lixiviados de la base del relleno a un estanque para su evaporación y en su caso para su recirculación al mismo relleno.

Cada línea de drenaje será un ducto de **polietileno de alta densidad de 6" de diámetro y con ranuras en su parte inferior**, por donde se filtrarán los lixiviados y serán conducidos hasta el cárcamo de colección, este ducto estará cubierto por una capa de material pétreo a lo largo del mismo, con el fin de que no pasen residuos al tubo y lo obstruyan.

Existirán dos cárcamos de captación, debido a su corta distancia de longitud, los cuales estarán ubicados en el nivel más bajo de cada uno, es decir uno en el nivel 951.5 socavón Suroeste y el otro en el nivel 964.5 del socavón Noreste.

Los lixiviados llegarán a estos cárcamos por gravedad, después se utilizará una bomba de succión de agua a una laguna para que se evapore o se alimenten pipas, las cuales esparcirán este líquido sobre los residuos sólidos (para su recirculación), sobre el material de cubierta (para mejorar su humedad), o sobre los caminos de acceso.

5.3.3 DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES Y LIXIVIADOS

En cuanto a la superficie final del relleno sanitario, esta deberá estar dotada de un sistema de drenaje que proteja a la cubierta final de la erosión provocada por los escurrimientos incontrolados, en este sentido se recomienda la construcción de zanjas al pie de los taludes, así como un drenaje especial en la base del talud para la conducción del agua a través de las bermas. (FIGURAS 5.6 Y 5.7) . Estas zanjas colectarán y transportarán tanto aguas pluviales como lixiviados. Cuando sea época de estiaje conducirán principalmente lixiviados por lo cual se

descargarán sus líquidos en los cárcamos de bombeo, para su tratamiento. En cambio, en la época de lluvias la mayor parte de los líquidos que conduzcan serán aguas pluviales por lo cual se descargará al terreno natural en el punto más bajo de estos colectores.

FIGURA 5.6
ZANJAS COLECTORAS A PIE DE TALUD

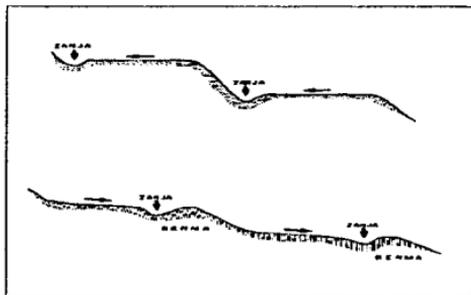
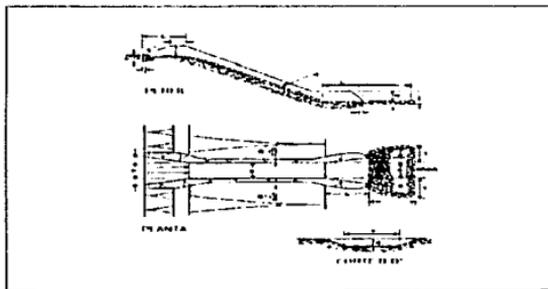


FIGURA 5.7
LAVADEROS PARA AGUAS PLUVIALES



5.4 OBRAS COMPLEMENTARIAS

5.4.1 CASETA DE CONTROL Y VIGILANCIA

La caseta de control y vigilancia tendrá como función principal llevar el registro de los camiones que entran y salen; así como el peso o volumen de los residuos que ingresarán al relleno sanitario.

La caseta estará construida a base de muros y techo de panel monolite, por lo cual se deber preparar una cimentación a base de zapata corrida, se colocará cancelería de aluminio y cristales filtrazol. Y contará con un sanitario y un tinaco que se abastecerá de la cisterna.

5.4.2 PLUMA DE CONTROL DE ACCESO

Este mecanismo será utilizado para evitar el acceso a vehículos que no deban entrar en el área del relleno, y será manejado desde la caseta de control, debiendo decidir el controlador cual vehículo pueda pasar y cual no.

5.4.3 OFICINAS

Las oficinas generales, serán el espacio de trabajo destinado al personal administrativo del relleno sanitario, en donde se organizará la operación diaria y la vida útil del mismo relleno. Estas contarán con oficina para el residente, sala de juntas, área secretarial, sanitarios y regaderas, y posiblemente otra pequeña oficina para el personal técnico. También se construirán con muros y techo de panel Monolite, por lo cual se debe construir una cimentación a base de zapatas corridas. Se abastecerá a los accesorios de los sanitarios y a una llave de nariz a partir de un tinaco que se alimenta de la cisterna.

La cisterna se abastecerá por medio de una pipa. Y deberá utilizar una bomba para llegar a la caseta de control y las oficinas.

5.4.4 SISTEMA DE SEÑALAMIENTOS

En todos los caminos existirán señalamientos preventivos, restrictivos e informativos sobre la circulación y tipo de área en la que se está ingresando, de igual manera se manejarán señalizaciones en todas las demás áreas de trabajo que impliquen de una instrucción para el mejor manejo de las instalaciones y del mismo relleno sanitario.

5.4.5 COBERTIZO PARA MAQUINARÍA

El cobertizo para maquinaria será el área destinada para el resguardo y mantenimiento de la maquinaria que operará durante la vida útil del relleno.

5.4.5.1 DISEÑO DEL COBERTIZO

Diseño por Viento

Datos para el cálculo de la presión

- Guanajuato, Gto
- Velocidad regional para estructuras del grupo B
- Topografía muy accidentada
- Terreno campo abierto
- Velocidad básica

- Altura sobre el suelo

- Factor de Ráfaga
- VD=Velocidad de diseño=FR(Vz)=56 Km/hr
- Altura sobre el nivel del mar

Zona eólica 5
 $V_R = 80 \text{ km/hr}$
 $K=0.70$
 $\alpha=0.14$
 $V_B=KV_R$
 $V_B=0.70(80)=56 \text{ km/hr}$
 $Z=5.50 \text{ m} < 10$
 $V_z=V_B(Z/10)^\alpha$ se toma
 $Z=10$
 $V_z=56(10/10)^{0.14}=56 \text{ km/hr}$
 Tipo 1 $FR=1$

H en Km
 $G=(8+H)/(8+2H)$
 $H=2.13 \text{ Km.}$

$$G=(8+2.13)/(8+2(2.13))=0.826=0.83$$

Presión estática en Kg/m^2 (p_s)

$$p_s = 0.0048 V_D^2 G C$$

$$p_s = 0.0048 (56)^2 (0.83) C = 12.49 C \quad \text{kg/m}^2$$

Factor de presión

$$p_s = 12.49 C$$

$$C1 = 2 \Rightarrow$$

$$C2 = -0.7 \Rightarrow$$

Estructuras reticulares con secciones planas.
 Construcciones cerradas con techos inclinados para acción paralela a las generatrices y techos inclinados para acción el lado de sotavento.

$$C3 = 0.04 A - 1.6$$

$$= 0.04(20) - 1.6$$

Resumen de Cargas

lámina calibre 26	4.50 kg/m ²
armadura	3.70 kg/m ²
instalación	8.00 kg/m ²
total	16.2 kg/m²

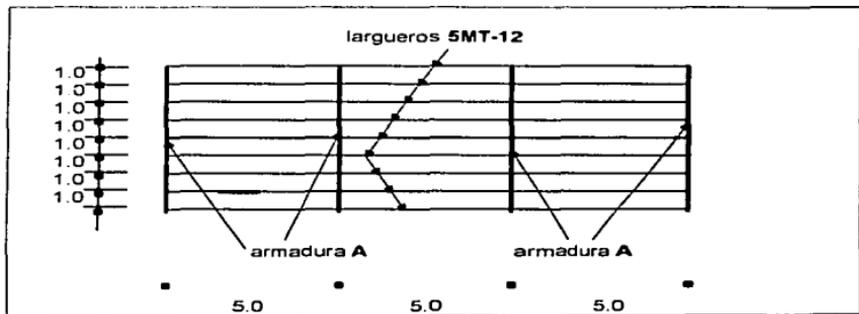
Se considera la CV nula por ser favorable a la resistencia contra la succión por viento

Presión por viento = -16.24 kg/m²
como 16.20 kg/m² ≈ 16.24 kg/m²

Casi el peso de la estructura soporta la succión por viento, sin embargo, las uniones entre los elementos de la estructura y de ésta con la cimentación da seguridad al diseño propuesto.

Se proponen los largueros **5 MT-12** a cada metro. Ver **Figura 5.8**.

FIGURA 5.8
PLANTA DE AZOTEA DEL COBERTIZO



Diseño de Largueros

- Lámina calibre 26
se considerará peso = 4.50 kg/m^2
- Armadura 3.70 kg/m^2
- Instalaciones 8.00 Kg/m^2
 16.20 Kg/m^2

Por cada 4 m de ancho se tiene una longitud de 4.1m, entonces se tiene la relación:
 $4.10/4 = X / 1$ $X = 1.025 \text{ m}$ de longitud

$$w = 16.2 (1.025) = 16.61 \text{ kg/m}$$

$$M_1 = w l^2 / 8 = (16.61)(5^2) / 8 = 51.89 \text{ kg.m}$$

$$M_2 = w l^2 / 12 = (16.61)(5^2) / 12 = -34.59 \text{ kg.m}$$

$$M_3 = 34.59 \text{ kg.m}$$

$$M_4 = -51.89 \text{ kg.m}$$

FIGURA 5.9
DIAGRAMA REPRESENTATIVO DE LAS CARGAS QUE ACTÚAN EN LOS
LARGUEROS

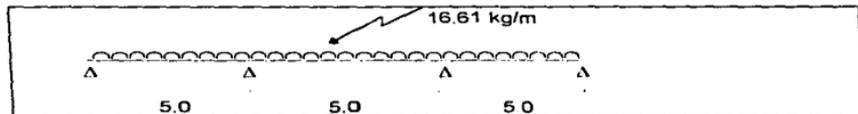


TABLA 5.3
CÁLCULO DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO
FLEXIONANTE POR MÉTODO DE CROSS

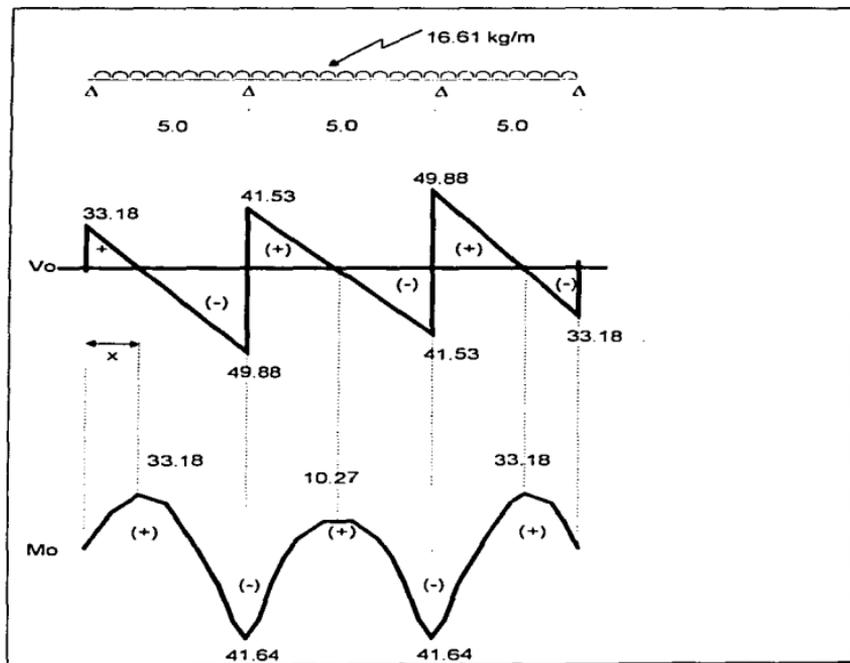
Fd	0.43	0.57		0.43	
M	51.89	-34.59	34.59	-51.89	
E	-7.44	-9.86	9.86	7.44	
t		4.93	-4.93		
E	-2.12	-2.81	2.81	2.12	
t		1.40	-1.40		
E	-0.60	-0.80	0.80	0.60	
Mi	41.73	-41.73	41.73	-41.73	
Vi	41.53	41.53	41.53	41.53	41.53
Vh	-8.35	8.35	0	0	-8.35
VT	33.18	49.88	41.53	41.53	49.88
					33.18

$$\frac{5}{(33.18 + 49.88)} = \frac{x}{33.18}$$

$$x = \frac{(33.18 * 5)}{83.06} = 2.0$$

$$x = 2$$

FIGURA 5.10
DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE



$$M_{max} = 41.64 \text{ kg/m} \quad S_x = 24.60 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = 41.64 \times 10^3 \text{ kg/cm} / 24.60 \text{ cm}^3 = 1692.68 \text{ Kg/cm}^2 < 2310 \text{ Kg/cm}^2$$

Diseño de Armadura

FIGURA 5.11
ACCIONES EN LA ARMADURA

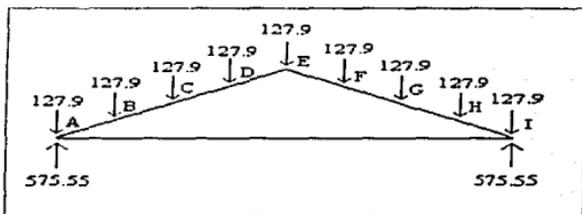
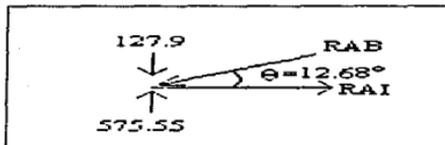


FIGURA 5.12
NUDO



$$127.9(9/2)=575.55$$

$$\cos\theta=4/4.10$$

$$\theta = \arccos(4/4.10)$$

$$\theta = 12.68^\circ$$

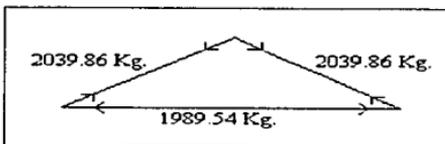
$$\sum F_y = 575.55 - 127.9 - R_{AB} \sin(12.68^\circ) = 0$$

$$R_{AB} = 447.65 / \sin(12.68^\circ) = 2039.36 \text{ Kg}$$

$$\sum F_x = 2039.36 \cos(12.68^\circ) + R_{AI} = 0$$

$$R_{AI} = 1989.54 \text{ Kg}$$

FIGURA 5.13
FUERZA EN LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA



Fuerza de tensión de cable 1989.54 Kg. Se propone OS $\varnothing = \frac{1}{4}$ "

$$V = \frac{P}{A} = \frac{1989.54}{2.85} = 698.08 \text{ Kg/cm}^2 < 1518 \text{ Kg/cm}^2$$

Compresión 2039.86 Kg. Se proponen traves 2 canales 8MT-12

$$V = \frac{P}{A} = \frac{2039.86}{2(9.98)} = 102.20 \text{ Kg/cm}^2$$

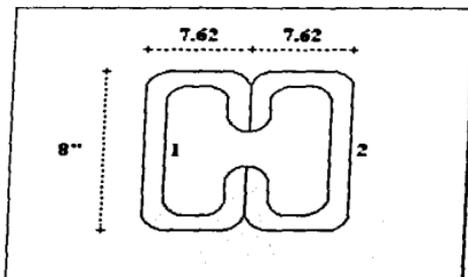
$$\frac{kl}{r} \leq 200$$

$$\frac{\text{ancho}}{\text{espesor}} = \frac{15.24}{0.266} = 57.29$$

$$\frac{640}{(fy)^{1/2}} = 12.72$$

$$r = \frac{J}{A}$$

FIGURA 5.14
SECCIÓN DE LA TRABE EN LA ARMADURA 2 CANALES 8 MT -12



$$r = (I/A)^{1/2}$$

$$A = 9.69 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 599.26$$

$$X_c = 2.14$$

	A	Xc	AXc	Y	d	Ad ²
1	9.69	-2.14	-20.74	599.26	9.76	923.05
2	9.69	17.38	168.41	599.26	9.76	923.05
Σ	19.38		147.67			1846.10

$$X_c = \frac{\Sigma AX_c}{\Sigma A} = \frac{147.67}{19.38} = 7.62$$

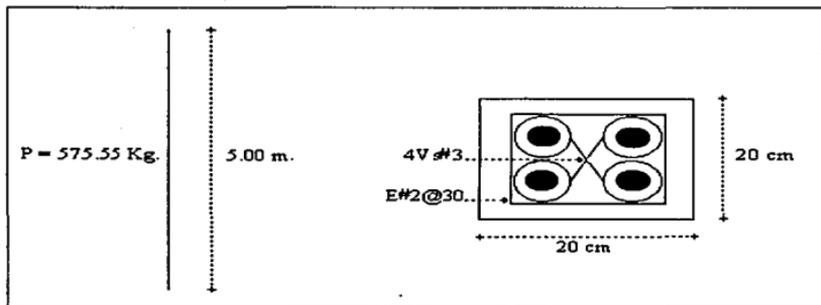
$$I = I_o + Ad^2 = 1198.52 + 1846.10 = 3044.62 \text{ cm}^4$$

$$r = (3044.62/19.38)^{1/2} = 12.53 \text{ cm}$$

$$\frac{kl}{r} = \frac{4.10 \times 100}{12.53} = 32.71 < 200$$

$$k = 1$$

FIGURA 5.15
ALZADO Y SECCIÓN DE LA COLUMNA



Especificación de materiales en las columnas:

$$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$$

Cálculos:

$$pp = 0.2^2(5)2400 = 480 \text{ kg}$$

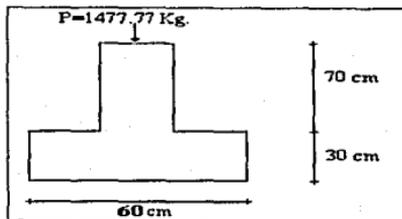
$$p = 575.55 + 480 = 1055.55 \text{ kg (1.4)}$$

$$Pu = 1477.77 \text{ kg}$$

$$\nabla = \frac{1477.77}{(20)^2} = 3.69 \text{ kg/cm}^2 < 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Asmin} = \frac{0.7(f_c)^{1/2}}{f_y} bd = \frac{0.7(250)^{1/2}}{4200} (20)(20) = 1.05 \text{ cm}^2$$

FIGURA 5.16
ZAPATA



Resistencia del terreno:

$w = 8.5 \text{ ton/m}^2$. Ver capítulo 2.

$$w = \frac{P}{A}$$

$$A = \frac{P}{w}$$

$$A = 1.98 \text{ ton} / 8.5 \text{ ton/m}^2 = 0.233 \text{ m}^2$$

$$(0.233)^2 = 0.48 \text{ cm}$$

$$\text{se deja de } 60 \times 60 \quad h = 1 \text{ m.}$$

5.4.6 BARDA PERIMETRAL

Para impedir el acceso a personal o vehículos no autorizados se colocará una barda perimetral. Esta será de malla ciclónica con postes galvanizados a cada 3m y demás accesorios y tres hiladas de alambre de púas Y debe tener dos puertas abatibles de 5 m para el acceso de los camiones, maquinaria y personal. La barda se construirá con una altura de 2.5 m y se puede utilizar zapata corrida como cimentación, y se recomienda construirla de mampostería, y así aprovechar el tipo de material en el sitio.

5.4.7 ABASTECIMIENTO DE AGUA

El abastecimiento del agua del lugar se puede hacer mediante camiones tipo pipa, desde los pozos de abastecimiento ubicados en la localidad de Campuzano a 5 km. aproximadamente, o en la localidad de Santa Fe de Guadalupe a 10 km; o bien en

la presa Montelongo ubicada 8 Km del sitio en donde se construirá el relleno sanitario.

5.4.8 MURO DE CONTENCIÓN (MURO DE GAVIONES)

La topografía en el terreno donde se proyectó el relleno sanitario que servirá a la población del municipio de Guanajuato, Gto. como ya se ha mencionado anteriormente, es muy escarpado y entre otros conflictos, se piensa que por gravedad y asentamientos los residuos después de iniciada la operación y construido algunas terrazas se puede caer hacia la parte más baja de dicho sitio. La propuesta en el presente proyecto, para prevenir contaminación, descontrol en la disposición y hasta posibles accidentes es construir un muro de retención que impida el paso de los residuos hacia afuera del límite fijado.

Ahora bien, existen diversas opciones a considerar para la conformación de estos retenes, para nuestro caso se eligió la alternativa de utilizar MURO-GAVIÓN, por la rapidez en su instalación, por las bondades de su comportamiento en situaciones extremas, y por una serie de ventajas indicadas más adelante.

5.4.8.1. DESCRIPCIÓN

Un gavión es una estructura en forma de prisma rectangular, hecha con malla electrosoldada de alambre galvanizado de alta resistencia. Estas estructuras una vez empacadas con piedras y amarradas entre sí, adquieren las características de unidades constructivas continuas y flexibles.

Los elementos constitutivos de un gavión son los siguientes:

- **Malla de Alambre.**

Compuesta por alambres galvanizados colocados longitudinal y transversalmente de modo que formen módulos cuadrados de 10 cm de lado eléctricamente soldados en todas sus intersecciones.

Los alambres usados son de un diámetro determinado, dependiendo este de las características físicas y/o hidráulicas del terreno y del tipo de estructura de que se trate. Generalmente se usan alambres calibre No. 8, No. 10 ó No. 12 (4.2 mm., ó 2.8 mm., respectivamente).

- **Templadores.**

Son trozos de alambre galvanizado calibre No. 12 (2.8 mm.), de alta resistencia, que tienen como objetivo el evitar la deformación de las caras del gavión debido a la presión del material de relleno.

- **Tortores.**

Son los elementos de unión de aristas del gavión. Están hechos de alambre galvanizado de alta resistencia de 30 cm de longitud y calibre No. 12. Estos tortores son usados también para ligar un gavión con otro.

5.4.8.2. PROPIEDADES.

- **Flexibilidad.**

Las estructuras construidas en gaviones, son capaces de aceptar deformaciones diferenciales relativamente altas sin llegar a fallar. Esto es debido a la alta flexibilidad que tienen las mallas de alambre de alta resistencia electrosoldadas que conforman los gaviones.

- **Durabilidad.**

La durabilidad se basa en lo siguiente.

- Si ocurriera un corte en cualquiera de los alambres, esta falla no afectaría a la integridad de la malla, debido a que se encuentra unida en todos sus puntos de cruce por soldadura eléctrica.
- En muchos casos los huecos o los espacios entre piedra y piedra se llenan de tierra, sedimentos y raíces, los cuales con el transcurso de algunos años pasan a formar parte de la estructura en conjunto, haciendo que al final la acción contenedora de las mallas electrosoldadas disminuya.

- **Resistencia.**

Los alambres electrosoldados tienen la resistencia y la flexibilidad necesarias para soportar las fuerzas generadas por el comportamiento hidráulico de una corriente y por los empujes de masas del relleno. Tienen un punto de fluencia de 5000 kg/cm², lo que les permite absorber los esfuerzos altos que pudiesen presentarse debido a grandes asentamientos diferenciales.

- **Permeabilidad.**

Las cargas hidráulicas no se desarrollan detrás de una pared de gaviones, ya que la pared es permeable al agua y estabiliza un talud por la acción combinada de drenaje y la contención de empuje de material. El drenaje es llevado a cabo por gravedad y evaporación, pues la estructura porosa permite una activa circulación de aire a través de ella.

Además, como las plantas crecen invadiendo la estructura, permiten que la transpiración contribuya a eliminar la humedad del relleno. Este sistema es pues mucho más eficiente, que colocar costosos sistemas de drenaje en las paredes de mampostería.

• **Economía.**

Los gaviones electrosoldados son económicos desde su diseño hasta su mantenimiento. Su instalación y construcción es simple y no requiere de mano de obra calificada. Las piedras de relleno se consiguen en el lugar de la obra minimizando los costos de transporte. No necesita de cimentaciones especiales, ni de costosas instalaciones de drenaje.

• **Aspecto Estético.**

Los gaviones permiten el crecimiento de vegetación, por lo que pueden mantener la presentación natural de la zona donde están, ampliando a su vez la vida útil de la estructura.

5.4.8.3. ARMADO DE GAVIONES.

Los gaviones están conformados por cuatro planchas de dos tipos diferentes.

- Dos que constituyen las tapas del gavión Planchas tipo-I
- Dos que constituyen los costados del gavión Planchas tipo-II

Los gaviones se arman en obra directamente sobre el terreno convenientemente preparado. La base o cama se limpia y se nivela, rellenando incluso si así se requiere, los baches o huecos con material de la misma base. Las dos planchas para formar los costados es necesario doblarlas a 90° o sea en "L", para conformar, con cada una, dos lados adyacentes.

Se forma la base y los cuatro costados del gavión amarrando las aristas mediante fuertes ligaduras de alambre.

Los gaviones se amarran entre sí mediante tortores, uniendo las aristas adyacentes del nuevo gavión con el ya colocado (si lo hubiese). Este amarre se efectúa cada 30 cm, en las aristas verticales adyacentes a gaviones ya colocados antes del llenado con piedra, y en las aristas superiores después del llenado del mismo; obteniendo entonces una unión eficiente entre los gaviones, logrando de éste modo, un comportamiento homogéneo o integral de toda la estructura.

Una vez colocado el gavión este debe ser **llenado con piedras de 6" a 10" de diámetro**, que bien pueden ser cantos rodados del río, o piedras de cantera escogidas a mano, colocando las grandes en la parte exterior y las chicas en la

parte interior. Se sugiere no emplear piedras en cuya composición pueda haber compuestos salinos o excesivamente alcalinos, ya que estos tenderían a disminuir la vida útil de la galvanización del alambre. Después, se colocarán los templadores de alambre No. 1, atrantando las caras opuestas a fin de evitar su deformación por la presión del material que retienen. Para realizar el llenado, puede colocarse un escantillón de madera, provisional, para ajustar los templadores horizontales; para después quitarlo cuando se comience el acomodo de las piedras por encima de la capa de templadores en gaviones standard.

Terminando de llenar el gavión se cosen con los tortores las aristas que faltan y se procede luego a llenar el siguiente al cual debe ligarse

El uso de cordeles de alineamiento, permite lograr parámetros bien colocados y perfectamente alineados.

5.4.8.4. MATERIAL DE RELLENO.

La roca es el material de relleno ideal para gaviones, pero debe cumplir ciertas condiciones tales como ser resistente al ataque de aguas químicamente agresivas, ser resistente a los impactos, no tener compuestos que puedan propiciar la corrosión de la malla, etc. El diámetro medio de las piedras debe ser aproximadamente de 15 cm., para evitar la pérdida de relleno a través de la malla y para garantizar una relación de vacíos promedio de 30%.

Es importante también evitar el uso de piedras porosas que puedan degradarse debido a condiciones climáticas extremas. En la **Tabla 5.4** se dan valores de peso volumétrico de gaviones con diferentes tipos de material.

$$g = (1 - e/100)$$

g = peso volumétrico del gavión

e = % de vacíos

TABLA 5.4
PESO VOLUMÉTRICO DE GAVIONES CON
DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL

MATERIAL	DENSIDAD DEL GAVIÓN (Kg/m ³)	DENSIDAD DEL MATERIAL (Kg/m ³)
Canto rodado	1,800	2,700
Granito	1,650	2,600
Basalto	1,700	2,800
Ladrillo	1,240	1,700
Ripio	1,500	2,300
Arenisca	1,390	2,100
Piedra caliza	1,440	2,200

5.4.8.5 MEMORIA DE CALCULO.

• Consideraciones de Diseño.

- a) La estructura por diseñar, será de carácter típico, con el fin de que sea colocada tanto en las secciones elegidas, como en cualquier otra donde se requiera este tipo de obra.
- b) El diseño consistirá en la revisión de la estructura, para la condición más desfavorable de falla que es al volcamiento. Y se considerará la acción de una sobrepresión debida ya sea a la colocación de instalaciones sobre los bordes superiores de los taludes, o bien por algún deslizamiento extra que se genere en el sitio una vez que se haya azolvado totalmente la estructura de gavión con algunos deslizamientos primarios.
- c) Para el diseño, se utilizará la teoría de Rankine, por lo que no se tomará en cuenta la fuerza debida a la fricción entre el muro y el material de relleno, por la dificultad para determinar en forma exacta la fricción en la cara posterior del muro.

• Datos de Diseño.

- Material que se utilizará para rellenar el gavión: Granito
- Peso volumétrico del material de empaque del gavión: $1.65 \text{ ton/m}^3 (\gamma')$
- Material que retendrá el muro de gavión: Material heterogéneo compuesto por residuos municipales.
- Peso volumétrico del material por contener: 0.85 ton/m^3 .
- Cohesión del material por contener: 1.30 ton/m^3 .
- Ángulo de fricción interna del material por contener: 20° .

• Sección Propuesta para el Muro.

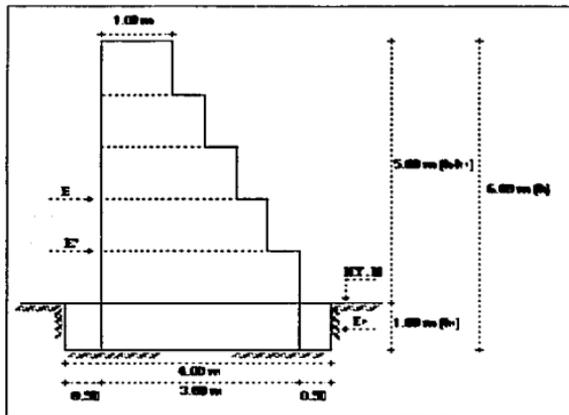
Para un predimensionamiento del muro, además de sus 6 m de altura, se considerarán las siguientes recomendaciones:

Base = altura / 2

Para evitar socavación, el muro debe enterrarse por lo menos 0.30 m.

Sección propuesta para el muro de gavión:

FIGURA 5.17
MURO DE CONTENCIÓN



• Diseño del Muro

a) Cálculo de Coeficientes del Material por Contener.

Se utilizarán las siguientes expresiones:

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}(\phi)}{1 + \text{sen}(\phi)}$$

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}(\phi)}{1 - \text{sen}(\phi)}$$

donde:

K_a = Coeficiente de presión activa del material por contener
 K_p = Coeficiente de presión pasiva del material por contener

$\phi =$ Ángulo de fricción interna del material por contener.

Sustituyendo en las expresiones, tenemos:

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}(20^\circ)}{1 + \text{sen}(20^\circ)} = \frac{0.658}{1.342} = 0.490$$

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}(20^\circ)}{1 - \text{sen}(20^\circ)} = \frac{1.342}{0.658} = 2.04$$

b) Cálculo del Empuje Normal sobre el Muro.

El empuje normal, vendrá dado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{\gamma (h)^2}{2} K_a$$

donde:

E = Empuje del material por contener sobre el muro, en ton.

γ = Peso volumétrico del material por contener, en ton/m³

h = Altura del muro de contención, en m.

Sustituyendo en la expresión del empuje, tenemos:

$$E = \frac{0.85 (6)^2}{2} (0.49) = 7.50 \text{ ton.} \quad \rightarrow \text{Este empuje se aplicara a 1/3 de la base del muro.}$$

c) Cálculo del Empuje debido a la Sobrepresión.

Se considerará que la sobrepresión actuará en forma constante, a todo lo largo del borde superior del muro. Para la determinación el empuje debido a la sobrepresión, se utilizará la siguiente ecuación:

$$E' = \gamma h s K_a$$

$$h s = \frac{w}{\gamma}$$

donde:

h = Altura equivalente de relleno en mts.

ω = Valor de la sobrecarga en ton/m^2

γ = Peso volumétrico del material por contener, en ton/m^3

E' = Empuje debido a la sobrepresión, en ton.

Arreglando y sustituyendo valores tenemos:

$$E' = \frac{\gamma \cdot \omega \cdot Ka}{\gamma} = \omega \cdot Ka = (0.500)(0.49) = 0.245 \text{ ton.} \rightarrow \text{Este empuje se aplicará a } \frac{1}{2} \text{ de la base del muro.}$$

Para este cálculo se considero una sobrepresión de 500 kg/m^2 equivalente a 3 mts., del material por contener, actuando sobre y por todo el borde superior del muro.

d) Cálculo del Momento de Volcamiento (Mv)

El momento de volcamiento será:

$$Mv = E(h/3) + E'(h/2) = (13.23)(6/3) + (0.245)(6/2) = 27.2195 \text{ ton.-m.}$$

e) Cálculo del Momento Resistente (Mr)

El momento resistente, estará dado por la acción del pesos propio del muro y por el empuje pasivo.

$$Ep = \gamma (h_1)^2 Kp$$

donde:

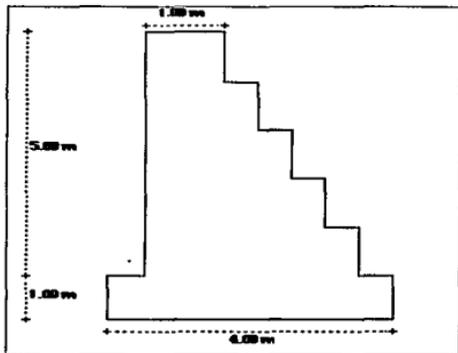
Ep = Empuje pasivo, ton.

h_1 = Profundidad de desplante de la muro, m.

Sustituyendo valores tenemos:

$$Ep = (1.5)(1.0)^2(2.04) = 3.06 \text{ ton.} \rightarrow \text{Este empuje se aplicará a } \frac{1}{2} \text{ de la profundidad de desplante del muro.}$$

FIGURA 5.18
ÁREAS EN EL MURO DE CONTENCIÓN



El área de la sección propuesta es:

$$A: (4.00 \times 1.00) + (5.00 \times 1.00) + (4.00 \times 0.50) + (3.00 \times .5.0) + (2 \times 0.5) + (1 \times 0.5) = 14\text{m}^2$$

El volumen unitario es entonces: $V=14.5 \text{ m}^3$

El peso unitario de la sección para un peso volumétrico del material de empaque de 1.65 ton/m^3 es de : $P= \gamma 'v=(1.65) (14)= 23.1 \approx 23 \text{ ton.}$

El brazo de palanca para el peso propio del muro será:

TABLA 5.5
CALCULO DE BRAZO DE PALANCA PARA
EL PESO PROPIO DEL MURO

AREA	X	AX
4	2	8
5	1	5
2	1.75	3.5
1.5	2.25	3.375
1	2.75	2.75
0.5	3.75	1.875
14		24.25

$$X_c = 24.25/14 = 1.73$$

Por tanto, el momento resistente será:

$$M_r = [(3.06) (0.5)] + [(23.00) (1.73)] = 41.32 \text{ ton-m.}$$

f) Calculo del Factor de Seguridad. (FS)

$$FS = \frac{M_r}{M_v} = \frac{41.32}{27.19} = 1.52$$

1.52 > 1.5, por tanto se acepta la sección propuesta.

5.5 CATALOGO DE CONCEPTOS

CONCEPTO	UNIDAD
TALA DE ARBOL DE 61 A 100 CM DE DIAMETRO INCLUYENDO DESENRAICE, SIN INCLUIR ACARREOS.	M
DESPALME DE 30 CM. DE ESPESOR PARA RETIRAR LA CAPA VEGETAL, INCLUYENDO ACAMEYONADO Y ACARREO DE PRODUCTO DESPALMADO A UNA DISTANCIA MAXIMA DE 40.00 M. INCLUYE OPERACION DE LA MAQUINA	M3
BARDA PERIMETRAL	ML
EXCAVACIÓN A MAQUINA MATERIAL COMPACTO, INCLUYE OPERACIÓN DE LA MAQUINA.	M3
CAMINOS TEMPORALES	ML
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL, PARA LA PROTECCIÓN DE GEOMEMBRANA	M2
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) DE 40 MILÉSIMAS DE ESPESOR	M2
SUMINISTRO, COLOCACIÓN Y JUNTEO DE TUBERÍA P.V.C., RANURADO 1, CLASE RD-26, DE 6" DE DIAMETRO; ACARREO MATERIAL PRIMERA ESTACIÓN = 20.00 M.	ML
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GRAVA CONTROLADA, LAVADA DE RÍO O TRITURADA, COMO MATERIAL DE FILTRO EN EL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS, O EN EL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE BIOGAS. ACARREO DE MATERIAL A 20 M.	M3
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA LIXIVIADOS, CON CAPACIDAD DE 10M3. INCLUYE EXCAVACIÓN, PLANTILLA, TANQUE, RELLENO, TUBERÍA DE PVC, REGISTROS, CONEXIÓN DE DREN AL TANQUE Y LOSA.	PZA
PIPA PARA EL TRANSPORTE DE LIXIVIADOS PARA SU RECIRCULACIÓN SOBRE EL ÁREA DEL RELLENO	PIPA
BOMBA AUTOCEBANTE 2" 8H.P. INC. OP C/ACCS.	HR

CONCEPTO	UNIDAD
CONSTRUCCIÓN, SUMINISTRO Y COLOCACION DE CANAL PREFABRICADO TIPO, PARA LA CAPTACION DE AGUAS PLUVIALES. FABRICADO CON CONCRETO F'c= 200 KG-CM2, DE 6 CM DE ESPESOR Y ARMADO CON MALLA ELECTROSOLDADA CALIBRE 66-1010. INCLUYE REGISTRO Y CONEXIÓN PARA LA DESCARGA A TERRENO NATURAL	ML
TORRE PARA CRECIMIENTO DE POZO DE BIOGAS. INCLUYE MATERIAL GEOSINTÉTICO, Y TODOS LOS ACCESORIOS PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN	ML
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE VENTEO CON VÁLVULA DE FcGa, TUBERÍA GALVANIZADA DE 1" Y QUEMADOR DE ACERO AL CARBÓN DE 1/4" DE ESPESOR.	PZA
REGISTRO A BASE DE CONCRETO ARMADO CON MALLA ELECTROSOLDADA PARA LA PROTECCIÓN DE POZO DE CAPTACIÓN DE BIOGAS	PZA
PROTECCIÓN PARA POZO DE CAPTACIÓN DE BIOGAS A BASE DE ACERO AL CARBÓN ROLADO	PZA
PROTECCIÓN DE REGISTRO DE POZO DE BIOGAS A BASE DE MALLA CICLÓNICA. INCLUYE PUERTA.	PZA
TRAZO Y NIVELACIÓN PARA DESPLANTE DE ESTRUCTURAS, CON APARATOS, INCLUYENDO MATERIALES PARA SEÑALAMIENTO.	M2.
EXCAVACIÓN A MANO EN ZANJAS DE 0.00 A 2.00 M. DE PROFUNDIDAD, CLASE II, EN SECO. MEDIDO EN BANCO. INCLUYENDO AFINE, TRASPALCOS Y EXTRACCIÓN A BORDE DE ZANJA	M3.
PLANTILLA DE 5 CM DE CONCRETO SIMPLE DE F'c= 100 KG/CM2, AGREGADO MÁXIMO DE 40 MM. INCLUYE PREPARACIÓN DEL DESPLANTE, NIVELACIÓN Y COMPACTACION	M2.
CIMBRA COMÚN Y DESCIMBRA EN CIMENTACIÓN (ZAPATAS, CONTRATRABES, DADOS ETC)	M2.

CONCRETO SIMPLE FABRICADO EN OBRA CON

CONCEPTO	UNIDAD
CEMENTO R. N. F' C= 200 KG/CM2 T. M. A. 20 MM PARA CIMENTACIÓN. ZAPATAS, TRABES DE LIGA, CONTRATRABES, DADOS ETC. INCLUYENDO ACARREO MUESTREO, COLADO VIBRADO, CURADO, DESPERDICIO Y EQUIPO.	M3.
RELLENO DE EXCAVACIONES EN CEPA COMPACTADO CON PIZON, CON MATERIAL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN INCLUYENDO ACARREO LIBRE A 20.00 M., EXTENDIDO Y COMPACTADO. MEDIDO COMPACTO.	M3.
ACARREO EN CARRETILLA DE TIERRA Y MATERIAL MIXTO DE PRODUCTO DE EXCAVACIONES QUE NO SEA ROCA. MEDIDO COMPACTO. PRIMERA ESTACIÓN A 20.00 M.	M3.
ACARREO EN CAMIÓN CON CARGA MANUAL DE TIERRA Y MATERIAL MIXTO PRODUCTO DE EXCAVACIONES QUE NO SEAN ROCA. MEDIDO EN BANCO. PRIMER KILOMETRO	M3.
ACERO DE REFUERZO GRADO ESTRUCTURAL FY= 2,530 KG/CM2 DE 6.4 MM DE DIÁMETRO (1/4"). INCLUYENDO SUMINISTRO, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO, COLOCACIÓN Y AMARRE, GANCHOS, TRASLAPES Y DESPERDICIOS EN CUALQUIER ELEMENTO ESTRUCTURAL.	TON.
ACERO DE REFUERZO GRADO DURO FY= 4,200 KG/CM2 DE 9.5 MM DE DIÁMETRO (3/8"). INCLUYENDO SUMINISTRO, ACARREOS DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO, COLOCACIÓN Y AMARRE, GANCHOS, TRASLAPES Y DESPERDICIOS EN CUALQUIER ELEMENTO ESTRUCTURAL.	TON.
IDEM DE 12 7 MM. DE DIÁMETRO (1/2")	TON.
IDEM DE 12 7 MM. DE DIÁMETRO (1")	TON.
SUMINISTRO, COLOCACIÓN Y ARMADO DE MURO PREFABRICADO A BASE DE PANEL MONOLITE O SIMILAR TIPO PMR DE 7.8 CM. DE ESPESOR SIN RECUBRIMIENTOS, INCLUYENDO MALLA DE REFUERZO EN ESCUADRAS Y VANOS Y REPELLADO DE MORTERO CEMENTO-ARENA PROP: 1:4 EN AMBAS CARAS HASTA UN ESPESOR FINAL DE 10.5 CM.	M2.

CONCEPTO	UNIDAD
SUMINISTRO MONTAJE Y ARMADO DE CUBIERTA PREFABRICADA A BASE DE PANEL MONOLITE BOBEDILLA O SIMILAR TIPO PMB DE 11.36 CM. DE ESPESOR MAS CAPA DE COMPRESIÓN A UN ESPESOR FINAL DE 15.5 CM.	M2.
EMBOQUILLADO DE MEZCLA CON ARISTAS VIVAS A CUALQUIER NIVEL.	ML.
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VENTANA DE ALUMINIO ANODIZADO NATURAL EN PERFILES COMERCIALES DE 1 1/2" CON VIDRIO TRASLUCIDO DE 3 5 MM DE ESPESOR TIPO GOTA DE AGUA. INCLUYENDO HERRAJES, VAGUETAS, SELLADOR ETC. VENTANA DE 0.50 X 0.55 M. (ABATIBLE).	PZA.
IDEM. VENTANA DE 3.00 M X 0.30 M (FIJA).	PZA.
IDEM. VENTANA DE 1.115 X 0.61 M (ABATIBLE).	PZA.
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VENTANA DE Y/O PUERTA DE ALUMINIO ANODIZADO NATURAL EN PERFILES COMERCIALES DE 1 1/2" CON VIDRIO MEDIO DOBLE DE 3 MM DE ESPESOR, INCLUYENDO HERRAJES, VAGUETAS, SELLADOR ETC. VENTANA DE 2.00 X 2.10 M. (FIJA).	PZA.
IDEM. VENTANA DE 0.865 M X 1.22 M EN LADO MENOR Y 1.65 M. EN LADO MAYOR (FIJA).	PZA.
IDEM. VENTANA DE 1.73 M X 1.22 M EN LADO MENOR Y 1.90 M. EN LADO MAYOR (ABATIBLE).	PZA.
IDEM. VENTANA DE 2.44 M X 1.22 M (FIJA).	PZA.
IDEM. PUERTA DE 0.865 M X 1.65 M EN LADO MENOR Y 1.90 M. EN LADO MAYOR (UNA HOJA).	PZA.
IDEM. PUERTA DE 1.00 M X 2.10 M (UNA HOJA).	PZA.
IDEM. PUERTA DE 2.00 M X 2.10 M (DOS HOJAS).	PZA.
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PUERTA Y/O VENTANA A BASE DE HERRERIA TUBULAR DE LAMINA NEGRA CAL. 16 ROLADA EN FRIO, INCLUYENDO HABILITADO, MAQUILADO, ARMADO, SOLDADO, ESMERILADO, HERRAJES COMUNES, DESPERDICIO, FLETE Y UNA MANO DE PINTURA ANTICORROSIVA A CUALQUIER NIVEL. VENTANA TIPO PERSIANA DE 4.84 M X 1.00 M.	PZA.
IDEM. PUERTA DE 1.80 M X 2.50 M (DOS HOJAS).	PZA.

CONCEPTO	UNIDAD
SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE PINTURA DE ESMALTE, INCLUYE PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, UNA BASE DE SELLADOR VINÍLICO, APLICACIÓN DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE, HERRAMIENTA ANDAMIOS A CUALQUIER NIVEL Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA TERMINACIÓN, APLICADA EN MUROS Y PLAFONES REPELLADOS O DE CONCRETO.	M2.
SUMINISTRO Y APLICACION DE PINTURA DE ESMALTE, INCLUYE PREPARACION DE LA SUPERFICIE, UNA BASE DE SELLADOR VINILICO, APLICACION DE PINTURA HASTA CUBRIR PERFECTAMENTE, HERRAMIENTA ANDAMIOS A CUALQUIER NIVEL Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA TERMINACION, APLICADA EN SUPERFICIES METALICAS O DE MADERA.	M2.
SUMINISTRO Y COLOCACION DE LAMBRIN DE AZULEJO DE 11 X 11 CM. PEGADO CON CEMENTO CREST O SIMILAR Y LECHAREADO CON CEMENTO BLANCO.	M2.
SUMINISTRO, FABRICACION, TRANSPORTE Y MONTAJE DE ESTRUCTURA METALICA FORMADA CON PERFILES Y/O PLACAS EN ACERO A-36, INCLUYENDO CORTE, DESPERDICIO, SOLDADURA, ESMERILADO, ACARREO Y MONTAJE.	KG.
SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE DE CUBIERTA DE LAMINA TIPO PINTRO CALIBRE N° 26 INCLUYENDO TAPAJUNTAS, BIRLOS, PIJAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FIJACION A LA ESTRUCTURA.	M2.
CIMBRA Y DESCIMBRA APARENTE EN CUALQUIER NIVEL INCLUYENDO CHAFLANES Y ACABADO DE SUPERFICIE DE CONTACTO, LIMPIEZA, QUITANDO REBASAS Y PERDIENDO JUNTAS, EN COLUMNAS.	M2.
IDEM. EN LOSAS	M2.
CIMBRA COMUN Y DESCIMBRA EN CASTILLOS Y CADENAS.	M2.

CONCEPTO	UNIDAD
CONCRETO SIMPLE FABRICADO EN OBRA CON CEMENTO R. N. F'C=200KG/CM2 T. M. A. 20 MM. INCLUYENDO ACARREO, MUESTREO, COLADO, VIBRADO, CURADO, DESPERDICIO Y EQUIPO, EN COLUMNAS, CASTILLOS Y CADENAS.	M3.
IDEM. EN LOSAS.	M3
MURO DE TABIQUE ROJO RECOCIDO DE 14 CM DE ESPESOR, ACABADO COMUN, ASENTADO CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:5. INCLUYENDO DESPERDICIO Y ANDAMIOS.	M2.
PISO DE CONCRETO F'C=150 KG/CM2 DE 10 CM DE ESPESOR, ARMADO CON MALLA ELECTROSOLDADA, 6-6-1010 ACABADO PULIDO CON LLANA METALICA, INCLUYENDO PREPARACION DE LA BASE, ARMADO, COLADO, CIMBRA, DESCIMBRA, ACARREOS, DESPERDICIOS Y CURADO.	M2.
FABRICACION DE PUERTA DE MADERA DE 0.85 X 2.10 M. DE VANO TOTAL CON BASTIDOR DE PINO DE 1 1/2" FORRADA EN AMBAS CARAS CON TRIPLAY DE PINO DE 6MM. INCLUYENDO BISAGRAS Y CONTRAMARCO CON BATIENTE SENCILLO. NO INCLUYE CERRADURA NI ACABADO.	PZA.
IDEM. PUERTA DE 0.60M X 2.10 M.	PZA.
SUMINISTRO Y COLOCACION DE CERRADURA MARCA PHILLIPS MODELO 550 AN. O SIMILAR.	PZA.
SUMINISTRO Y COLOCACION DE CERRADURA MARCA YALE. LINEA "A" MODELO A40S, DISEÑO ESTANDAR TIPO TULIT.	PZA.
SUMINISTRO Y COLOCACION DE CERRADURA DE SOBREPONER MARCA PHILLIPS MODELO 715 O SIMILAR.	PZA.
IMPÉRMEABILIZACION DE AZOTEA, A BASE DE UNA CAPA DE MICROPRIMER, DOS CAPAS DE EMULSION ASFALTICA FIBRADA CON MICROFEST, UNA MEMBRANA DE REFUERZO INTERMEDIA FESTERFLEX CON TRAS-LAPES DE 10 CM, ACABADO CON PINTURA FESTERBLANC TERRACOTA, PREVIA PREPARACION DE LA SUPERFICIE.	M2.

CONCEPTO	UNIDAD
IMPERMEABILIZACION PARA DESPLANTE DE MUROS, A BASE DE UNA CAPA DE MICROLASTIC O SIMILAR Y PELICULA DE POLIETILENO DE 40 CM. DE ANCHO Y 0.02 CM. DE ESPESOR INCLUYENDO CORTES, DESPERDICIOS, HERRAMIENTA Y MANO DE OBRA.	ML.
REPELLADO CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1.4 EN CUALQUIER NIVEL.	M2.
SUMINISTRO Y COLOCACION DE ACCESORIOS DE SOBREPONER CROMADO, LINEA ECONOMICA HELVEX O SIMILAR. PORTA PAPEL MOD. AE-4	PZA.
IDEM. TOALLERO MOD. AE-5.	PZA.
IDEM. GANCHO DOBLE MODELO AE-6.	PZA.
IDEM. JABONERA MOD. AE-8.	PZA.
SUMINISTRO, COLOCACION Y PRUEBAS DE MUEBLES Y ACCESORIOS SANITARIOS, INCLUYENDO SUS RESPECTIVOS RAMALES HIDRAULICOS Y SANITARIOS (VER PLANO). LAVABO MARCA IDEAL STANDARD, MODELO VERACRUZ, BLANCO CON LLAVE INDIVIDUAL PARA LAVABO 120	SAL.
IDEM. INODORO MARCA IDEAL STANDAR, MODELO ZAFIRO, COLOR BLANCO, DE CAJA CON ASIENTO REDONDO ABIERTO AL FRENTE CON TAPA.	SAL.
IDEM. REGADERA MODELO 821 DE IDEAL STANDARD O SIMILAR, CON CHAPETON Y BRAZO CON LLAVES DE EMPOTRAR MODELO 811.	SAL.
IDEM. COLADERA DE PISO MARCA HELVEX, MODELO 262-H.	SAL.
IDEM. CESPOL COLADERA DE PVC CON UNA SALIDA DE 40 MM	SAL.
IDEM. LLAVE DE NARIZ CROMADA URREA.	SAL.
IDEM. TINACO VERICAL DE 300 LITROS MARCA REXON O SIMILAR	PZA.
IDEM. TINACO VERICAL DE 1,100 LITROS MARCA REXON O SIMILAR, INCLUYENDO BASE.	PZA.
SUMINISTRO, COLOCACION, CONEXION Y PRUEBAS DE LAMPARA DE CENTRO FLUORESCENTE TIPO SLIME LINE 2 X 39 W., INCLUYENDO GABINETE DE SOBREPONER. INCLUYE RAMALEO.	SAL.
IDEM. SALIDA PARA LAMPARA INCANDESCENTE DE CENTRO.	SAL.

CONCEPTO	UNIDAD
IDEM. SALIDA PARA CONTACTO DUPLEX MONOFASICO.	SAL.
IDEM. SALIDA PARA APAGADOR SENCILLO.	SAL.
IDEM. SALIDA PARA CENTRO DE CARGA SQUARE 'O O SIMILAR TIPO NQQ D4 12M 100 CUF.	SAL.
ACOMETIDA ELECTRICA, INCLUYE MUFA, INTERRUPTOR GENERAL, MEDIDORES, CABLEADO EXTERIOR SUBTERRANEO Y REGISTROS ELECTRICOS.	LOTE.
SUMINISTRO, TENDIDO Y PRUEBAS DE ALBAÑAL DE CONCRETO SIMPLE DE 100 MM DE DIAM. (4") INCLUYENDO EXCAVACION RELLENO Y RETIRO DE MATERIAL SOBRANTE, Y JUNTEO CON CEMENTO-ARENA 1:4.	ML.
REGISTRO DE 0.40 X 0 60 M DE TABIQUE RECOCIDO DE 14 CM DE ESPESOR APLANADO PULIDO INTERIOR CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1.5, PLANTILLA DE CONCRETOF 'C=100 KG/CM2 DE 10 CM DE ESPESOR, MEDIA CAÑA EN FONDO Y TAPA DE CONCRETOF 'C=150 KG/CM2. DE 8 CM DE ESPESOR, HASTA 1.00 M DE PROFUNDIDAD. INCLUYENDO MOVIMIENTOS DE TIERRA NECESARIOS.	PZA.
GUARNICION DE CONCRETO SIMPLE F'C= 200 KG/CM2 CON AGREGADO MAXIMO DE 40 MM. DE SECCION TRAPEZOIDAL DE 15 X 20 X 35 CM INCLUYENDO CIMBRA Y MOVIMIENTOS DE TIERRA.	ML.
SUMINISTRO Y TENDIDO DE GRAVILLA DE TEZONTLE PARA ANDADORES PEATONALES DE 5 CM DE ESPESOR APISONADA.	M2.
LIMPIEZA AL FINAL DE LA OBRA	LOTE.

CONCLUSIONES

El lugar donde actualmente se depositan los residuos sólidos municipales generados por la población del municipio de Guanajuato, Gto. es un **tiradero a cielo abierto**, por eso es una fuente importante de contaminación de aire, agua y suelo; además de crear molestias a los habitantes de las zonas vecinas.

Por ello es necesario construir un nuevo sitio que cumpla con las normas que cuiden la calidad de vida de los habitantes, así como la calidad del medio ambiente. El método de disposición final conocido como relleno sanitario, es actualmente el más utilizado para la disposición final de residuos sólidos en países en vías de desarrollo, como México, y es el que se utilizará en el municipio de Guanajuato.

La población a servir y la generación per cápita de residuos variaran con el tiempo, los valores proyectados para el año **2012** serán de **229,525 habitantes** y una generación per cápita de **1.61 kg/hab/día**.

Con estos datos se determinó que los residuos municipales generados por la población en 2012 será de **369,260 kg/día** y **134,780 ton/año**.

La disposición de esos residuos se hará compactándolos de tal forma que tengan un peso volumétrico de **650 kg/m³**, el cual aumentará con el paso del tiempo, por la presión provocada por los estratos superiores y por la estabilización de los residuos a **850 kg/m³**.

En base a ese valor en el año 2012 se tendrá un volumen generado ese año de **158,564 m³/año** y para ese tiempo ya se habrán acumulado **1,695,594 m³** de residuos y **508,678 m³** de material de cubierta, para un total de **2,204,272 m³**.

La **celda diaria** es la unidad básica de construcción en un relleno sanitario, es el espacio definido que ocuparán los residuos generados en un día. Con la cantidad de residuos a disponer al día, se diseña una celda, que para minimizar la cantidad de material de cubierta, tendrá un ancho igual a su largo. En **1997** las dimensiones serán **ancho = largo = 10.6 m** con una **altura de 2.15 m** y en **2012** serán **ancho = largo = 16.5 m** y **altura de 2.15 m**.

En cuanto a las principales fuentes de contaminación creadas por un relleno sanitario, lixiviados y biogas, se calculó una **producción máxima de biogas de 8, 555, 111 m³/año** y una generación de lixiviados de **138.05 mm/año** por efecto de percolación.

El sistema de control de biogas será a través de **pozos de venteo pasivos**, contruidos desde la etapa de preparación del terreno o perforando después de alcanzado el desarrollo final.

Para controlar los líquidos lixiviados se colocarán tuberías de PVC hidráulico de 6" de diámetro, ranuradas, para coleccionar y conducirlos hasta los tanques de almacenamiento de dimensiones 2.0 x 2.0 x 2.0 m. Además se contará con un drenaje al pie de talud de las plataformas, donde se colocarán tanto lixiviados como aguas pluviales. Cuando sea época de estiaje se conducirán hacia los tanques de almacenamiento; en época de lluvias se descargará a superficie libre sobre el terreno.

En cuanto a la impermeabilización del terreno, entre las opciones de utilizar material natural o material sintético, se propone colocar un geocompuesto geotextil - geomembrana - geotextil. El costo se eleva mucho, en comparación a utilizar material natural, sin embargo con este último no se puede impermeabilizar los taludes.

Se necesitará en total 141, 470 m² de geomembrana y 258, 337 m² de geotextil. Se anclará al geocompuesto en una zanja de 0.45 m de ancho por 0.45 m de profundidad, rellenándolo en capas de 20 cm al 80 % de la prueba proctor modificada.

Las uniones se harán por termofusión, llevando a cabo un control de calidad estricto.

El terreno donde se construirá el relleno sanitario fue elegido por autoridades municipales, del gobierno federal y profesionistas de la iniciativa privada. El predio está ubicado en el kilómetro 26.5 de la carretera Guanajuato -Juventino Rosas adyacente al carril de circulación este - oeste.

Señalado el terreno se hizo el levantamiento topográfico, con el cual se proyectaron los movimientos de tierra necesarios para preparar el terreno para recibir los residuos sólidos y construir la zona de oficinas.

Se deberá realizar corte, total, de 443, 844 m³ de material para alcanzar la vida útil mínima señalada como requisito en el diseño, la cual es de 15 años. Los movimientos de tierra, el desmonte, el despalme, la impermeabilización y la colocación de instalaciones, se realizará en siete etapas, pues sería excesivamente costoso, preparar todo el terreno en una sola etapa. Las etapas están divididas en base a la topografía del terreno y a los niveles definidos del camino permanente del relleno sanitario, de la siguiente forma:

Primera etapa	del nivel 951.5 al 964.5.
Segunda etapa	del nivel 964.5 al 972.5.
Tercera etapa	del nivel 972.5 al 987.5.
Cuarta etapa	del nivel 987.5 al 1002.5.
Quinta etapa	del nivel 1002.5 al 1017.5.
Sexta etapa	del nivel 1017.5 al 1032.5.
Séptima etapa	del nivel 1032.5 al 1047.5.

La **capacidad volumétrica total del terreno**, tomando en cuenta el diseño de la preparación total del terreno es de **2,266,825 m³** la cual es mayor de la necesaria para disponer el volumen generado de residuos y el material de cubierta en quince años que es de **2,204,272 m³**.

Así relacionando la capacidad volumétrica del terreno con el volumen de residuos generados, se tiene una **vida útil** como sigue:

Primer etapa	0.5 años
Segunda etapa	1.5 años
Tercera etapa	3.5 años
Cuarta etapa	3.5 años
Quinta etapa	3.0 años
Sexta etapa	2.5 años
Séptima etapa	1.5 años
TOTAL	16 años

Por otra parte, en el acceso externo es necesario construir un **carril de desaceleración** paralelo al camino. Ese carril tendrá una longitud de **300 m** a partir de la entrada al sitio, un **ancho de 7 m** y una **pendiente del 0 %**.

En cuanto a los accesos internos, todos se diseñaron con una pendiente máxima del **10 %** y un grado máximo de curvatura de **40°**, estas son especificaciones para caminos de tercer orden en terrenos escarpados.

Se construirá una **canal rectangular perimetral** para evitar el ingreso de las aguas pluviales, sus dimensiones son de **d = 0.40 m** y **b = 0.80 m**.

El relleno sanitario contará con una **zona de oficinas** de **12 m X 9m** construidas de panel Monolite y con un **cobertizo - taller** para la maquinaria de **15 x 8 m** diseñados contra viento, construido con lámina pinto calibre 26 y canales Mon-ten. Además de construirán **dos muros de gaviones** para evitar daños por falla de taludes en las plataformas de residuos sólidos. Esos muros serán de **5 m de alto**.

En cuanto al presupuesto, los conceptos que intervienen en la construcción se pueden englobar en:

- 1. Preparación del Sitio**
- 2. Impermeabilización del Terreno para Disposición**
- 3. Sistemas de Colección y Control de Lixiviados**
- 4. Sistema de Desvío de aguas Superficiales**
- 5. Sistema de Venteo de Biogas**
- 6. Zona de Oficinas y Taller**
- 7. Muros de Contención**

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares, Francisco Javier.
FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE
ED. LIMUSA.
1993, pp. 303.

García Marquez, Fernando.
TOPOGRAFÍA APLICADA
ÁRBOL EDITORIAL.
1994, pp. 455.

Ham, Robert K.
WATER BALANCED AND LEACHATE QUANTITY
CURSO INTERNACIONAL SOBRE DISEÑO Y DISPOSICIÓN FINAL DE
RESIDUOS SÓLIDOS.
MARZO DE 1994.

López Ruelas, Rodolfo.
APUNTES DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL I
APUNTES DE LA E.N.E.P. ARAGÓN, U.N.A.M.
1993.

López Sánchez, Felipe.
DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS PARA
LATINOAMÉRICA.
CURSO INTERNACIONAL SOBRE DISEÑO Y DISPOSICIÓN FINAL DE
RESIDUOS SÓLIDOS.
MARZO DE 1994.

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO.
INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C.
ED. LIMUSA.
1991, pp. 236.

Nichols, Herbert L.
MOVIMIENTO DE TIERRAS
(MANUAL DE EXCAVACIONES)
COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL.
1976, pp. 1111.

**NORMAS DE PROYECTO PARA OBRAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN
LOCALIDADES URBANAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA.**

SEDUE

MANUAL DE DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS

pp. 335.

Tchobanoglous, G.

SOLID WASTE

Ven T Chow, Waidment, Davis R.

HIDROLOGÍA APLICADA

ED. Mc GRAW HILL.

1994, pp. 584.

Vidales Albarrán, Humberto.

GENERACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE BIOGAS

CURSO INTERNACIONAL SOBRE DISEÑO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

MARZO DE 1994.

Zepeda Porras, Francisco.

SITUACIÓN ACTUAL EN LATINOAMÉRICA.

CURSO INTERNACIONAL SOBRE DISEÑO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

MARZO DE 1994.

SOLID MOISTURE RETENTION.

TABLAS PARA EL MÉTODO DE BALANCE DE AGUA.

ANEXO A

COMPRESION SIMPLE

PROCEDENCIA Proyecto de Relleno S. FECHA Noviembre de 1996

LUGAR Guanajuato, Gto. OPERADOR Juan Rivera

SONDEO PCA. 1

MUESTRA 1

DESCRIPCION arena arcillosa café y gravas

MEDIDAS DE LA MUESTRA

Ds	5.15X4.95	cm	As	25.49	cm ²		Wj	526.1	g ³
Dc	5.20X5.00	cm	Ac	26.00	cm ²		Vi	337.22	cm ³
Di	5.18X5.05	cm	Al	26.16	cm ²		γm	1.560	g/cm ³
Hm	13.00	cm	Am =	As + 4Ac + A _c	=		155.65	=	25.94
							g		cm

Tiempo transcurrido seg	Carga kg	Lectura micrometro mm	Deformac. total mm	Deformación-Deformac.		Área corregida cm ²	Esfuerzo kg/cm ²	CONTENIDO DE AGUA	
				edafic	edafic			cápsula No.	
		128	0.2					peso cápsula	214
		248	0.4					peso captulo hum.	142.3
		369	0.6					peso captulo s.	124.7
		500	0.8					peso agua	17.6
		688	1.0					peso cápsula	14.7
		700	1.2					Peso sus.seco	110.0
		802	1.4					w %	16
	99.0	990	1.6	0.012	0.988	26.25	3.771		
				w=16%					
				e _m = 1.56 ton/m ³					
				q _u = 37.7 ton/m ²					

AREA CORREGIDA = Am / (1-deformación unitaria)



ESQUEMA DE FALLA EN LA MUESTRA

TABLA A

LIMITES DE PLASTICIDAD

PROCEDENCIA Proyecto de Relleno Sanitario
 LUGAR Guanajuato, Gto.
 SONDEO 1
 MUESTRA 01
 DESCRIPCION arena amarillosa café obscuro con gravas
 FECHA Noviembre de 1996
 OPERADOR Juan Rivera

LIMITE LIQUIDO

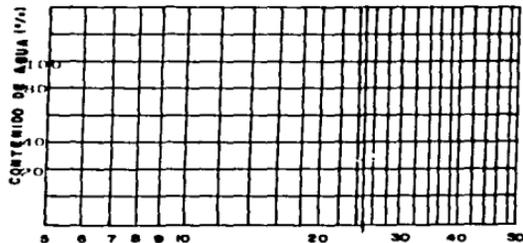
Cápsula No	Número de golpes	Peso cápsula + suelo hum. gr.	Peso cápsula + suelo seco gr.	Peso del agua gr.	Peso de la cápsula gr.	Peso del suelo seco gr.	Contenido de agua (W) %
225	25	31.30	27.60	3.70	14.11	13.44	27.40
231	25	27.34	23.05	4.29	14.23	13.11	26.60

LIMITE PLASTICO

Cápsula No	Número de golpes	Peso cápsula + suelo hum. gr.	Peso cápsula + suelo seco gr.	Peso del agua gr.	Peso de la cápsula gr.	Peso del suelo seco gr.	Contenido de agua (W) %
240		21.97	20.59	1.38	14.36	6.23	22.20
244		22.93	21.31	1.62	14.20	7.11	22.80

HUMEDAD NATURAL

Cápsula No	Número de golpes	Peso cápsula + suelo hum. gr.	Peso cápsula + suelo seco gr.	Peso del agua gr.	Peso de la cápsula gr.	Peso del suelo seco gr.	Contenido de agua (W) %
225		22.48	21.27	1.21	14.11	7.16	16.90



$w_p = 16.9$ %
 $LL = 27.0$ %
 $LP = 22.5$ %
 $I_p = 4.5$ %

TABLA B

GRANULOMETRIA POR MALLAS

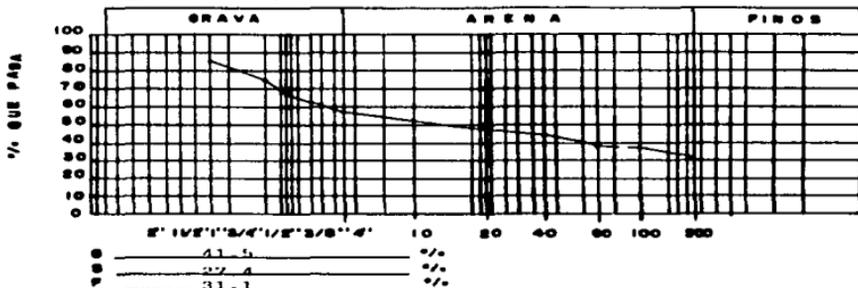
PROCEDECENCIA Proyecto de Bellano S.
 LUGAR Quandjato, Gto.
 SONDEO PCA1
 MUESTRA 1
 DESCRIPCION _____

RECIPIENTE No. _____
 TARA+MUESTRA SEC. _____
 TARA+MUESTRA HUMEDA _____
 PESO AGUA (g) _____
 TARA _____
 PESO MUESTRA SECA _____
 CONTENIDO DE AGUA _____

FECHA Noviembre de 1996
 OPERADOR Sr. Valdivia

Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido g	Por ciento retenido por %	Por ciento que pasa %	Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido g	Por ciento retenido por %	Por ciento que pasa %
2"	50.80				10	2.00	8.5	5.7	52.8
1 1/2"	38.10				20	0.850	6.3	4.2	48.6
1"	25.40	22.9	15.3	84.7	40	0.420	7.4	4.9	43.7
3/4"	19.05				60	0.250	6.9	4.6	39.1
1/2"	12.70	12.0	8.0	76.7	100	0.149	6.4	4.3	38.8
3/8"	9.52	13.6	9.1	67.6	200	0.074	5.6	3.7	31.1
sum. g	4.78	13.6	9.1	58.5	Peso 300		46.8	31.1	
Peso suelto					Suma		140.0		
Suma									

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO



S U C S

TABLA C

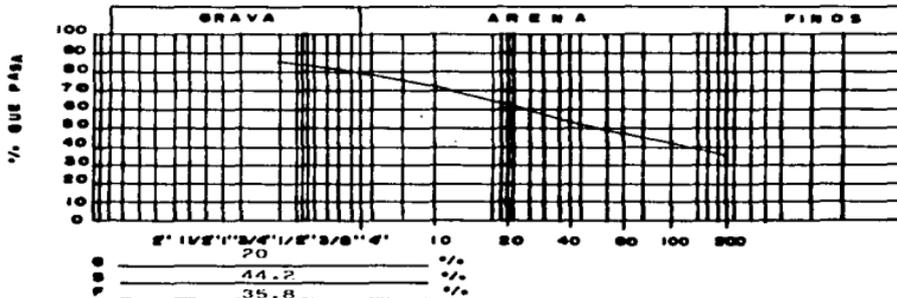
GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROCEDENCIA Proyecto de Relleno B
 LUGAR Guadalupe, Gto.
 SONDEO PCAP
 MUESTRA 01
 DESCRIPCION _____
 FECHA Noviembre de 1996
 OPERADOR Sr. Valdivin

RECIPIENTE No. _____
 TARA+MUESTRA SEC. _____
 TARA+MUESTRA HUMEDA _____
 PESO AGUA (g) _____
 TARA _____
 PESO MUESTRA SECA _____
 CONTENIDO DE AGUA _____

Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido	Por ciento retenido por	Por ciento que pasa	Malla No.	Abertura	Peso suelo retenido	Por ciento retenido por	Por ciento que pasa
	mm	g	%	%		mm	g	%	%
2"	50.80				10	2.00	11.7	7.8	72.2
1 1/2"	38.10				20	0.840	14.5	9.7	62.5
1"	25.40				40	0.420	12.9	8.6	53.9
3/4"	19.05				60	0.250	9.7	6.5	47.4
1/2"	12.70	22.1	14.7	85.3	100	0.140	8.6	5.7	41.7
3/8"	9.52				200	0.074	8.8	5.9	35.8
sum. <	4.78	8.0	5.3	80.0	Para 200		53.7	35.8	
Peso sum. >					Suave		150.0		
Suma									

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO



S U C S

LIMITES DE PLASTICIDAD

PROCEDENCIA Proyecto de Relleno Sanitario
 LUGAR Guadalupe, Gto
 SONDEO PCA3
 MUESTRA 01
 DESCRIPCION arcilla café obscuro con arena muy compacta
 FECHA Noviembre de 1996
 OPERADOR Juan Rivera

LIMITE LIQUIDO

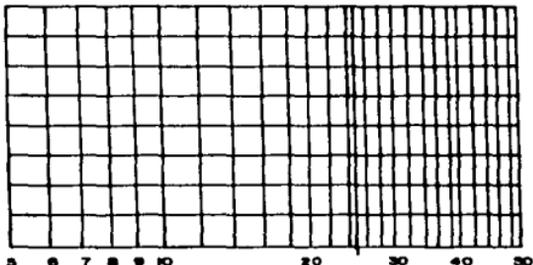
Cépsula No.	Número de golpes	Peso cépsula + muestra hum. gr.	Peso cépsula + suelo seco gr.	Peso del agua gr.	Peso de la cépsula gr.	Peso del suelo seco gr.	Contenido de agua (W) %
213	25	28.70	25.21	3.49	14.10	11.11	31.4
218	25	31.11	26.97	4.14	14.28	12.69	32.6

LIMITE PLASTICO

211		22.55	21.04	1.51	14.59	6.45	23.4
241		23.58	21.86	1.72	14.66	7.20	23.9

HUMEDAD NATURAL

CONTENIDO DE AGUA (%)



w_L = _____ %
 LL_p = 32.0 %
 LP_p = 23.7 %
 I_p = 8.3 %

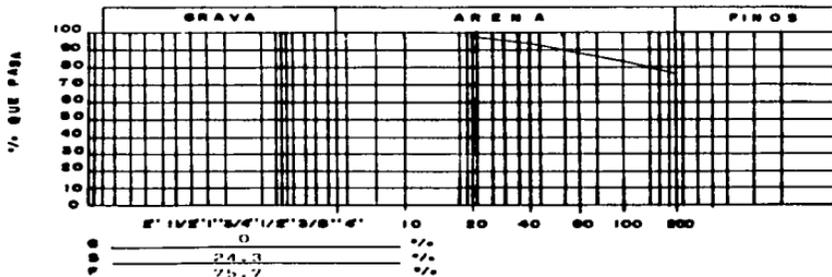
GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROCEDENCIA Proyecto de Relleno S.
 LUGAR Guadaluato, Gto.
 SONDEO PCA-1
 MUESTRA 1
 DESCRIPCION _____
 FECHA Noviembre de 1966
 OPERADOR Sr. Valdivia

RECIPIENTE No. _____
 TARA+MUESTRA SEC. _____
 TARA+MUESTRA HUMEDA _____
 PESO AGUA (g) _____
 TARA _____
 PESO MUESTRA SECA _____
 CONTENIDO DE AGUA _____

Malla No.	Abertura	Peso sieve retenido	Por ciento retenido por	Por ciento que pasa	Malla No.	Abertura	Peso sieve retenido	Por ciento retenido por	Por ciento que pasa
	mm	g	%	%		mm	g	%	%
2"	50.80				10	2.00			
1 1/2"	38.10				20	0.840	3.0	1.9	98.1
1"	25.40				40	0.420	6.4	4.1	94.0
3/4"	19.05				60	0.220	7.5	4.8	89.2
1/2"	12.70				100	0.149	9.0	5.7	83.5
3/8"	9.52				200	0.074	12.3	7.8	74.7
sum. g	4.78				Peso 200		118.8	75.7	
Peso sieve					Suma		147.0		
Suma									

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO



S U C S

CL

TABLA H

COMPRESION TRIAXIAL

OBRA <u>Proyecto de Relleno Sanitario</u>	FECHA <u>Noviembre de 1996</u>
LOCALIZACION <u>Cuansjuato, Gto.</u>	OPERADOR _____
SONDEO NUM. <u>PCA3</u>	ENSAYE NUM. _____
MUESTRA NUM. <u>3</u>	PROP. _____
DESCRIPCION <u>arcilla café obscuro con arena muy c.</u>	CALCULO _____

TIPO DE PRUEBA RAPIDA (R) CONSOLIDADA RAPIDA (Rc) LENTA (L)

MUESTRA No	W _i %	W _f %	w _L %	w _p %	σ _i %	σ _p %	σ _v kg/cm ²	σ _v -σ ₃ kg/cm ²	τ kg/cm ²	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CIP. CIP.
1	20.4		1.06		49.8		0.5	5.434	1.510	β=30.4° C=1.1kg/cm ²
2	21.0		1.09		49.9		1.0	6.514	1.500	
3	22.5		1.42		52.0		1.5	7.793	1.493	
4	21.0		1.10		49.4		2.0	9.287	1.490	

ESCALA: 1 cm = 0.5kg/cm² 2 cm = 2.59

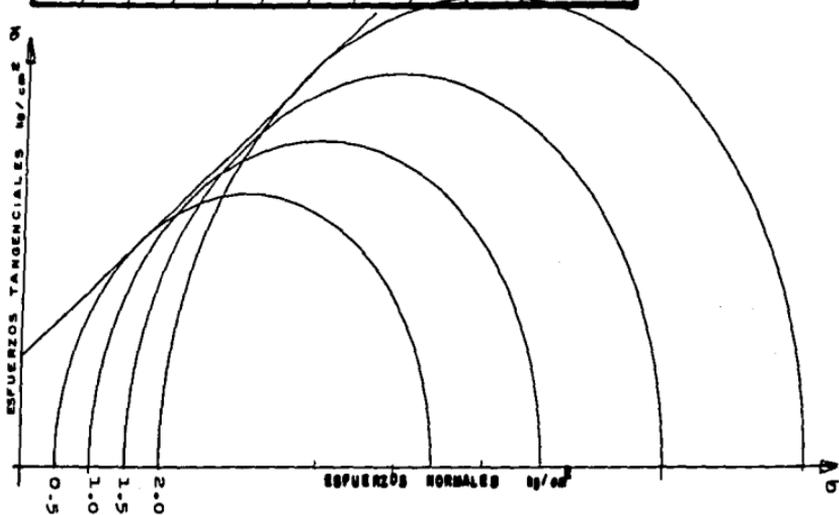
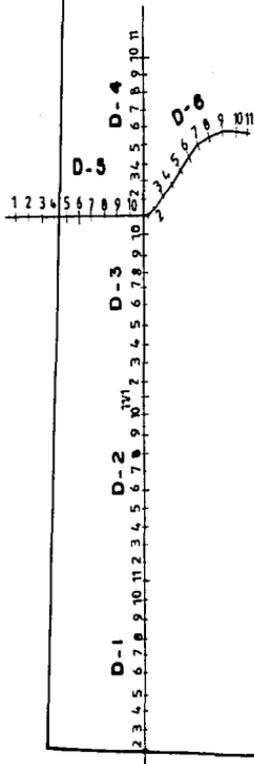


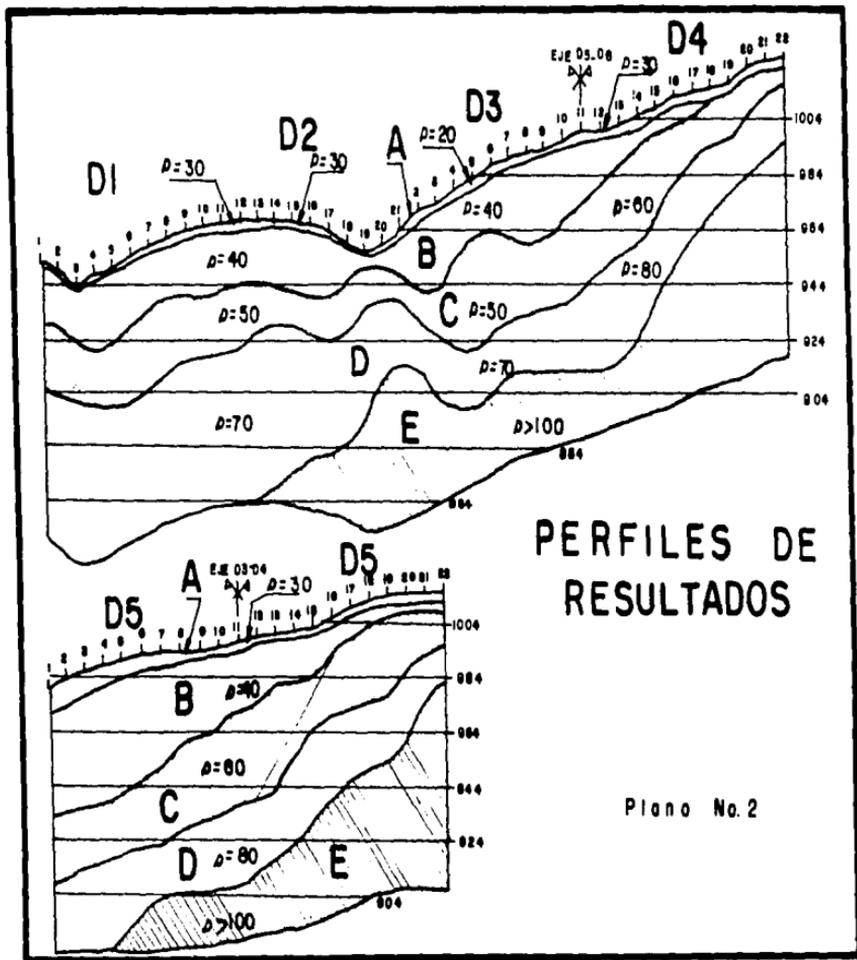
TABLA I

ANEXO B

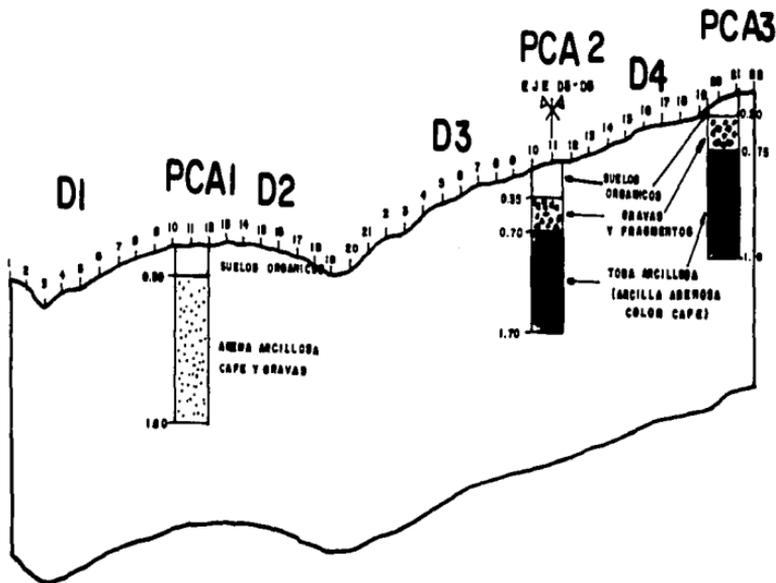
UBICACION DE DISPOSITIVOS GEOELECTRICOS



Plano No.1

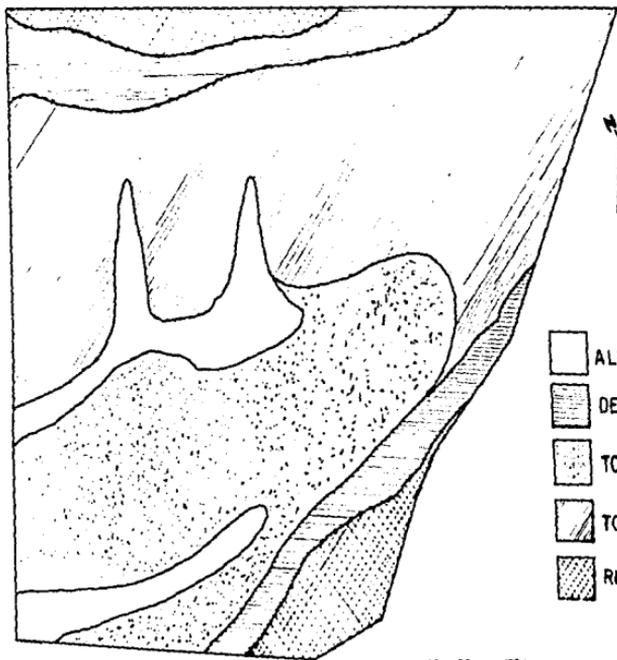


UBICACION DE LOS POZOS



Plano No. 3

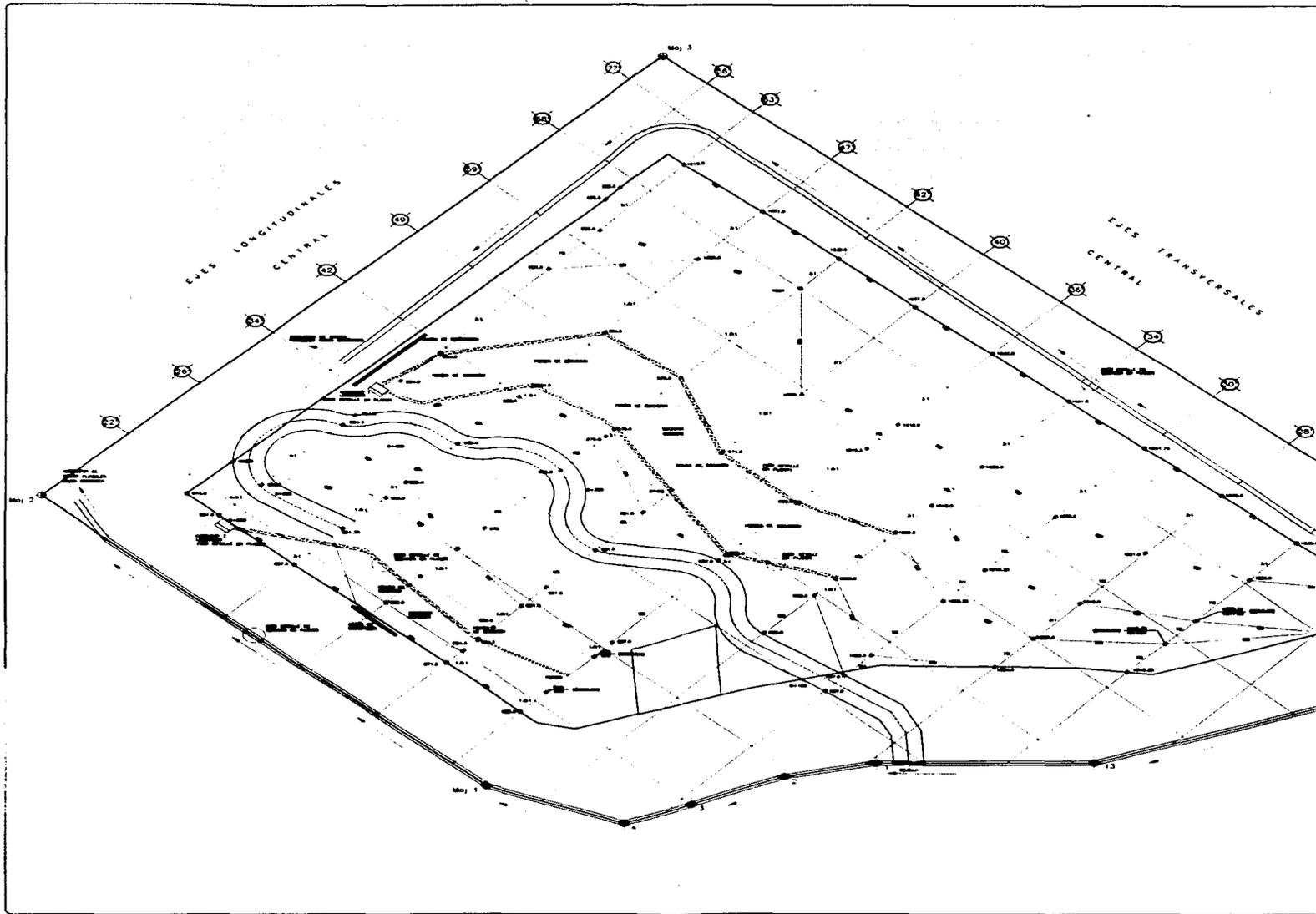
GEOLOGIA LOCAL

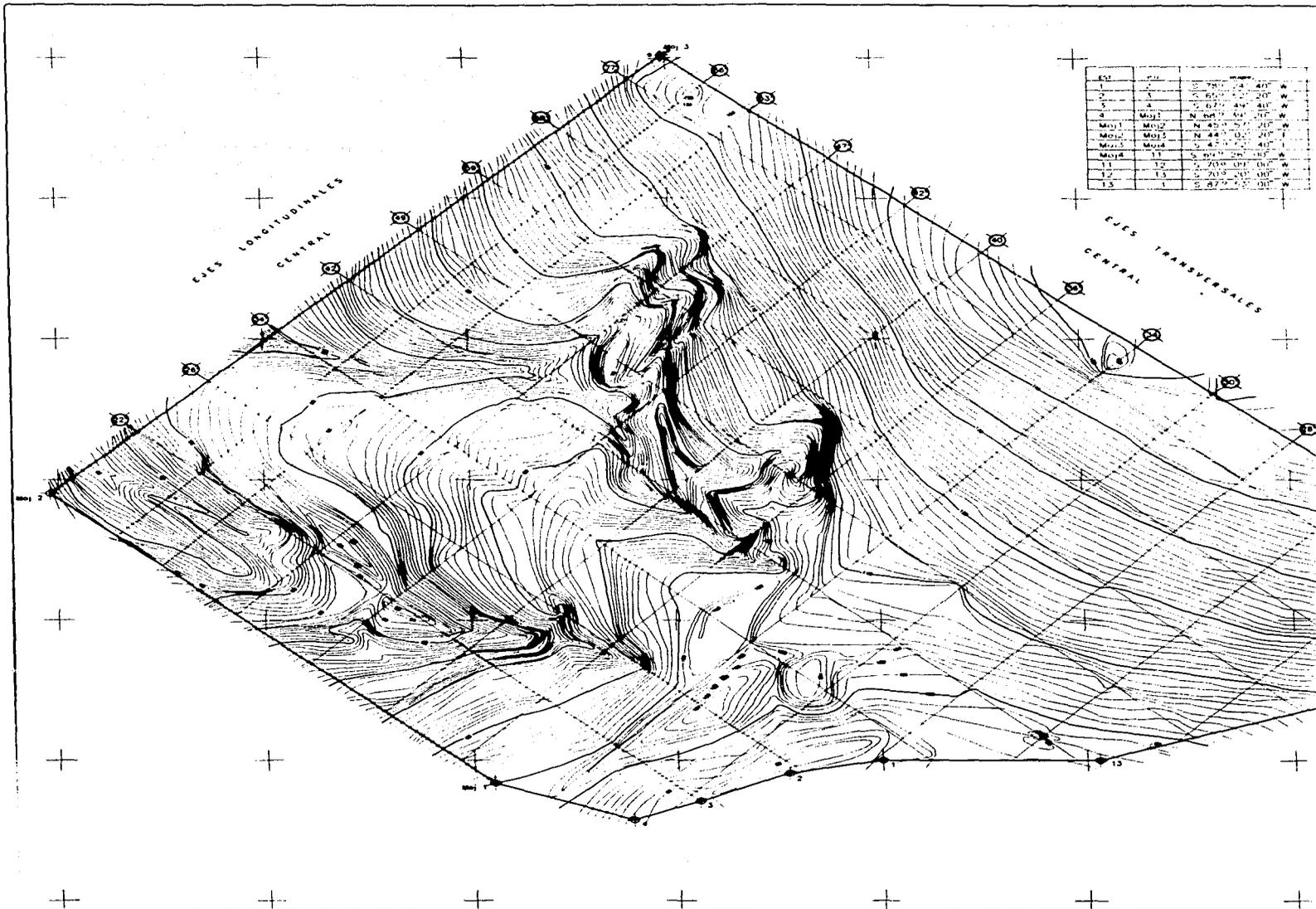


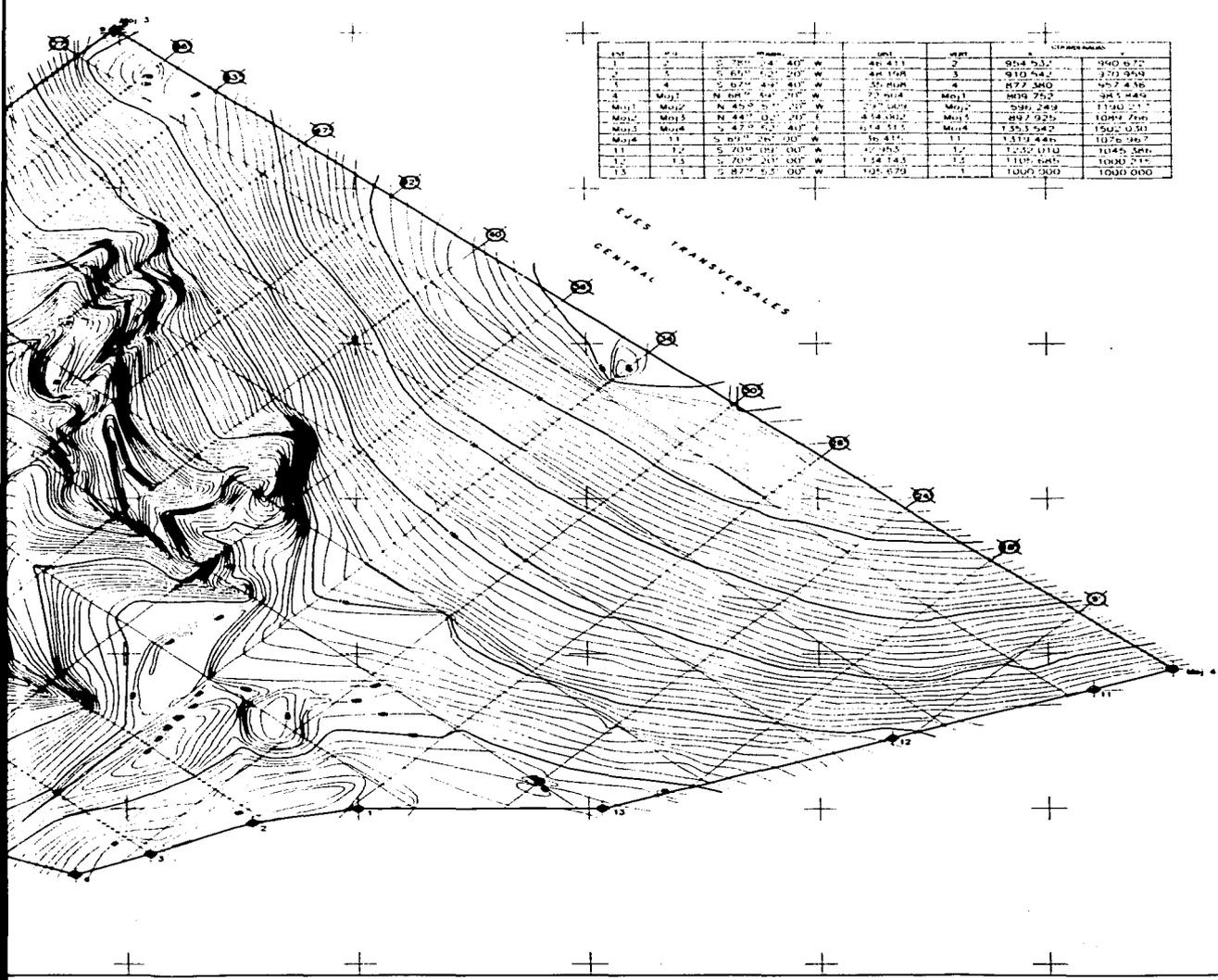
-  ALUVIAL
-  DEPOSITOS CLASTICOS
-  TOBA ARENOSA
-  TOBA ARCILLOSA
-  RIOLITAS



Plano No. 4







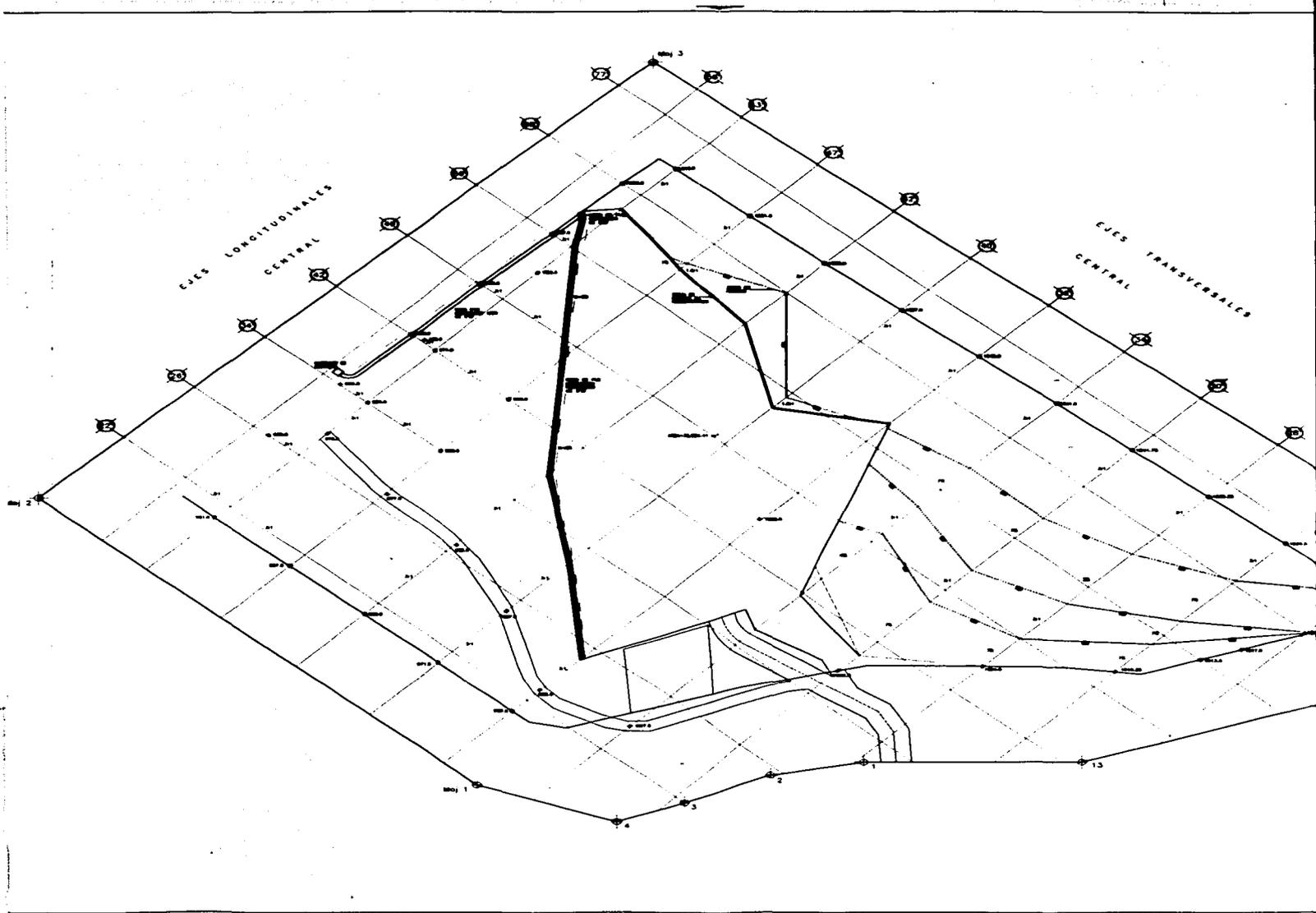
CANTONAL									
LINEA	NO.	ANGULO	DIR.	LONG.	DIR.	LONG.	ANGULO	DIR.	LONG.
1	1	270°	W	46.433	2	954.537	340°	370	940.670
2	2	270°	W	46.433	3	910.442	340°	370	959.416
3	3	270°	W	46.433	4	877.340	340°	370	949.416
4	4	270°	W	46.433	5	844.238	340°	370	949.416
5	5	270°	W	46.433	6	811.136	340°	370	949.416
6	6	270°	W	46.433	7	778.034	340°	370	949.416
7	7	270°	W	46.433	8	744.932	340°	370	949.416
8	8	270°	W	46.433	9	711.830	340°	370	949.416
9	9	270°	W	46.433	10	678.728	340°	370	949.416
10	10	270°	W	46.433	11	645.626	340°	370	949.416
11	11	270°	W	46.433	12	612.524	340°	370	949.416
12	12	270°	W	46.433	13	579.422	340°	370	949.416
13	13	270°	W	46.433	14	546.320	340°	370	949.416
14	14	270°	W	46.433	15	513.218	340°	370	949.416
15	15	270°	W	46.433	16	480.116	340°	370	949.416

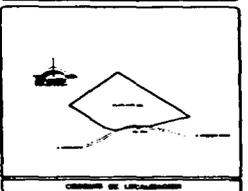
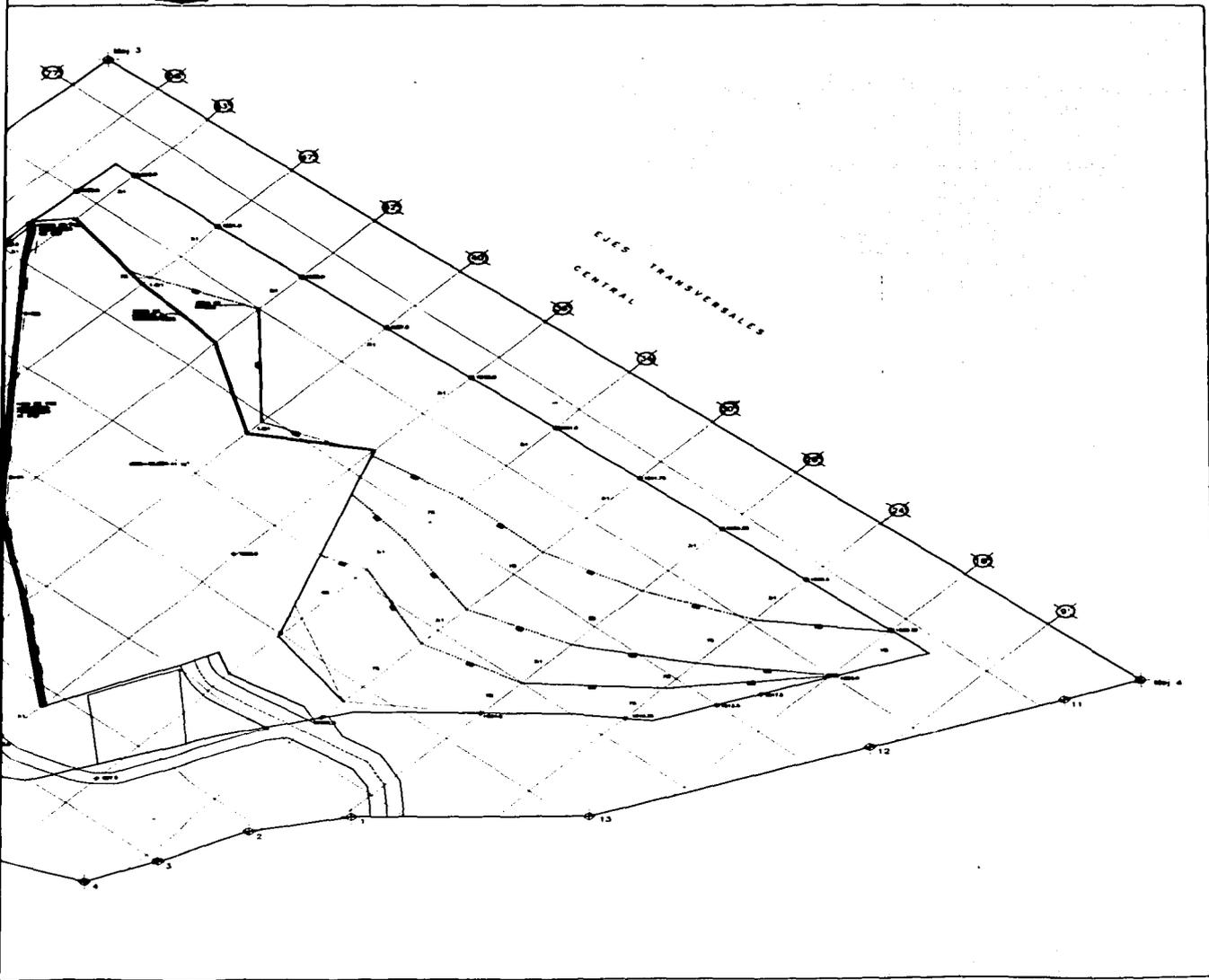


CRONO DE LOCALIZACION

PLANO LT

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



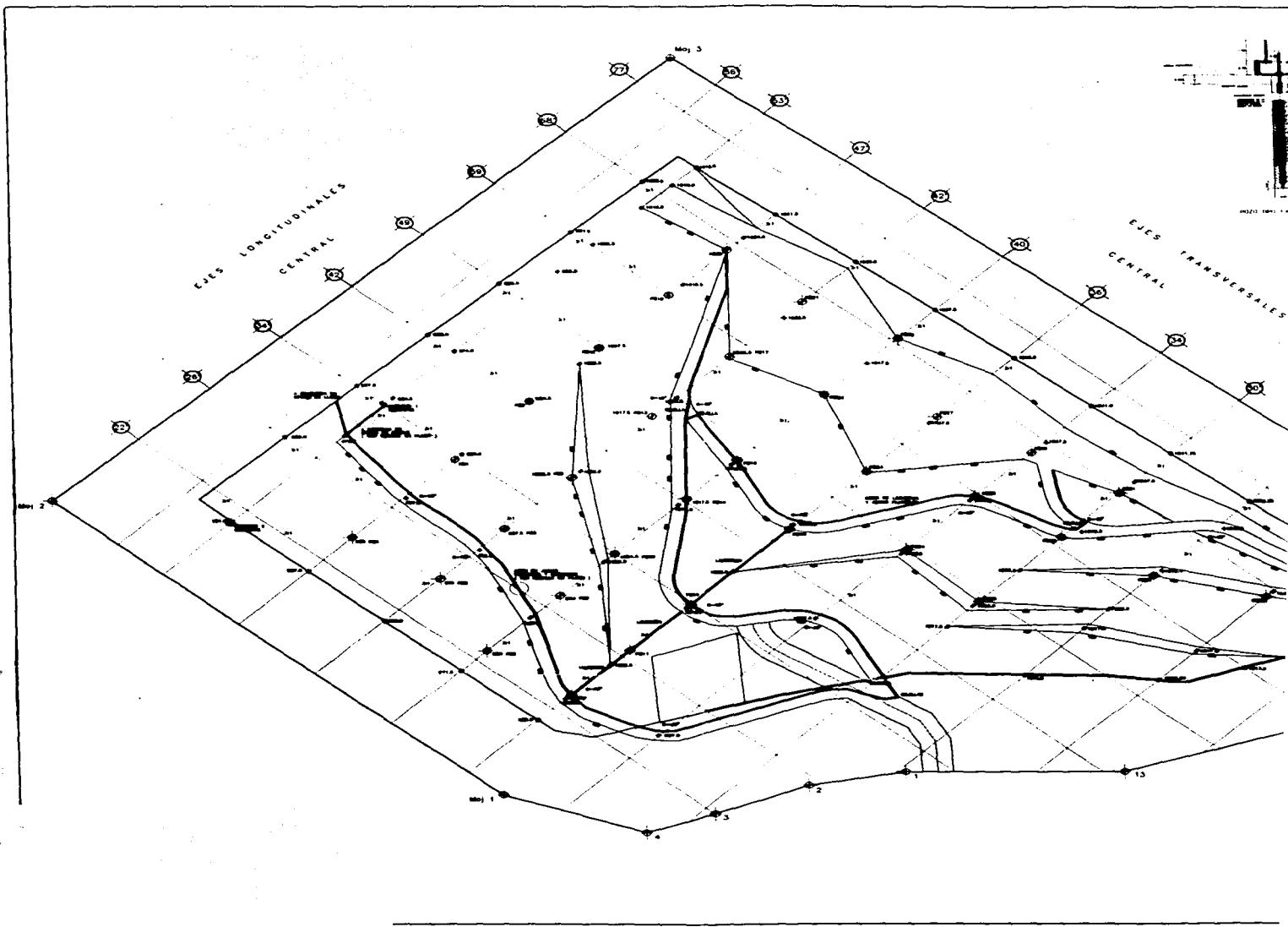


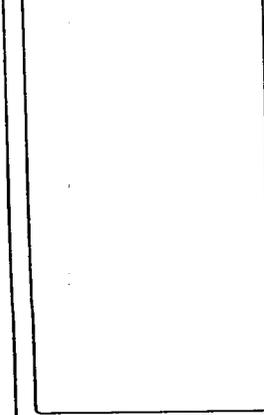
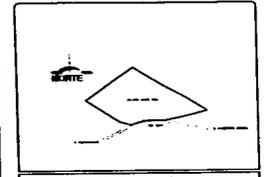
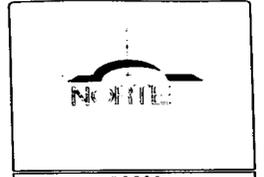
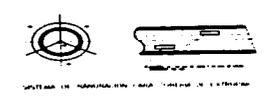
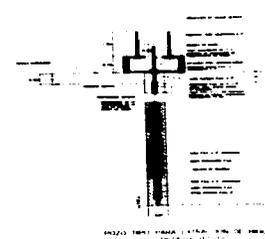
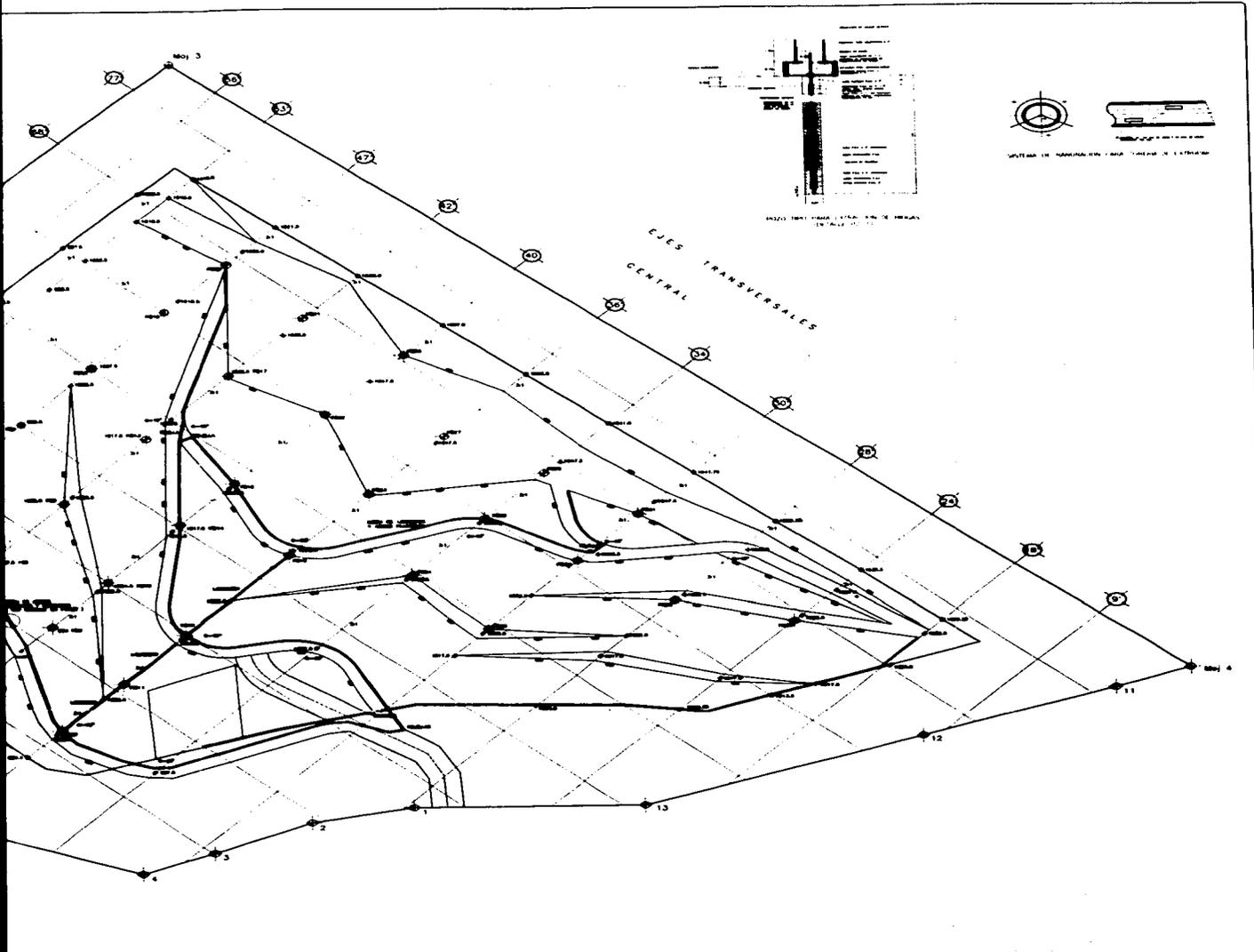
SIMBOLÓGIA

	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...
	...

PLANO E-4

CUARTA ETAPA





PLANO E-F

ETAPA FINAL