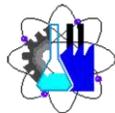




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEly CONACYT
SGC Certificada en la norma ISO 9001:2015

FORMA T-4A
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

Cuernavaca, Mor., a 25 de mayo de 2022

DR. ROBERTO FLORES VELÁZQUEZ
DRA. CARMEN HENEFF GARCIA ESCOBAR
MTRA. MARIBEL OSORIO GARCÍA
ING. CATHERINE BEATRIZ VALDEZ MAYTORENA
ING. SERGIO RENE PEDRAL MONSALVO
P R E S E N T E

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de: **TESIS:**

Estimación de reducción de emisiones por aprovechamiento de biogás de rellenos sanitarios

Que presenta (el) o (la) **C. DENICE ARLET SALGADO PRIETO**

Del programa educativo de: **INGENIERÍA QUÍMICA**

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA

Se anexa firma electrónica

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQel
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	DR. ROBERTO FLORES VELÁZQUEZ	
	DRA. CARMEN HENEFF GARCIA ESCOBAR	
	MTRA. MARIBEL OSORIO GARCÍA	
	ING. CATHERINE BEATRIZ VALDEZ MAYTORENA	
	ING. SERGIO RENE PEDRAL MONSALVO	

El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas

VALH/fmg

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209,
Tel. (777) 329 70,00, Ext. 7039/ fcqei@uaem.mx



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2022-05-25 18:27:12 | Firmante

hw1YrNb8jWIKvpzCpVHpT75R6/hnDnpQHtsaBAJ/a4JRJNlQFrqoXDD7pq1376dqwfKNOVGa/KwkJFWkSVWNYdaleKfKMrre9/vkeOI9VrBWJ5h8RQcLDV8eg1mExg31OZK0P9z27w9a2mXhwlyUYKSEHhxW4kHL5/ra5krJokJ2cPgcNOK2Sk+JE4LgyPG/Kg1B8RYA3gajkGkAooAvTmCjIYWRJnbGKNDv/oD+4NzXnvJt66iUBRYgM1Ks72Yt1ACEnivQkHLM5TmmohAoZv7G/x8LA87mVE7SUbvleehI4yywzdUR3tESGpNW/4vSuE+g0AxWtmc/ZxBKAQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



VK1PG60pS

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/jEOR11CjMYyN7lx43yI13Nyncgz2D1xM>

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

CATHERINE BEATRIZ VALDEZ MAYTORENA | Fecha:2022-06-03 16:00:58 | Firmante

iHWMjtB47N37zoAJA2CFgT3frwCRCYsHUfwQ11w0E1rAL3EwtfXD/oa/OgA59pR/C5MFXG4nOLp3PI+kjb3FOP9++Y8G8NXyt2+U/VTkJqyEbR4OZlcZbmrUULp6MKLTcMWqY2COmftta2ofQX9Lrua3TMJHnJJUnFJIANKj4zppAG+S8Q29V8UPJlWALw3l8nJ2HSiAnVDRmWFwN/muLi6mWNCkEeSTJMmOhhqANNHyd0goFqTS4OmeelgsUSVgGe6bSZSXXxHNnzF5ebthzW1Jgx/Y5orAgJ2Kn4/upD2jSCE8r9evNvaRCnJxbT4xRHilyZ4pFfxCODie2cA==

CARMEN HENEFF GARCIA ESCOBAR | Fecha:2022-06-04 08:40:03 | Firmante

OO0JEJGHHWVeAzeJbNVfnJrSKRwCjX1tecPaAAjxdWMOio93cuijxMAap5gXFmcl/Yufu0NQop4l/SX/yNzA59jf8g91rPUu9cEx0eYIR/owCCSQB+XGbjar3krVdT+vhrAQFgLE9BJZkqXK75rTAXyfmv2hJac7PG4WS39O/Zqk7n+3KVRQ+blHQzj4jOg7Si/kow2l0AeVoBG7EAAUHQVfzGrhw2dapfisySKz+KY/VZ7kSmRvk+clq0EpG2GW9i96Pt2sIFuVN2jxdb/Xdlcm6ORJQMyo5OgGjYyDj8CuvD3KOVyuJ+BcAGv1rG49+UaxMtDR1vu80CNYD+ZQ==

SERGIO RENE PEDRAL MONSALVO | Fecha:2022-06-09 15:45:10 | Firmante

OuRgOJ1zXfiebS7oOcvaxXhr1DDQMmXFQnLg6O2Y0qxLup7NaZ3Syas3c3A1qvDmfWmaTuexy21UVeVb06VUrihr/UuE56+Pcjux5fov4Wr1FHZJJKQgVERwPL9gasxIQPLIA56hSVaT2to8z+mA0DMQ678lnWN+MkP7l7jgJAUt05Jw2w/MDulj4Xg/HmPMxUsAJlwlBb9g9Fr/D+vHNsnyU99m8txqzUmJo7jNFg60n2BsrG6z8MmMR4MY3jWmV08PozB1wwpLk9G1IQPjmc2WedQ8aBmulyGK+V/fXvit4ZqseanoalXQWBBdfDpoo+DxmWsl1SGAhpKSeBjcsA==

MARIBEL OSORIO GARCIA | Fecha:2022-06-16 11:02:53 | Firmante

gj4EqTu/TEn1X1/b8VK/ORbxwXjQUDe4zkvcz5tmNetD/S13Cq77+A7XM0laYwOcrf5JfQpNNtkz8vmxJUgYlPwa/vmFOQcqJCo/NLva1sQmlbjGGWkvLFD9Aow43UHK1eomOkpAWOGS5LYU9Uh173r3iffgcGSgxRTE45j9vk2dwUfkVY4hZUNncxG6YnkHxAH3A9sTe0lZQqKnA1QXpxGK/CuQY8ra7wQqaonOfxyJAQybcyraskETGitlQLogQqYWnX0Ov8oAHsh93E7Om9ldqm+83zt5+bz6Lfe9flj1j5f4ea/MIZwlnAaQw/GaZRJZLTkgHKDIIR+zGw==

ROBERTO FLORES VELAZQUEZ | Fecha:2022-07-26 21:00:09 | Firmante

Y16rVObPpdY972sWn5o4iFulpMKuc1l6qdWaziZiFop5Xsi90Qn9YVjRgv5ZNP EA7CGbOsQPBE+M0dlfgdCZS4EN4u3jAryQPqg19pFjswRixN7/DVzNhF8dbI0eXr2/ihKxJwAgtWp36Q2z/+2VmRjxMXOqMRK7vprFZT2iaf5+loox6RwUw/lmdPBC5ecHnQcyTSXiD6pt9CFTWXhwCAsSfnlJN1ETKITTVjnUfizXXvLSU7DKyuhisldMUbl0XHIP1w/2DLvc1iDSk8ZaVwms8Wk/1nOllb402Tmr+mXuXmW05niyHHimyxnnngY0l6rOGnK1EcnJb9oSPWIA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

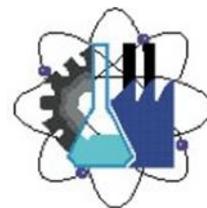


uBH9t4Yse

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/fkzHDXYAcMH8eV9UMCeSY74GzooXAdzm>



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS**



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

**Estimación de reducción de emisiones por
aprovechamiento de biogás de rellenos
sanitarios**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

PRESENTA:

SALGADO PRIETO DENICE ARLET

ASESOR

DR. FLORES VELÁZQUEZ ROBERTO

CUERNAVACA, MORELOS

ABRIL 2022

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme tener una buena experiencia dentro de mi estadía en la universidad, gracias a la universidad por permitirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación.

Agradezco a M.B. MACHIN RAMÍREZ CONSTANZA por incluirme y ser parte de su equipo de trabajo, fue un honor haber podido trabajar en los proyectos que proponía y aportarme los conocimientos que ahora tengo y todo el apoyo que me brindó.

Agradezco a mi asesor de tesis el DR.FLORES VELÁZQUEZ ROBERTO por siempre darme ánimos a lo largo de la carrera, brindándome su apoyo incondicional, por ser muy comprensivo, es una persona a la cual admiro y aprecio, le agradezco todos los conocimientos que me aportó, ha sido un placer haber trabajado con él, una persona que transmite felicidad y seguridad.

Para finalizar agradezco a la vida por este nuevo triunfo, a cada persona que estuvo en este trayecto de mi vida y creyó en mí en la realización de la tesis, apoyándome y dándome ánimos para seguir con esto y nunca rendirme.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo que me llevó tiempo y esfuerzo a dos personas a las cuales amo con toda mi alma, mi padre SALGADO MACÍAS VÍCTOR y mi madre PRIETO SOTO LUZ MARÍA, gracias a ellos pude concluir mi carrera y este trabajo, con mucho sacrificio siempre me apoyaron y dieron todo para que yo estuviera bien.

Este gran logro que ahora tengo también es de ellos, porque sin su ayuda no podría haber obtenido este resultado, siempre estuvieron a mi lado, en cada desvelo en todo momento sentí su apoyo y sus ánimos para seguir adelante y sobre todo el cariño que me brindan.

Infinitas gracias, padre y madre por este logro de muchos que vendrán, espero que se sientan orgullosos de la persona en la que me convertí y en todo lo que eh logrado hasta el momento porque ustedes son mi inspiración y orgullo, los admiro desde que era una niña y así será siempre porque para mí, ustedes son lo mejor que pueda existir en este universo y no habrá alguien que los supere, yo soy su fan número 1, ¡los amo y admiro!

RESUMEN

Las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI's) son responsables de múltiples problemas que enfrentamos actualmente. Dichas emisiones son el resultado de las actividades humanas desmedidas, de la mala administración de los recursos, así como del aumento poblacional descontrolado.

Debido a las repercusiones sobre la salud y las alteraciones que provocan en el equilibrio de gases de la atmósfera, mismo que repercute fuertemente en la temperatura del planeta; es necesario crear herramientas que nos permitan tener acceso a toda la información cuantificable y reciente de cada GEI.

Existen diferentes tipos de relleno sanitario, las características que deben tener dependerán del lugar donde se construirán. Los rellenos sanitarios si bien tienen una vida útil de 20 años , se les alimenta por 10 años, el porcentaje de gases de invernadero que producen dependerá de la cantidad de residuos con los que se alimente el relleno sanitario será el porcentaje de cada gas que se producirá, teniendo en cuenta la maquinaria necesaria para procesar y quemar los gases para aprovechar al máximo y así convertirlo en energía eléctrica, existen varios programas que nos permiten calcular las emisiones generadas para un relleno sanitario pero para este trabajo se optó utilizar el programa LANDGEM ya que este programa es el más exacto al momento de realizar los cálculos correspondientes para obtener las emisiones generadas, teniendo esos datos podremos generar una hoja de cálculo en EXCEL para realizar cálculos correspondientes a la quema del gas, emisiones totales de dióxido de carbono equivalente, emisiones de dióxido de carbono por el metano quemado y sin quemar, electricidad generada, emisiones que se dejan de producir en el sistema eléctrico mexicano, emisiones del proyecto y los certificados de carbono.

SUMMARY

Greenhouse Gas (GHG) emissions are responsible for multiple problems we face today. These emissions are the result of excessive human activities, the mismanagement of resources and the uncontrolled increase in the population. Due to health impacts and disturbances in the equilibrium of gases in the atmosphere, which have a strong impact on the temperature of the planet; it is necessary to create tools that allow us to have access to all the quantifiable and recent information of each GHG.

There are several types of landfills depending on the type of place where it is intended to build will be the specific characteristics of the landfill, giving it a useful life of 20 years with which only 10 years will feed the landfill, thus producing such greenhouse gases, depending on the amount of waste fed to the landfill will be the percentage of each gas that will be produced, taking into account the machinery needed to process and burn the gases in order to make the most of them and thus convert them into electrical energy, there are several programs that allow us to calculate the emissions generated for a landfill but for this work it was chosen to use the LANDGEM program since this program is the most accurate at the time of making the corresponding calculations to obtain the emissions generated, having that data we can generate a spreadsheet in EXCEL to perform calculations corresponding to gas flaring, total carbon dioxide emissions equivalent, carbon dioxide emissions from burned and unburned methane, electricity generated, emissions that are no longer produced in the Mexican electricity system, project emissions and carbon certificates.

INDICE DE CONTENIDO

1	CAPITULO 1	9
1.1	ANTECEDENTES HISTÓRICOS	9
1.2	CALENTAMIENTO GLOBAL	9
1.3	GASES DE EFECTO INVERNADERO	10
1.4	CAMBIO CLIMÁTICO	10
1.5	PROTOCOLO DE KYOTO	11
1.5.1	<i>Mercados de permisos de emisión</i>	11
1.5.2	<i>Proyectos de aplicación conjunta</i>	12
1.5.3	<i>Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)</i>	12
1.6	BONOS DE CARBONO	14
1.7	ACUERDO DE PARÍS	14
1.7.1	<i>Objetivo a largo plazo referente a la temperatura</i>	15
1.7.2	<i>Punto máximo y neutralidad climática</i>	15
1.7.3	<i>Mitigación</i>	15
1.7.4	<i>Participación voluntaria</i>	16
1.8	RÉGIMEN JURÍDICO DE LOS COMPROMISOS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	16
1.9	PROBLEMÁTICA EN LA DISPOSICIÓN DE LA BASURA	16
2	CAPITULO 2	17
2.1	OBJETIVO GENERAL	17
2.2	OBJETIVO ESPECIFICO	17
2.3	BIOGÁS	18
2.4	PROCESO DE COMBUSTIÓN DE LA GENERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS	19
2.5	CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO SANITARIO	19
2.6	TIPOS DE BASURERO “RELLENOS SANITARIOS”	20
2.7	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS “RELLENOS SANITARIOS”	24
2.8	DEFINICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	25
2.9	ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	26
2.10	CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	28
2.11	PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	35
2.12	GENERACIÓN	36
2.12.1	<i>Generación del gas de vertedero y composición de lixiviados</i>	38
2.13	PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO BIOGÁS DE RELLENOS SANITARIOS	40
2.14	GENERACIÓN DE ENERGÍA POR MEDIO DEL BIOGÁS	43
3	CAPITULO 3	46
3.1	ESTADÍSTICA DE BASURA EN LA ZONA CONURBANA EN MORELOS	46
3.2	DESARROLLO EXPERIMENTAL: SOFTWARE LANDGEM	47
3.2.1	<i>Ecuación de primer orden para la tasa de descomposición</i>	49
3.2.2	<i>Tasa de metano generado</i>	50

3.2.3	Capacidad de potencial de generación de metano (L0)	51
3.2.4	Concentración de compuestos orgánicos diferentes al metano	52
3.2.5	Contenido de metano	52
3.2.6	Sección de gases y contaminantes	53
3.2.7	Datos entrantes de aceptación del desecho	53
3.2.8	Impresión de entradas	54
3.2.9	Observando e imprimiendo los resultados finales	54
3.2.10	Graficas de resultados	55
3.2.11	Resultados de inventario	55
3.2.12	Reporte resumido	55
3.3	GENERACIÓN DE CERTIFICADOS DE CARBONO	55
4	CAPITULO 4	56
4.1	COMPOSICIÓN DE LA BASURA	56
4.2	DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE POTENCIAL DE GENERACIÓN DE METANO	58
4.3	CÁLCULO DEL CARBÓN ORGÁNICO DEGRADABLE (DOC)	59
4.4	CÁLCULO DE FRACCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DEGRADABLE ASIMILADO DOCF	60
4.5	CÁLCULO DE LA TASA DE GENERACIÓN DE METANO	61
4.6	CÁLCULO DE LA GENERACIÓN DE METANO	61
4.7	CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO SOLO POR LA QUEMA DEL GAS	65
4.8	GENERACIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO	68
4.9	GENERACIÓN DE METANO CON UN 85% DE QUEMADO	69
4.10	ENERGÍA GENERADA	74
4.12	EMISIÓN DE CERTIFICADO DE CARBONO	82
5	CONCLUSIÓN	84
6	REFERENCIAS	86

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.	GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI'S)	10
TABLA 2.	ANEXO 1	13
TABLA 3.	ANEXO 1 A	13
TABLA 4.	AGRUPAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS POR FUENTE DE ORIGEN	27
TABLA 5.	CARACTERÍSTICAS DEL LANDGEM	48
TABLA 6.	VALORES PARA LA TASA DE GENERACIÓN DE METANO POR AÑO (K)	51
TABLA 7.	VALORES CARACTERÍSTICOS DE LA CAPACIDAD POTENCIAL DE GENERACIÓN DE METANO (L0)	52
TABLA 8.	GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR COMPOSICIÓN EN LA ZONA CONURBANA EN MORELOS	56
TABLA 9.	COMPOSICIÓN DE BASURA EN LA ZONA CONURBANA EN MORELOS	57

TABLA 10.	CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS MUNICIPALES	58
TABLA 11.	PORCENTAJE DE CARBÓN ORGÁNICO DEGRADABLE	58
TABLA 12.	PROYECCIÓN DE GENERACIÓN ANUAL DE BASURA EN LA ZONA CONURBADA DE MORELOS 61	
TABLA 13.	PRODUCCIÓN DE METANO Y DIÓXIDO DE CARBONO	62
TABLA 14.	EMISIONES ANUALES DE METANO	64
TABLA 15.	GENERACIÓN ANUAL TOTAL DE GASES DEL RELLENO SANITARIO EN LA ZONA CONURBADA EN MORELOS	66
TABLA 16.	DATOS PRINCIPALES	67
TABLA 17.	CANTIDAD DE DIÓXIDO DE CARBONO POR LA QUEMA DEL METANO	68
TABLA 18.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	70
TABLA 19.	GENERACIÓN DE METANO CON UN 85% DE QUEMADO.....	71
TABLA 20.	METANO PRODUCIDO.....	74
TABLA 21.	ESPECIFICACIONES DEL MOTOR G3520C	76
TABLA 22.	ENERGÍA GENERADA	77
TABLA 23.	PRODUCCIÓN DE METANO Y ENERGÍA GENERADA	78
TABLA 24.	CAMBIO DE UNIDADES EN ENERGÍA GENERADA	79
TABLA 25.	EMISIONES QUE SE DEJAN DE PRODUCIR Y EMISIONES DEL PROYECTO	81
TABLA 26.	EMISIÓN DE CERTIFICADO DE CARBONO	82

INDICE DE FIGURAS

FIGURA1.	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCESO	44
FIGURA2.	REPRESENTACIÓN DE LA FUNCIÓN DE LAS TURBINAS DE GAS	45
FIGURA3.	PROYECCIÓN DIARIA DE GENERACIÓN DE BASURA EN LA ZONA CONURBADA EN MORELOS 47	
FIGURA4.	MÁXIMA PRODUCCIÓN DE GAS	64
FIGURA5.	QUEMADOR MODELO QH-120.....	70
FIGURA6.	MOTOR MODELO G3520C.....	77

1 CAPITULO 1

1.1 Antecedentes históricos

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Tras las guerras mundiales comienzan a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal. Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década de los 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los latinoamericanos.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

El consumo energético actual se basa mayoritariamente en los combustibles fósiles (el petróleo, el gas natural y el carbón) sumaron países el 86.9% de la energía primaria consumida, por lo que es el principal causante de las emisiones de gases de efecto invernadero, acelerando el calentamiento global y las conocidas y temidas consecuencias que éste conlleva. (Hilbert, 1992)

1.2 Calentamiento global

Es el fenómeno ocasionado por los cambios promedio del aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. La opinión científica sobre el cambio del clima dice que; "la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años se atribuye a la actividad humana". La causa del calor inducido por los humanos se debe al aumento de dióxido de carbón. (López, 2015)

1.3 Gases de efecto invernadero

Tabla 1. Gases de efecto invernadero (GEI's)

Hidrofluorocarbonos (<i>HFC</i>)
Dióxido de Carbono (<i>CO₂</i>)
Metano (<i>CH₄</i>)
Óxidos de nitrógeno (<i>N₂O</i>)
Perfluorocarbonos (<i>PFC</i>)
Hexafluoruro de azufre (<i>SF₆</i>)

Son gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. Su concentración atmosférica es baja, pero tienen una importancia fundamental en el aumento de la temperatura del aire próximo al suelo, haciéndola permanecer en un rango de valores aptos para la existencia de vida en el planeta.

Los gases de invernadero más importantes son: Hidrofluorocarbonos (*HFC*), Dióxido de Carbono (*CO₂*), Metano (*CH₄*), Óxidos de nitrógeno (*N₂O*), Perfluorocarbonos (*PFC*) y Hexafluoruro de azufre (*SF₆*). (Moran, 1989)

1.4 Cambio climático

Los científicos están convencidos de que en que la temperatura global seguirá aumentando en las próximas décadas, en gran parte debido a los gases de efecto invernadero que producen las actividades humanas. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), que incluye

a más de 1 300 científicos de Estados Unidos y de otros países, predice un aumento de la temperatura de entre 2.5 y 10 °F durante el próximo siglo.

Los factores que afectan los cambios de temperatura media de la Tierra y el cambio climático son los cambios en el desnivel del mar, los efectos de las nubes, la emisión de aerosoles a la atmósfera, aumento en las emisiones de dióxido de carbono, gas metano, hidratos de metano. Además, los cambios de reflexión terrestres y los cambios en el campo magnético exterior. El citado autor Miller indica que otros factores son la contaminación del aire, los cambios en el hielo polar, el contenido en vapor de agua y la cantidad de cobertura de nubes y la cantidad de energía solar que alcanza la Tierra. Sin embargo, la Cumbre de Poznan, Polonia, 2008, consideró que el cambio climático se debe a la emisión de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles. (Vides-Almonacid, 2014)

1.5 Protocolo de Kyoto

Ante la amenaza del cambio climático, numerosas naciones y organismos comenzaron a solidarizarse entre sí para lograr mitigarlo. La preocupación por el medio ambiente se ha posicionado en la sociedad como un punto central a resolver, lo que ha llevado a sí mismo a que distintas áreas de la ciencia aborden este tema. El Protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional vinculado a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible mediante la limitación y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente Dióxido de Carbono (CO_2), con los menores efectos adversos posibles sobre las relaciones económicas, la sociedad y el medio ambiente, especialmente en los países en vías de desarrollo. Para ello asigna una meta nacional a cada país (y grupo de países, como por ejemplo la Unión Europea) para el período 2008-2012:

- Reducir al menos un 5% las emisiones de GEI realizadas en 1990 para los países desarrollados. La Unión Europea en su conjunto se propuso reducir el 8%.
- Y de las emisiones realizadas en años posteriores en los países en proceso de transición a una economía de mercado.
- No fija metas concretas para los países en vías de desarrollo. Para alcanzar estos objetivos del Protocolo de Kyoto, este propone los siguientes mecanismos de flexibilidad: (De garcía, 2011)

1.5.1 Mercados de permisos de emisión

Permite la comercialización de Unidades de Cantidades Asignadas (AAU) entre países industrializados. Los países (o empresas) que reducen sus emisiones por

encima de lo convenido pueden vender los permisos sobrantes a aquellos que tienen serias dificultades financieras para lograr su meta. Otra opción es conservar dicho permiso como Activo. (De garcía, 2011)

1.5.2 Proyectos de aplicación conjunta

Permite a los países industrializados cumplir parte de sus obligaciones de recortar las emisiones de GEI pagando proyectos que reduzcan las emisiones en otros países industrializados. Los gobiernos patrocinadores recibirán créditos que podrán aplicar a sus objetivos de emisión; las naciones receptoras obtendrán inversión extranjera y tecnología avanzada. (De garcía, 2011)

1.5.3 Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)

A través de este sistema, los países industrializados invierten y transfieren tecnologías limpias a los países en vías de desarrollo. A cambio reciben Unidades de Emisiones Reducidas (CERS), las cuales a su vez se comercializan.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio consiste en la implementación de proyectos en países en desarrollo, con ayuda de los países industrializados, que permiten una reducción de emisiones adicional a la que se hubiese producido en caso de emplearse tecnología convencional. El artículo 12 del Protocolo de Kyoto, señala que el propósito del MDL es ayudar a los países no incluidos en el anexo 1 a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo de reducir las emisiones de GEI. Al mismo tiempo los países incluidos en el Anexo 1 se benefician ya que, a cambio de invertir en aquellos países, transfiriéndoles tecnologías limpias o financiando proyectos de reducción de emisiones, y permitiendo el desarrollo económico, reciben Certificados de Reducción de Emisiones (CERs). Tales certificados pueden comercializarse y adquirirse por los países desarrollados y en proceso de transición a una economía de mercado para cumplir con una parte de sus compromisos de limitación y reducción de emisiones. Para desarrollar un proyecto dentro del marco del desarrollo limpio, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- El proyecto debe ser llevado adelante en forma voluntaria por las partes participantes.
- Debe producir beneficios reales, mensurables y a largo plazo, relacionados con la mitigación del cambio climático. Es decir, debe contribuir al desarrollo sostenible, a través de la transferencia de tecnologías limpias y conocimientos tecnológicos sin provocar efectos adversos sobre el medio ambiente. Cabe señalar que no se permite el desarrollo de proyectos de energía nuclear.

- Debe producir un ahorro de emisiones mayor al que se hubiese logrado si el proyecto no se hubiese realizado. (De garcía, 2011)

Tabla 2. Anexo 1 países con MDL

Australia	Austria	Bulgaria	Canadá	Croacia
Republica Checa	Dinamarca	Estonia	Comunidad Europea	Finlandia
Francia	Alemania	Grecia	Hungría	Islandia
Irlanda	Italia	Japón	Letonia	Liechtenstein
Lituania	Luxemburgo	Mónaco	Holanda	Nueva Zelanda
Noruega	Polonia	Federación Rusa	Eslovaquia	Eslovenia
España	Suecia	Suiza	Ucrania	

Tabla 3. Anexo 1 A países no pertenecientes al MDL

Antigua y Barbuda	Argentina	Bahamas	Barbados	Bolivia	Brasil
Chile	Colombia	Costa Rica	Cuba	Rep. Dominicana	Ecuador

El Salvador	Guatemala	Guinea	Honduras	Jamaica	México
Nicaragua	Panamá	Paraguay	Perú	Santa Lucía	Mozambique
Malasia	China	Mongolia	Cambodia	Indonesia	Armenia
Filipina	Sri Lanka	Pakistán	Qatar	Sur África	Israel
Tunisia	Egipto	Cyprus	Corea	Moldova	India
Trinidad y Tobago	Uruguay	San Vicente y Granadinas	Blangadesh		

1.6 Bonos de carbono

Los Bonos de Carbono, también llamados Certificados de Carbono o Créditos de Carbono, son uno de los mecanismos propuestos por el Protocolo de Kyoto para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, en gran medida responsables del calentamiento global. Estos gases son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Para cumplir con sus metas de reducción de emisiones, los países desarrollados pueden financiar proyectos de captura o abatimiento de gases invernadero en otras naciones principalmente en vías de desarrollo. De esta forma pueden acreditar tales disminuciones como si hubiesen sido hechas en territorio propio. Este mecanismo abarata significativamente los costos de cumplimiento. (Pouillard, 2008)

1.7 Acuerdo de París

El Acuerdo de París es un nuevo tratado internacional que se adoptó en 2015 durante la COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Es un acuerdo universal y vinculante que busca mejorar la aplicación de la Convención. Su objetivo es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza. Los aspectos clave del Acuerdo de París son: (El Cambio, 2015)

1.7.1 Objetivo a largo plazo referente a la temperatura

El Acuerdo de París, al tratar de fortalecer la respuesta mundial al cambio climático, reafirma el objetivo de limitar el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de los 2°C, al tiempo que prosiguen los esfuerzos para limitarlo a 1.5°. (El Cambio, 2015)

1.7.2 Punto máximo y neutralidad climática

Para alcanzar este objetivo de temperatura, las Partes se proponen alcanzar cuanto antes el punto máximo de las emisiones de GEI a nivel mundial, y a reconocer que ese punto máximo llevará más tiempo a las Partes que son países en desarrollo, con el fin de lograr un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de GEI en la segunda mitad del siglo. (El Cambio, 2015)

1.7.3 Mitigación

El Acuerdo de París establece compromisos vinculantes de todas las Partes para preparar, comunicar y mantener una contribución determinada a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) y aplicar medidas nacionales para lograrlos. También establece que las Partes comunicarán sus contribuciones determinadas a nivel nacional cada cinco años, y proporcionarán la información necesaria para la claridad y la transparencia. Para establecer una base firme para una mayor ambición, cada contribución determinada a nivel nacional sucesiva representará una progresión más allá de la anterior, y reflejará la mayor ambición posible. Los países desarrollados deberían seguir asumiendo el liderazgo mediante el establecimiento de objetivos de reducción absolutos para toda la economía, mientras que los países en desarrollo deberían seguir intensificando sus esfuerzos de mitigación, mientras

se les alienta a avanzar hacia la consecución de los objetivos para toda la economía a lo largo del tiempo, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales. (El Cambio, 2015)

1.7.4 Participación voluntaria

El Acuerdo de París reconoce la posibilidad de participación voluntaria entre las Partes para permitir una mayor ambición y establece principios -incluidos la integridad ambiental, la transparencia y una contabilidad sólida- para cualquier cooperación que implique la transferencia internacional de los resultados de la mitigación. Establece un mecanismo para contribuir a la mitigación de las emisiones de GEI y apoyar el desarrollo sostenible, y define un marco para los enfoques no mercantiles del desarrollo sostenible. (El Cambio, 2015)

1.8 Régimen jurídico de los compromisos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero

Fundamentalmente, tres son los instrumentos que constituyen la estructura jurídica en que se cimienta toda decisión para la reducción y estandarización de las emisiones de GEI: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992, el Protocolo de Kioto de 1997 y el Acuerdo de París de 2015; estos últimos derivados de la propia Convención como instrumentos para su aplicación.

El objetivo final de todo instrumento jurídico conexas a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) es estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático, en un plazo de tiempo que permita que los ecosistemas se adapten naturalmente y que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. (Ibarra Sarlat, (2018))

1.9 Problemática en la disposición de la basura

En los últimos años se ha incrementado el crecimiento poblacional en el mundo. En los países industrializados se trabaja para que este crecimiento sea moderado, y no

solo eso, sino que las generaciones que vienen tengan los suficientes recursos naturales para poder tener una calidad de vida aceptable. Actualmente, el mundo gira en una sociedad consumista donde hay muchos anuncios en diferentes artículos con la siguiente leyenda “use y tire”, por ello no solo hacemos el uso inadecuado de las cosas sino también lo desechamos inadecuadamente.

En la mayoría de las ciudades de la República Mexicana existen casos donde la disposición de los desechos crea problemas sociales, gubernamentales y de salud pública. En ciudades como Distrito Federal donde se vive con un ritmo muy acelerado es muy difícil crear hábitos de reciclaje y de reuso de los artículos en los habitantes, y es más difícil darle el almacenamiento adecuado a toda la cantidad de desechos que se generan.

Cuando la basura se genera, sea cual sea su origen, tiene un proceso de descomposición natural en el cual interviene el oxígeno, entre otros gases, para generar dióxido de carbono, metano entre otros, lo que disminuye la calidad del aire que respiramos. Este aire contaminado es regenerado por la fotosíntesis que realizan las plantas; sin embargo, siendo la tala ilegal de árboles también un problema gubernamental, no solo dañamos inconscientemente al planeta, sino también disminuimos su capacidad regenerativa.

Por ello se han estudiado varios métodos para disminuir la contaminación generada por nuestros desechos y una de las tantas formas es una disposición adecuada de los desechos que se centra en la generación de rellenos sanitarios controlados donde se deposite la basura y se pueda recolectar los gases generados dándoles un destino o uso más amigable con el ambiente.

Uno de esos usos es la quema del gas generado disminuyendo en gran porcentaje su impacto contaminante y el otro es ocupándolo como una generación alterna de energía eléctrica.

2 CAPITULO 2

2.1 Objetivo general

- Determinar la reducción de gases por la captura en los rellenos sanitarios.

2.2 Objetivo específico

- Estimar la generación de basura.
- Estimar la generación de biogás utilizando el programa LANDGEM.
- Estimar la reducción de emisión por la quema del gas.

- Estimar la reducción de emisión por el aprovechamiento del biogás aprovechando la generación de energía.
- Estimar los certificados de carbono por el aprovechamiento de biogás.

2.3 Biogás

El biogás es una mezcla de gases producido por una fuente natural, se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno.

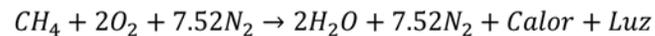
El biogás de rellenos sanitarios (BRS) se produce por descomposición anaeróbica de los residuos urbanos depositados en los rellenos sanitarios. Su generación depende del tiempo transcurrido desde su disposición de la composición de los residuos sólidos urbanos (RSU), y de variables meteorológicas como la temperatura del ambiente y la humedad. El potencial de uso de la generación de biogás de rellenos sanitarios está determinado por su contenido de metano y el caudal capturado.

El depósito de desechos en rellenos sanitarios puede generar problemas ambientales como contaminación de agua, olores desagradables, explosiones, asfixia, daño de áreas verdes y emisiones de gases de efecto de invernadero. Actualmente son utilizados diferentes métodos para evaluar estos problemas a fin de encontrar soluciones para ellos. El BRS es un subproducto de la descomposición orgánica de los desechos y es producido mediante la degradación hecha por microorganismos de la parte orgánica de los mismos.

Las condiciones aeróbicas ocurren después de depositar los residuos, producidas por el aire atrapado proveniente de la atmosfera. La fase aeróbica tiene una duración muy corta y produce un gas principalmente compuesto por CO_2 , cuando se agota el oxígeno, continua la degradación de larga duración bajo condiciones

anaeróbicas, de modo que se produzca un gas con gran valor energético que es típicamente 55% CH_4 , 45% CO_2 , y el resto se trata de una serie de compuestos orgánicos volátiles. La mayor parte del CH_4 y CO_2 se generan dentro de los 20 años cerrados el relleno sanitario, mientras que las emisiones pueden continuar hasta por 50 años o más. (Camargo, (2009))

2.4 Proceso de combustión de la generación de rellenos sanitarios



A partir de la formula general, se tiene un desglose de los componentes que tendría dicho relleno sanitario. Los RSU contienen restos de residuos domiciliarios y comerciales que incluyen, pinturas, solventes, pesticidas, adhesivos, artículos de limpieza, etc. Durante el proceso de descomposición anaeróbica de los residuos sólidos urbanos que se generan son metano, dióxido de carbono, cantidades pequeñas de nitrógeno, oxígeno e hidrógeno y menos del 1% de compuesto orgánicos no metálicos, cloruro de vinilo, benceno, tolueno, triclorometano, metilo, mercaptano, etilo mercaptano y trazas de compuestos inorgánicos.

Cada uno de estos componentes tiene características propias, las cuales en circunstancias especiales pueden presentar serio peligro para la vida y la salud humana, algunas de las características de algunos de los componentes es que podrían ser inflamables, explosivos, asfixiantes, tóxicas, corrosivos, odorífero y eco toxico.

2.5 Características del relleno sanitario

Cuando se quiere construir un relleno sanitario es necesario seleccionar el terreno para que se cumpla con las condiciones técnicas adecuadas como son: topografía, nivel de las aguas subterráneas y la disposición de los materiales para cubrir basura. El sistema de drenaje en un relleno sanitario es de suma importancia por la lixiviación que se realizan en estos lugares, ya que si no se contara con un drenado de los líquidos provocaría daños de contaminación al suelo. Otro punto de igual

importancia es el uso de chimeneas en las celdas de los rellenos sanitarios; esto corresponde a que el gas metano generado por el encierro de la basura debe ser liberado para evitar que con el paso del tiempo se acumule debajo de la tierra y explote. Las chimeneas pueden ser de los materiales que se tengan a disposición, no necesariamente deben ser de materiales especiales o dimensiones específicas. El plástico utilizado en los rellenos sanitarios tiene dos funciones principales; uno es que los líquidos que se generan en las celdas o provocados por lluvias, puedan fluir y llegar a las redes de tuberías y así ser sacados a otra celda de lixiviación. La otra función principal es que la basura no toque los suelos por posibles daños o hundimientos.

El problema que se avecina en el futuro con este tipo de rellenos es que será difícil encontrar lugares o terrenos que sean adecuados para esto, y aparte tienen que seguir ciertas normas ambientales y seguir también procedimientos básicos de la ingeniería.

No en todas las partes se cuenta con los recursos necesarios para disponer de chimeneas de alta tecnología como las purificadoras de gas. Existen lugares donde los materiales para la creación de las chimeneas son residuos que se tiran en los rellenos y cumplen con las características de soportar grandes pesos de basura. (Soto Córdoba, (2005))

2.6 Tipos de basurero “Rellenos Sanitarios”

Actualmente existen algunos tipos de rellenos sanitarios. A continuación, hablaremos de cada uno de ellos, en qué consisten y sus características generales.

- Relleno sanitario tipo área: Método aplicado en terrenos o áreas planas a semi planas, donde no es factible excavar zanjas o trincheras para disponer y confinar los residuos. El suelo natural, dependiendo de sus características y permeabilidad, debe ser acondicionado y nivelado previo a la recepción de basura. En estos casos, se debe tener identificada la fuente donde se

extraerá el material de cobertura, según características y cantidad necesaria. Las celdas se construirán con una pendiente suave en el talud para evitar 7 deslizamientos y lograr una mayor estabilidad, a medida que se eleva el relleno hasta la altura proyectada.

- Relleno sanitario tipo zanja o trinchera: Consiste en la excavación de zanjas con determinadas dimensiones. Estas deben estar impermeabilizadas para evitar la infiltración de líquidos percolados y deben contar con una construcción de drenes de recolección. Este método por lo general se usa en pendientes planas y suelos no rocosos, y donde el nivel freático se encuentre a una profundidad considerable. Las zanjas poseen entre 3 y 6 metros de ancho (determinado por los equipos de excavación y transporte de residuos), para así evitar acarrear por largas distancias los desechos y el material de cobertura. La profundidad adecuada debe ser de 2 a 4 metros, delimitado por el nivel freático. El largo y número de trincheras se define por la superficie disponible para el proyecto y la vida útil esperada del relleno sanitario.
- Relleno sanitario tipo combinado o rampa: el relleno tipo combinado se opera en forma similar a los rellenos de área y zanja, pero los desperdicios descargados se extienden sobre una rampa, se apisonan y recubren diariamente con una capa de material de 0.15 m. de espesor. Terminada la operación de espesor, la rampa debe tener una pendiente de unos 30 m. y alcanzado el nivel previsto, se recubre con una capa de tierra o material similar, de 0.60 m. de espesor. El método de rampa se utiliza en terrenos de declive moderado o en aquellos que tienen una capa delgada de material susceptible de ser usado para recubrimiento o como sello del relleno. (Vásquez, 2005)

Dentro del relleno sanitario se generan tanto líquidos como gases; ya que los Desechos Sólidos Municipales (DSM) que son depositados sufren una etapa de descomposición donde la materia orgánica desprende una cantidad de subproductos, tanto líquidos como gaseosos, los cuales dañan directamente el

entorno. Por ejemplo, un material orgánico en descomposición comienza a tomar diferentes formas de putrefacción que cuando llega a ser de color negro y maloliente se convierte en lixiviado, y de igual manera estos lixiviados serán generados de manera natural por la basura depositada. Por ello, es necesario contar con la tecnología de drenajes aptos para captarlos y desviarlos tanto de los mantos acuíferos, como de los perímetros destinados para la desviación de precipitaciones ya que de no ser así los lixiviados aumentan y esto habla de un mal mantenimiento dentro del relleno. (Ullca, (2005))

Principios de un relleno sanitario

- Desviación de las aguas de las precipitaciones para evitar en lo posible su ingreso al relleno sanitario.
- Considerar la altura de la celda diaria desde la construcción para evitar hundimientos.
- El cubrimiento diario con una capa de 10 a 20 cm. De tierra excavada o material similar.
- La compactación de los residuos sólidos municipales con capas de 20 a 30 cm de espesor. Este es el factor del que depende el mayor éxito del trabajo realizado dentro del relleno.
- Control del drenaje de lixiviados y de los gases.
- El recubrimiento final de unos 40 a 60 cm. y de manera tal que pueda generar y sostener la vegetación para poder integrarlo con el paisaje natural.

Importancia de la cobertura

- Minimizar la presencia y proliferación de moscas y aves.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humos.

- Reducir los malos olores.
- Disminuir la entrada de agua de lluvia a la basura.
- Orientar los gases hacia los drenajes para evacuarlos del relleno sanitario.
- Darle al relleno sanitario una apariencia estética aceptable.
- Servir como base para las vías de acceso internas.
- Permitir el crecimiento de vegetación.

Existen ciertos parámetros que se deben de seguir en la construcción de un relleno que son los siguientes:

- 1.- Identificar la capacidad que se quiere depositar por día, año y proponer una vida útil del relleno.
- 2.- Identificar las medidas del relleno de acuerdo a la capacidad que se propone.
- 3.- Identificar un sitio (o sitios) para depositar la basura así como sus alrededores.
- 4.- elaboración del diseño del Relleno.
- 5.- Análisis de costos.
- 6.- Limpieza y desmonte del terreno.
- 7.- Construcción de un acceso directo.
- 8.- Bordear el terreno.
- 9.- Construcción del drenaje perimétrico.
- 10.- Construcción de drenajes internos.
- 11.- Preparación de drenaje de gases.
- 12.- Caseta de control e instalaciones sanitarias.
- 13.- Inicio de la operación del relleno.

14.- Clausura de los botaderos a cielo abierto.

15.- Mantenimiento permanente.

Una vez construido el relleno sanitario se divide en secciones o celdas las cuales serán rellenas por basura en un tiempo programado. Estas celdas cuentan con los siguientes sistemas principales:

- Recolección del gas: Cada celda del relleno estará llena de tuberías tanto verticales como horizontales, estas tuberías funcionan de acuerdo al gas generado dentro del relleno, es decir, cuando empieza el proceso natural de putrefacción de la basura almacenada los GEI's buscarán una manera de salir a la atmósfera, por ello, al no encontrar un escape se irán acumulando dentro del relleno en la parte más liberada de basura. Ahí es donde se acumula el gas y automáticamente empezará a concentrarse dentro de las tuberías que recolectarán el gas.
- Recolección de Lixiviados: La recolección de lixiviados también está compuesta por una serie de tuberías que se encuentran en las partes más profundas de las celdas donde los lixiviados se acumularán naturalmente. Estas tuberías transportarán dichos desechos líquidos a tratadoras más especializadas que en algunos casos son lagunas de lixiviados.
- Impermeabilización del Relleno: La impermeabilización del relleno es una de las partes más importantes del relleno de ahí la importancia de la profundidad de los mantos acuíferos, ya que de estos dos factores dependerá el grado de contaminación de dichos mantos y la conservación de la calidad del agua en dicho relleno. (Ullca, (2005))

2.7 Ventajas y desventajas de los “Rellenos sanitarios”

Ventajas:

- se requiere poca inversión al inicio.

- Se puede maniobrar con mucha cantidad de basura ocupando poco personal y maquinaria o equipo.
- Se puede conseguir terrenos a bajos costos.
- No deja residuos al final del proceso.
- Recibe todo tipo de residuos sólidos.
- Cuando el relleno termina su función el terreno puede ser usado para campos deportivos establecimientos, etc.

Desventajas:

- De no usarlo adecuadamente como relleno con todas las reglas y normas se podría convertir en un basurero clandestino y contaminante para el aire
- Se tiene que ubicar lejos lo más posible de la ciudad o de casas habitacionales para que los malos olores no afecten a la gente.
- El relleno tendría que estar a una distancia adecuada para que no salga tan caro el transporte.
- Se necesitará que se hagan mantenimientos continuos.
- Se tienen que construir buenos asentamientos que permitan controlar las emisiones de gas que se generan.

Debido a que tiempos anteriores surgía la problemática y dudas sobre saber que tanto puede llegar a durar un relleno sanitario, con el paso del tiempo se ha logrado desarrollar nuevos métodos que hacen que los rellenos tengan una vida útil más duradera y de menos peligrosidad. (Vásquez, 2005)

2.8 Definición de los residuos sólidos urbanos

Se les conoce con el nombre de basura o residuos sólidos urbanos “al conjunto de materiales residuales sólidos o mezclados con pequeñas cantidades de agua que por el estado de división o deterioro se consideran inservibles o sin valor a la sociedad”. Así mismo se puede definir de la siguiente manera “es lo que el hombre

desecha porque ya no le sirve, lo putrescible y lo no putrescible, ya sea de origen animal, vegetal o inorgánico.

Los desechos sólidos también se pueden definir como “el conjunto de elementos heterogéneos resultante de desechos o desperdicios del hogar o de la comunidad en general”. Ya antiguamente el gobierno de la ciudad de México definía a los desechos sólidos provenientes de la sociedad de la siguiente manera. “son los residuos no provenientes de la industria, resultante de las actividades de las personas o municipios”.

En base a lo anteriormente escrito, los residuos sólidos urbanos, son las partes que quedan de un producto y se conoce comúnmente como basura. Se puede considerar que los residuos sólidos urbanos son el resultado de la actividad que realiza la población para su subsistencia y para la obtención de insumos en los diferentes sectores productivos ya sean industriales, comerciales, sector agropecuario y el de servicios. (Esquer, 2009)

2.9 Origen y composición de los residuos sólidos urbanos

La generación de los residuos sólidos ha venido variando tanto en calidad como en composición, en la medida que el desarrollo industrial se ha consolidado.

Conocer la composición de los residuos sólidos es importante para poder enfrentar adecuadamente su manejo. El conocimiento de “que se produce” y “como se produce” permite no sólo conocer el desarrollo de las sociedades sino también describir la relación existente entre el hombre y la naturaleza.

Son grandes las posibilidades para llevar a cabo acciones que permitan el rehúso de los residuos, mediante la selección y clasificación de los subproductos.

La separación de los subproductos de la basura trae consigo la operación de pequeñas empresas dedicadas al reciclaje y transformación de nuevos productos.

En el caso de los residuos alimenticios, a través de sencillos tratamientos se puede transformar en composta (fertilizante orgánico) o en alimento para animales.

Asimismo, se puede utilizar el papel y el cartón para obtener, cartón gris, cartoncillo, envases de tomate y frutas, cajas de zapatos, láminas acanaladas, etc.

De esta forma, además de aprovechar los residuos sólidos se contribuye a preservar los recursos naturales y a elevar la vida útil de los sitios de disposición final, al depositarse en ellos menor cantidad de residuos.

Tabla 4. Agrupamiento de los residuos sólidos por fuente de origen

Fuente	Origen específico
Domiciliarios	Unifamiliares Multifamiliares
Comerciales	Establecimientos comerciales* Mercados
Servicios	Restaurantes y bares Centros de espectáculos y recreación Servicios públicos Hoteles Oficinas publicas Centros educativos
Especiales	Jardinería Unidades médicas Laboratorios Veterinarias Transporte: Puertos Aeropuertos

	Terminales terrestres Terminales ferroviarias Terminales portuarias Vialidades Centros de readaptación social Materiales de construcción y demolición Actividades: Pesqueras Agrícolas Silvícolas Forestales Avícolas Ganaderas
Otros	Áreas verdes Objetos voluminosos

2.10 Clasificación de los residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos, entre las muchas características, clasificaciones y composición en que pueden hacerse; de un modo general se pueden clasificar a estos residuos en orgánicos e inorgánicos.

- Residuos orgánicos: son todos aquellos cuyo componente principal es el carbono (C) provienen de materia viva tanto vegetal como animal y están representados principalmente por residuos; alimenticios, de parques y jardines, rastros y mercados, industriales de alimento, etc.
- Residuos Inorgánicos: es materia inerte proveniente de material no vivo que incluye la mayoría de los residuos reciclables como metales, plásticos, cierto tipo de telas, vidrios, etc. Además, unen las características de no ser

biodegradables o de muy difícil composición por lo que conserva su forma y propiedades pudiéndose utilizar como materia prima en diferentes industrias.

Por su origen:

- Basura orgánica: es la de cualquier naturaleza que se puede descomponer por procesos naturales, dentro de un periodo razonable. Son los derivados de la preparación de los alimentos, productos de comidas, desechos de mercados (basura cruda), desperdicios de fábrica, desperdicios agropecuarios, animales muertos, etc.
- Desperdicios comerciales de comida: incluye los restos de comida originados en los restaurantes, hoteles, regimientos, escuelas, a menudo se recolectan separadamente y son vendidos para alimentos de animales; en México se le llama “escamocha” a las sobras de comidas de dichas instalaciones.
- Desperdicios comerciales: incluye los desechos comerciales no incluidos anteriormente y provienen de la operación y mantenimiento de los establecimientos comerciales, industriales talleres, comprende básicamente, papel, cartón, botes, material embalaje y otros desperdicios sólidos.
- Basura doméstica: se origina en los hogares y está formada por polvos, papeles, huesos, vidrios, plásticos, madera, trapos, restos de legumbres, flores, hojalata y en algunas ocasiones excreta humana y de animales domésticos, entre algunos: en nuestras costas nuestros desechos de plantas tropicales como restos de cocos, sandias, piña y restos similares se les identifican como “basuras tropicales” los cuales se producen en cantidades elevadas.
- Despojos: es la basura no incluida en los puntos anteriores, la cual consta de vidrios, llantas, botes vacíos, etc.
- Basura de establos y caballerizas: está constituida por estiérco, paja, pelos, restos de follaje, etc.
- Basura de la calle: está constituida por hojarascas, ramas, tierra, papeles, colillas de cigarros, arenas, animales muertos, etc.

- Desperdicios dependientes de mercados ambulantes, ferias, vendedores ambulantes y otras: son otros restos de comida, fruta, verdura, papel, etc.
- Escombros: son restos fraccionados de material de demolición (cascajo), tales como adobes de tierra, tierra de revoque, cartón, pedacería y madera, etc.
- Cenizas: el término “ceniza” se refiere a los residuos provenientes de la combustión del carbón, madera y otros materiales utilizados en el hogar, industria o establecimientos comerciales con propósitos de calefacción y productos de la misma energía.

Por sus características físico- químicas

Por otra parte, los residuos sólidos municipales se pueden caracterizar desde el punto de vista físico- químico.

- Orgánica: son su mayor parte de origen vivo que pueden ser restos de animales, maderas, flores, alimentos, etc.
- Inorgánicos: son como latas, vidrios, arenas, polvos, cascajo, plásticos, etc.
- Combustible: que corresponde a cualquier material que se pueda quemar fácilmente como madera, papel, cartón, etc.
- No combustible: comprende todos los materiales que no se queman y son difíciles de cremar como latas, metales, vidrios, cenizas, plásticos, productos químicos, etc.
- Biodegradables: es la que se va degradando por si misma hasta que va quedando hecha “humus” de esta tenemos toda la basura orgánica, como restos de comida, basuras domésticas, flores, etc.
- No biodegradables: como plásticos, bolsas de poliestireno, materiales similares y químicos, algunos metales de difícil descomposición y cremación.

Por su producción:

Los residuos sólidos urbanos se clasifican por su producción, de la siguiente manera:

- Desechos domésticos: provienen de viviendas unifamiliares, conjuntos habitacionales, hoteles, restaurantes, etc.
- Desechos sólidos industriales: son resultado de la producción de las industrias, tal como ligera, pesada, alimentaría, parques industriales e industrias con residuos peligrosos.
- Desechos institucionales y públicos: son los que resultan de hospitales, clínicas, edificios, públicos, instalaciones recreativas, vías públicas, etc.
- Desechos de manejo especial: todos aquellos que por su composición o volumen requieren de un manejo especial, como son los residuos agropecuarios, agroindustriales, centros comerciales, centrales de abasto, etc.

Clasificación de tipos de basura por contenido de humedad:

- Tipo I. Contenido de humedad 25%: Basura combustible, cartón, viruta de madera, aserrín y barridos domésticos, comerciales e industriales.
- Tipo II. Contenido de humedad 50%: basura residencial, departamental, clínicas, etc.
- Tipo III. Contenido de humedad 70%: desperdicios de animales y vegetales de restaurantes, hoteles, mercados, supermercados, cafeterías, hospitales y clubes.
- Tipo IV. Contenido de humedad 100%: Partes humanas y animales, huesos, amputaciones, desechos de laboratorios y hospitales.

Existen otro tipo de basuras principalmente industriales, que no entran en las clasificaciones y pueden ser incineradas.

Por su recuperación:

- Residuos recuperables o reciclables: son todos aquellos que una vez seleccionados pueden venderse a diferentes industrias, las cuales mediante un tratamiento los utilizan como materia prima, reintegrándose posteriormente al ciclo de consumo.

- No recuperables nocivos (peligroso): este grupo comprende básicamente aquellos desperdicios provenientes de hospitales, sanatorios, casa de cuna, enfermerías, clínicas y consultorios médicos; así mismo a cierto tipo de industrias que estén dentro o en ciertos lugares conurbanos de la ciudad. Este tipo de residuos pueden ser muy peligrosos y se les debe un tratamiento especial para residuos peligrosos (confinamiento especial).
- No recuperables inertes: son aquellos como tierra, piedras, cascajo, etc. Que solo pueden utilizarse como material de relleno.
- Transformables: comprenden todos los residuos susceptibles a ser transformados mediante diversos procesos mecánicos, biológicos o químicos, en productos inocuos y aprovechables, quedando abarcados en este grupo los desperdicios fundamentalmente orgánicos.
- Residuos alimenticios: en estos se encuentran todos los restos de comidas ya sean del hogar, restaurantes, hoteles o similares, así como residuos de parques y jardines de residuos agrícolas y así como también de residuos industriales de naturaleza orgánica.

Por su tipo:

- Materia orgánica: es todo aquello que no se puede pudrir, como son: restos de comida, vegetales, frutas, hojas y ramas que resultan de limpiar las macetas o el jardín, cáscaras de huevo o moluscos, compresas y pañales sucios, restos de infusiones, entre otros.
- Metales: son todos los residuos provenientes de operaciones donde se emplearon metales o aquellos que dentro de su composición contengan algún tipo de metal, tales como el acero, hierro, bronce, cobre, estaño, entre otros, además de los metales peligrosos como el plomo, mercurio, litio, cadmio, etc. Que requieren de un manejo especial, así como disposición en sitios controlados especiales.
- Papel: el papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Es el elemento de mayor generación y también el más susceptible de ser

reciclado. Dentro de este punto se consideran: hojas de papel de uso diario, papel de envoltura y embalaje, cartón, etc.

- Plástico: son sustancias que contienen como ingrediente esencial una sustancia orgánica de masa molecular llamada polímero. Entre los principales ejemplos de residuos de plásticos se encuentran: botellas de agua y refresco, envolturas, bolsas, tuberías, artefactos domésticos, entre muchos más.
- Vidrio: el vidrio es un material duro, frágil y transparente que ordinariamente se obtiene por fusión a unos 1500°C de arena de sílice, carbonato de sodio y caliza. Algunos residuos de vidrio son: botellas, envases, vasos, cristales de ventanas, etc. Completos o en fragmentos.
- Textiles: son todos los desperdicios que provienen de la satisfacción del hombre por vestir, incluye los residuos de ropa, trapos, cortinas, ropa de cama, etc.
- Otros: todos aquellos residuos que, por su composición, no pueden ser clasificados en las otras categorías, y que generalmente se originan en sistemas productivos peligrosos, especiales o médicos.

Residuos sólidos peligrosos

Son aquellos que posean alguna de las características de corrosivo, reactivo, explosivo, toxico, inflamable o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio. Existen tres conceptos de interés en materia de residuos peligrosos:

- Residuos incompatibles: aquellos que al combinarse y/o mezclarse producen reacciones violentas o liberan sustancias peligrosas.
- Residuo peligroso: todo aquel que por sus características físicas químicas y biológicas, representen desde su generación daño para el ambiente.
- Residuo potencialmente peligroso: todo aquel que por sus características físicas, químicas o biológicas puedan representar un daño para el ambiente.

La generación de residuos peligrosos es un problema para los residuos sólidos urbanos, ya que los residuos peligrosos desde su misma generación requieren un manejo especial para su tratamiento y traslado a un confinamiento controlado especial; dicho confinamiento deberá tener un mínimo de celdas (cámaras) especialmente construidas para capturar líquidos o gases producidos para los mismos residuos; serán construidas específicamente de concreto o materiales similares y deberán estar alejadas, de cualquier punto urbano o de reunión.

Un residuo es considerado peligroso si aparece en los enlistados de la norma oficial mexicana NOM-052-Ecol-93, contenidos en la carta "CRETIB", caracterizados por ser:

- Corrosivos
- Reactivos
- Explosivos
- Tóxicos
- Inflamables
- Biológico-infecciosos

En la corriente de residuos sólidos urbanos algunos residuos peligrosos que podríamos señalar son:

- Residuos de servicio de salud (hospitales, clínicas, laboratorios, etc.)
- Pilas
- Equipos de comunicación
- Balastos
- Restos de pintura
- Aceites
- Grasas
- Residuos de rocas
- Residuos de servicio de transporte
- Restos de servicios de mantenimiento y mecánicos
- Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales

- Residuos de construcción
- Residuos tecnológicos
- Restos de plantas, laboratorios y centros químicos y biológicos
- Productos químicos y biológicos (Esquer, 2009)

2.11 Problemática de los residuos sólidos urbanos

Los residuos existen desde que nuestro planeta tiene seres vivos, hace unos 4.000 millones de años. Antiguamente, la eliminación de los residuos humanos no planteaba un problema significativo, ya que la población era pequeña y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de los residuos era grande. Sin embargo, la problemática de los residuos comienza con el desarrollo de la sociedad moderna en la que vivimos, no sólo en el aspecto referido a la cantidad de residuos que ésta genera (difícilmente asimilable por la naturaleza), sino, y de manera importantísima, a la calidad de estos. Este problema de la gestión de nuestros residuos existe y se agrava año tras año. Ante tal situación, resulta importante analizar los factores que han incrementado de manera tan alarmante el problema de los residuos urbanos. En general, pueden señalarse cuatro causas principales:

1. El rápido crecimiento demográfico.
2. La concentración de la población en los centros urbanos.
3. La utilización de bienes materiales de rápido deterioro.
4. El uso cada vez más generalizado de envases sin retorno, fabricados con materiales no degradables.

La gestión incorrecta de los residuos sólidos urbanos genera entre otros, los siguientes problemas:

- La presencia de residuos abandonados produce una sensación de suciedad a la vez que deterioran el paisaje.

- Los depósitos incontrolados de residuos sólidos urbanos producen, al fermentar, olores muy molestos.
- Los residuos fermentables son fácilmente auto inflamables por lo que pueden provocar incendios que ocasionan una contaminación atmosférica muy desagradable para la vecindad y, en ocasiones, peligrosa para la circulación y para la seguridad de los bosques cercanos.
- Un vertido de residuos realizado sin ningún tipo de control, presenta un grave riesgo de contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, con el consiguiente peligro para la salud si son utilizadas para el abastecimiento de agua potable a la población.
- Los residuos orgánicos favorecen la existencia de gran cantidad de roedores e insectos que son agentes portadores de enfermedades y algunas contaminaciones bacterianas.

2.12 Generación

La generación de lixiviados depende de la naturaleza de los residuos, es decir, su contenido de humedad y su grado de compactación. Su producción es mayor cuando es menos compactado. Hay varios factores que afectan la composición de los lixiviados, por ejemplo, la precipitación, la variación estacional del clima, el tipo y composición de los residuos que a su vez depende de la calidad de vida de la población y la estructura del relleno sanitario, además de la edad del relleno.

Tchobanoglus describe las reacciones que se producen en un relleno sanitario, así como las etapas de generación de gas de vertedero y composición de lixiviados como se indica a continuación:

- Reacciones biológicas: las reacciones biológicas más importantes que se producen en lo rellenos sanitarios son aquellas que afectan a la materia orgánica de los RSU, que evoluciona produciendo gas de vertedero y,

eventualmente, líquidos. El proceso de descomposición biológica normalmente sucede aeróbicamente durante un corto periodo de tiempo, inmediatamente después de la evacuación de los residuos, hasta que se agota el oxígeno inicialmente presente. Durante la descomposición aerobia el gas producido es el CO_2 . Una vez consumido el oxígeno, la descomposición pasa a ser anaerobia y la materia orgánica se convierte en CO_2 y CH_4 , y cantidades traza de amoníaco y sulfuro de hidrogeno. También se producen un gran número de reacciones bioquímicas. Por el número de interrelaciones, es difícil determinar las condiciones que existen en cualquier vertedero o porción de vertedero para un momento dado.

- Reacciones químicas: las reacciones químicas más importantes incluyen:
 - a) La disolución y arrastre en suspensión de los materiales de los residuos y de productos de conversión biológica en los líquidos que se filtran a través de los residuos.
 - b) Evaporación de compuestos químicos y de agua en el gas de vertedero.
 - c) Absorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en el material vertido.
 - d) La deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos.
 - e) Reacciones de oxidación-reducción que afectan a metales y a la solubilidad de las sales metálicas. La disolución en el lixiviado de productos de conversión biológica y de otros compuestos, particularmente compuestos orgánicos, es de especial importancia porque estos materiales pueden salir del vertedero con el lixiviado. Estos compuestos orgánicos, a continuación, pueden entrar en la atmósfera, bien a través del suelo cuando el lixiviado ha salido de un vertedero sin revestimiento, o bien a través de instalaciones descubiertas para el tratamiento del lixiviado.
- Procesos físicos: Entre los cambios físicos más importantes que se producen en los vertederos están la difusión lateral de los gases en el vertedero y la emisión de los gases al medio circundante, el movimiento del lixiviado dentro y hacia abajo del vertedero a través del suelo, y el

asentamiento causado por la consolidación y descomposición del material vertido. Mientras que se está produciendo gas dentro de un vertedero, la presión interna puede crecer, causando roturas en la cubierta del vertedero y, por lo tanto, escapes. El agua que entra en el vertedero a través de la cubierta rota puede aumentar la velocidad de producción del gas, causando todavía más roturas. Otra inquietud importante es la migración del lixiviado. Como el lixiviado migra hacia abajo, puede llevar compuestos y materiales hasta nuevos puntos donde puedan reaccionar con facilidad. El lixiviado se introduce en los poros de aire del vertedero, interfiriendo así en la migración del gas de vertedero.

2.12.1 Generación del gas de vertedero y composición de lixiviados

- Etapa I. Ajuste Inicial

Los componentes orgánicos biodegradables de los RSU sufren descomposición microbiana mientras se colocan en el vertedero y poco después. Se produce descomposición biológica bajo condiciones aerobias, porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro del vertedero. La fuente principal de organismos, aerobios y anaerobios, responsables de la descomposición de los residuos es el material del suelo que se utiliza como cubierta diaria y final.

- Etapa II. Fase de Transición

Desciende el oxígeno y comienza a desarrollarse condiciones anaerobias. Mientras el vertedero se convierte en anaerobio, el nitrato y el sulfato, que pueden servir como receptores de electrones en reacciones de conversión biológica, a menudo se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. El comienzo de condiciones anaerobias se puede supervisar midiendo el potencial de reducción-oxidación que tiene el residuo. Las condiciones de reducción suficientes para producir la reducción del nitrato y sulfato se dan aproximadamente entre -50 a -100 milivoltios. El metano se produce cuando los

valores del potencial de reducción-oxidación están dentro del rango de -150 a -300 milivoltios. Mientras sigue bajando el potencial de reducción-oxidación, los miembros de la comunidad microbiana responsables de la conversión del material orgánico de los RSU en metano y CO_2 empiezan su proceso, con la conversión de material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios. El pH del lixiviado comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO_2 dentro del vertedero.

- Etapa III. Fase de acidogénesis

Se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase de transición con la producción significativa de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas hidrógeno. El pH del lixiviado frecuentemente caerá hasta un valor de 5 o menos, por la presencia de ácidos orgánicos y por elevadas concentraciones de CO_2 dentro del vertedero. La DBO_5 (demanda biológica de oxígeno) DQO (demanda química de oxígeno) y la conductividad del lixiviado se incrementará significativamente durante esta fase debido a la disolución de ácidos orgánicos en el lixiviado.

- Etapa IV. Fase de metanogénesis.

Un grupo de microorganismos que convierten el ácido acético y el gas hidrógeno producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida en metano y CO_2 , llegan a ser más predominantes. Son estrictamente anaerobios y se llaman metanogénicos. La formación de metano y ácido se produce simultáneamente, aunque la velocidad de formación de ácidos es considerablemente más reducida. Como los ácidos y el gas hidrógeno se han convertido en metano y CO_2 , el pH dentro del vertedero subirá a valores más neutros, en el rango de 6.8 a 8. A continuación el pH del lixiviado subirá y se reducirán las concentraciones de DBO_5 y DQO y el valor de la conductividad del lixiviado. Con valores más altos de pH, menos constituyentes inorgánicos quedan en disolución y, como

resultado, la concentración de metales pesados presentes en el lixiviado se reducirá.

- Etapa V. Fase de maduración

Se produce después de convertirse el material inorgánico biodegradable en metano y CO_2 . Mientras la humedad sigue migrando a través de los residuos se convierten porciones de material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles. La velocidad de generación del gas de vertedero disminuye significativamente porque los nutrientes disponibles se han separado con el lixiviado durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el vertedero son de degradación lenta. Los principales gases de vertedero que han evolucionado son metano y CO_2 . También puede encontrarse N_2 y O_2 según las medidas de sellado. Durante esta fase el lixiviado a menudo contendrá ácidos húmico y flúvico que son difíciles de degradar biológicamente.

La duración de las fases varía según la distribución de los componentes orgánicos en el vertedero, la disponibilidad de los nutrientes, el contenido de humedad de los residuos, el paso de la humedad por el relleno y el grado de compactación inicial. Al filtrarse el agua a través de los residuos sólidos en descomposición, se lixivian en solución materiales biológicos y constituyentes químicos. (Poletto, (2009))

2.13 Producción de electricidad utilizando biogás de rellenos sanitarios

El biogás de rellenos sanitarios puede utilizarse como fuente de energía térmica, para la generación de electricidad o para la producción de un combustible de alto poder calorífico (biometano), El uso de BRS para la producción de electricidad es una de las aplicaciones más beneficiosas, aunque el resultado del proyecto depende de varios factores entre los que hay que considerar aspectos técnicos, económicos, y de gestión, así como redes eléctricas a la demanda a ser suplida.

Según el uso que se hará del BRS se aplican tratamientos primarios que incluyen la remoción de vapor de agua, condensados, material particulado y espuma, o secundarios que remueven sulfuro de hidrógeno, siloxanos, y otros contaminantes como amoníaco, halógenos, e hidrocarburos aromáticos. La mayoría de los proyectos en operación utilizan motores de combustión interna (reciprocantes), turbinas y microturbinas. Estas últimas se aplican en rellenos sanitarios pequeños o aplicaciones en nicho. Ciertas tecnologías como motores Stirling o motores de Ciclo Orgánico Rankine y celdas de combustible están aún en una fase de desarrollo y demostración.

Las aplicaciones de cogeneración están aumentando a nivel global, ya que proveen mayor eficiencia energética pues además de generar electricidad utilizan el calor recuperado; para esta tecnología se utilizan generalmente motores de combustión interna, turbinas de gas, o microturbinas, mientras que es menos común la generación de electricidad a través de sistemas caldera-turbina de vapor ya que resultan más eficientes en proyectos de producción de electricidad de mayor escala

Los motores reciprocantes de combustión interna son los más utilizados ya que presentan alta eficiencia en comparación con las turbinas de gas y microturbinas. Son de bajo costo por kW en comparación con las turbinas de gas y microturbinas, y existen en varios tamaños adecuados a los flujos de BRS. La eficiencia de estos motores varía entre 25 y 35%, aunque se pueden alcanzar mayores rendimientos en aplicaciones de cogeneración, cuando se recupera el calor residual que puede ser utilizado para otras aplicaciones. También presentan la ventaja de permitir añadir o quitar los motores según las tendencias de recuperación de gas. Como desventajas se encuentran sus costos de mantenimiento que son relativamente altos y la generación de emisiones a la atmósfera. Si los costos de electricidad del mercado son bajos, la rentabilidad de estos equipos resulta marginal. El rango de tamaño para proyectos típicos asumiendo 50% de metano en el GRS es entre 8 y 30 m^3/min de BRS, y capacidades entre 800 kW y 3 MW; para proyectos de mayor

escala se pueden combinar varios motores. Numerosos proyectos a nivel mundial utilizan este tipo de motores para la generación de electricidad a diferentes escalas.

Las turbinas de gas se utilizan para proyectos de gran escala donde existe un flujo de BRS suficiente como para generar un mínimo de 3 MW y típicamente más de 5 MW (flujos de BRS superiores a $40 \text{ m}^3/\text{min}$). El costo del kW disminuye con el aumento del tamaño de las turbinas, mejorando a su vez la generación de electricidad. La eficiencia de estos equipos ronda entre 20 y 28% a escala completa pudiendo alcanzar el 40% para casos de cogeneración, donde se recupere el calor residual. Una desventaja de las turbinas es que requieren la eliminación de los siloxanos y otras impurezas que pueda traer el GRS. Entre las ventajas se encuentran mayor resistencia a la corrosión y menor nivel de emisiones de óxidos de nitrógeno, son más compactas y tienen menores costos de operación y mantenimiento que los motores de combustión interna.

Las microturbinas se utilizan cuando se tiene una recuperación de BRS menor a $8 \text{ m}^3/\text{min}$ con contenidos mínimos de metano de hasta 35%; resultan más costosas por kW generado, aunque tienen la ventaja de que se pueden añadir o quitar en función del flujo de BRS. Como tienen baja capacidad de generación son fáciles de interconectar y generan menos emisiones de óxidos de nitrógeno. Requieren de un tratamiento primario del BRS que incluya remoción de siloxanos, humedad, y material particulado. Las microturbinas se comercializan en tamaños de 30, 70, y 250 kW, y presentan las ventajas de tener un costo de capital reducido, bajo costo de mantenimiento y de las instalaciones, y una eficiencia que aumenta con el tamaño. Con la finalidad de incrementar la eficiencia de las microturbinas, generalmente se incorpora un recuperador que precaliente el aire de combustión.

La generación de electricidad utilizando biogás en motores de combustión interna requiere de la purificación del combustible con la finalidad de reducir aquellos constituyentes que resultan agresivos para los motores o producen niveles de emisión de contaminantes por encima de los niveles permitidos. Las tecnologías más desarrolladas están relacionadas con la remoción de dióxido de carbono,

sulfuro de hidrógeno, y otros componentes que causan deterioro en los componentes de los motores como los siloxanos, que son compuestos siliconados fermentados que durante la combustión se convierten en silicatos y cuarzo disminuyendo el volumen de la cámara de combustión y aumentando la relación de compresión y la abrasión del motor. Dependiendo del nivel de siloxanos, se requiere un tratamiento previo de remoción, sobre todo si el BRS será utilizado para la generación de electricidad. El método más común es la absorción con carbón activado, aunque también se utilizan otros absorbentes como gel de sílica y otros tratamientos como enfriamiento bajo cero en conjunto con absorción líquida, absorción con aminas, o separación con membranas. (Blanco, (2017))

2.14 Generación de energía por medio del biogás

El uso predominante del biogás, una vez que este es recolectado, es para la generación de electricidad y hay que estudiar la posibilidad por estas razones:

- Se presenta como una oportunidad de contribución adicional al desarrollo sustentable y generación de empleo.
- Es una fuente adicional de reducción de emisiones de GEI's.

Existen varias tecnologías para la generación de energía del biogás como son microturbinas, motores de combustión interna, turbinas de gas, ciclo combinado, turbinas a vapor de caldera.

Adicionalmente existe una serie de tecnologías experimentales para aprovechar tanto del CO₂ como el gas y el metano generado en los rellenos sanitarios:

- Uso de celdas de combustible de ácido fosfórico.
- Conversión de metano para vaporizar los líquidos precolados
- Producción de CO₂ industrial.

El gas recolectado se dirige por medio de dichas tuberías generalmente a motores de combustión interna los cuales son los que generan directamente la energía; sin embargo, este tipo de sistemas es utilizado para rellenos de muy poca capacidad de almacenamiento. En cambio, en este trabajo se consideran turbinas de gas, las cuales funcionan esquemáticamente en la siguiente figura 1:

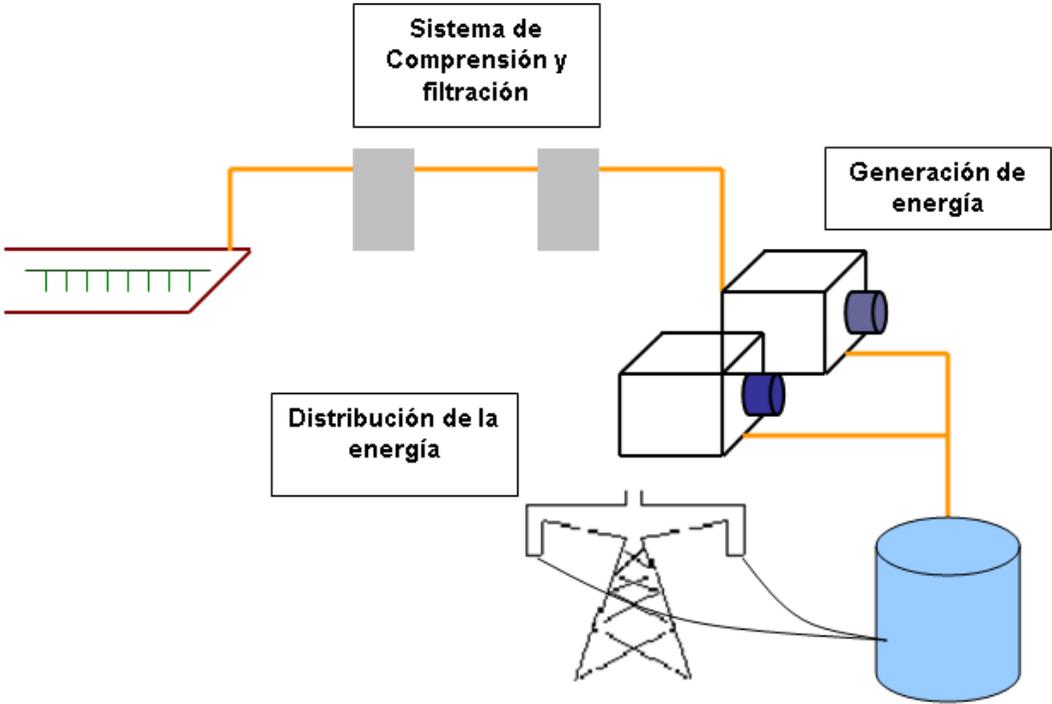


Figura1. Representación esquemática del proceso

Una vez recolectado el gas, se dirige a un sistema de compresores y filtración en donde se filtrará y comprimirá para luego dirigirse a las turbinas, donde el gas las hará funcionar de manera productiva. Ahí mismo, la energía generada se enviará a una planta eléctrica, la cual distribuirá la energía y transportará a torres de alta tensión para su distribución. Las turbinas de gas funcionan como se muestra en la Figura 2.



Figura2. Representación de la función de las turbinas de gas

Trabajando con este tipo de proceso nos da una aproximación de cuanta energía eléctrica se estaría trabajando, sin embargo hay otro tipo de generación de energía que no hemos calculado pero que también pudiésemos calcular o aprovechar y este sería la generación de energía térmica ; que no es otra cosa que aprovechar el calor por medio de intercambiadores de calor para calentar agua, utilizarla como calefacción, existen industrias que necesitan agua caliente para algunas operaciones, entonces en lugares donde existe el frio, pues están más interesados en la producción de energía térmica; como por ejemplo en los países como Suecia, Inglaterra, Finlandia, Canadá por mencionar algunos, utilizan casi el 100% de sus residuos ya sea como biogás o ya sea como valorización; pero a ellos les interesa más o más bien el negocio más grande está en la generación de energía térmica y no en la generación de energía eléctrica, ya que por las grandes temporadas de frio que tienes necesitan mucha calefacción y esto es el principal negocio después de la generación de energía eléctrica. (Hilbert, 1992)

3 CAPITULO 3

3.1 Estadística de basura en la zona conurbana en Morelos

A finales del año 2006, la zona conurbana sufrió una grave crisis con la disposición de sus desechos municipales, ya que habitantes que se encuentran viviendo dentro de la zona donde se deposita la basura del estado se unieron y se manifestaron en contra de la mala disposición, ya que ha causado la generación de fauna nociva para su entorno, así como la generación de malos olores durante todo el día los cuales afectan a la calidad de vida de los habitantes, así como su salud.

El problema se ha ido resolviendo en partes y de manera rápida pero no efectiva, ya que en un principio se empezó a depositar la basura en tiraderos del Estado de México, y algunos en las colindancias con Guerrero como Iguala y algunos sitios más cercanos.

Es más que obvio que la solución está directamente ligada a la construcción de un relleno sanitario que cuente con las características necesarias y suficientes para resolver el problema de manera permanente o que dure el mayor tiempo posible.

En base a la problemática actual con la basura en la zona conurbana del Estado de Morelos se está evaluando la realización de un relleno sanitario que satisfaga la generación de basura en esa zona, y sobre todo realmente se tenga un buen control de todos los desechos; ya que actualmente no se cuentan con los recursos ni con los medios necesarios para darle un mejor manejo a la basura en su disposición final.

En la zona conurbana solo se cuenta con un solo relleno sanitario ubicado en Lomas de Mejía, aunque ya presenta serias complicaciones por ya llegar a su límite y no tener los equipos necesarios ni la documentación en orden para estar en funcionamiento, por lo que podría clausurarse.

En la figura 3 se muestra como está distribuida la composición de basura tonificada en la zona conurbada en Morelos del año 2021 al año 2041.

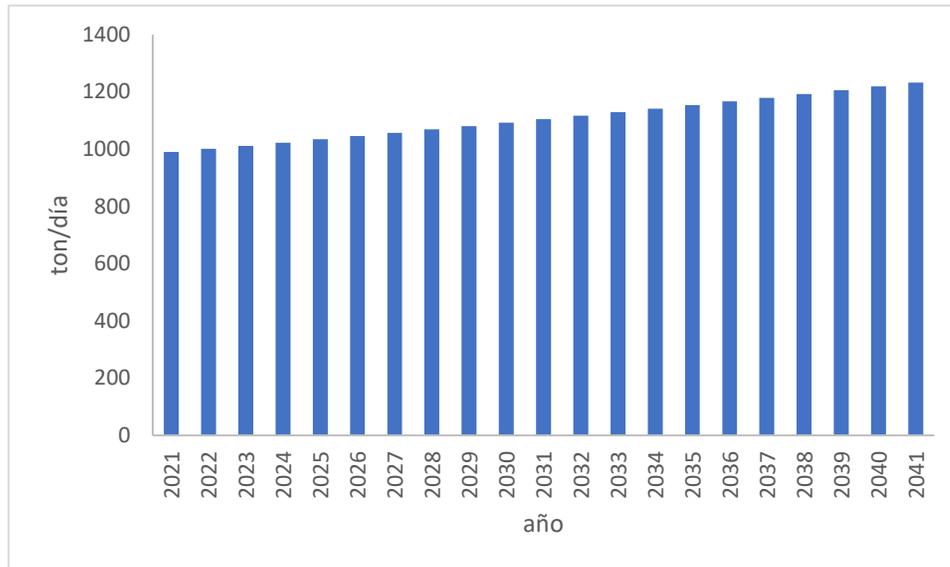


Figura3. Proyección diaria de generación de basura en la zona conurbada en Morelos

3.2 Desarrollo experimental: Software LANDGEM

El Landfill Gas Emissions Model (LANDGEM) es un software ejecutable en el programa Microsoft Excel el cual funciona como herramienta para el cálculo automático de la cantidad de GEI's que se producen dentro de un relleno sanitario o tiradero municipal de basura. Esto lo hace por medio de parámetros establecidos y otros datos que se le deben proporcionar para hacer las estimaciones necesarias.

El LANDGEM está basado en la ecuación de descomposición de primer orden para cuantificar emisiones de la descomposición de la basura en rellenos sanitarios y

proporciona un enfoque simple de cómo se estiman las emisiones de gas. Asimismo, es considerado como una herramienta de investigación, y cuenta con las características mostradas en la Tabla 5:

Tabla 5. Características del LANDGEM

INTRODUCCIÓN	Es una breve introducción al programa donde se especifican notas importantes acerca del uso del programa.
ENTRADAS DE USUARIO	Permite a los usuarios introducir sus datos de origen acerca del relleno, así como también permite escoger los principales contaminantes que se quieren tomar en cuenta.
CONTAMINANTES	Permite al usuario modificar los pesos específicos de los contaminantes propuestos predeterminadamente, así como insertar algunos nuevos.
REVISIÓN DE ENTRADA	Funciona como un breve resumen de los datos que se especificaron desde el principio.
METANO	Calcula las estimaciones del metano mediante la ecuación de descomposición de primer orden.
RESULTADOS	Muestra de manera general los resultados que arrojan los datos

	inicialmente insertados, en diferentes escalas como son en toneladas por año, metros cúbicos por año y en alguna otra medida escogida por el usuario.
GRÁFICAS	Muestran de manera grafica cual es el comportamiento de los gases.
INVENTARIOS	Despliega en manera de tablas todos los resultados obtenidos desde que inicia el relleno hasta que termina su vida útil.
REPORTE FINAL	Muestra de manera final las tablas y todas las gráficas.

3.2.1 Ecuación de primer orden para la tasa de descomposición

El LANDGEM sigue la ecuación de primer orden para estimar el total de emisiones generadas por el periodo de tiempo que el usuario especifico. La ecuación es la siguiente:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 KL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Donde:

Q_{CH_4} : Generación de metano anual en el año de cálculo ($m^3/año$)

i = Primer año de incremento

n = (año del cálculo) – (año inicial donde se recibe basura)

$j = 0.1$ – incremento en año

k = tasa de metano generado (año)

Lo = Capacidad de generación potencial de metano (m^3/mg)

M_j = Masa de desecho aceptada en un año (ton)

t_{ij} = La edad del desecho masivo que se aceptó en el año $x.$,

En la hoja de ENTRADAS DE USUARIO se debe especificar algunos parámetros para identificar al relleno sanitario, los cuales son los siguientes:

- Nombre del relleno
- Año en que es abierto el relleno
- Año en que se cierra el relleno
- Opción de que el modelo calcule el año de clausura
- Designar la capacidad de la basura.

LANDGEM confía en varios parámetros para estimar las emisiones:

- Tasa de generación de metano
- Capacidad Potencial de la Generación del Metano
- Concentración de NMOC
- Contenido de Metano

3.2.2 Tasa de metano generado

La tasa de metano generado (K) determina el metano generado por la masa de la basura del relleno. Un alto valor de K genera una rápida tasa de metano y decae con el tiempo. El valor de K es principalmente una constante para 4 factores que son los siguientes:

- Humedad contenida en la masa de la basura.
- Disponibilidad de nutrientes por microorganismos que se meten a la basura del metano.
- pH de la Basura.
- Temperatura de la Masas de la Temperatura.

El valor de K fue dado por la EPA. Este valor se usa en la ecuación de primer orden de descomposición y sus valores están dados en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores para la tasa de generación de metano por año (k)

Parámetros Predefinidos	Tipo de Relleno	k
CAA	Convencional	0.05
CAA	Área Árida	0.02
INVENTARIO	Convencional	0.04
INVENTARIO	Área Árida	0.02
INVENTARIO	Biorreactor	0.7

3.2.3 Capacidad de potencial de generación de metano (L_0)

La capacidad potencial de generación de metano, (L_0), depende solo del tipo y composición de la basura colocada en el relleno. Un alto contenido de celulosa en la basura aumenta el valor de L_0 , igualmente también se utiliza en la ecuación de primer orden y sus 5 valores principales se enlistan en la Tabla 7

Tabla 7. Valores característicos de la capacidad potencial de generación de metano (L_0)

TIPOS DE EMISIONES	TIPO DE RELLENO	L_0 (m^3/Mg)
CAA	Convencional	170
CAA	Área árida	170
INVENTARIO	Convencional	100
INVENTARIO	Área árida	100
INVENTARIO	Biorreactores	96

3.2.4 Concentración de compuestos orgánicos diferentes al metano

La concentración de compuestos orgánicos en el relleno está en función del tipo de basura que el relleno tiene, la cual al descomponerse produce varios componentes en unidades de partes por millón.

3.2.5 Contenido de metano

Para el LANDGEM el gas está en un 50% de metano y un 50 % de dióxido de Carbono y otros contaminantes. El usuario debe elegir otras cantidades de

contenido de metano usando una selección de especificaciones. De cualquier manera, la concentración de metano afecta a la producción de dióxido de carbono que es calculado por la producción de metano y el porcentaje de metano contenido usando la siguiente fórmula:

De la cual se derivan las siguientes formulas:

$$Q_{TOTAL} = Q_{CH_4} + Q_{CO_2}$$

$$Q_{CH_4} = Q_{TOTAL} \cdot \left(\frac{P_{CH_4}}{100} \right)$$

$$Q_{CO_2} = Q_{TOTAL} \cdot X - Q_{CH_4} = \left[\frac{Q_{CH_4}}{\left(\frac{P_{CH_4}}{100} \right)} - Q_{CH_4} \right]$$

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \cdot X \left[\frac{1}{\left(\frac{P_{CH_4}}{100} \right)} - 1 \right]$$

Donde

Q_{TOTAL} es la producción total de Gas.

3.2.6 Sección de gases y contaminantes

El usuario puede escoger 4 gases contaminantes. Los contaminantes escogidos deben estar asociados con la Tabla que muestra el LANDGEM. También se pueden modificar los pesos moleculares de dichos gases, así como agregar nuevos contaminantes.

3.2.7 Datos entrantes de aceptación del desecho

Las tasas de aceptación de desechos deben ser en hoja de datos del LANDGEM. La tabla de desecho está explicada a continuación y empieza en el año que especificado de inicio del relleno, y termina en el año puesto, o bien, es calculado automáticamente.

Los datos que el usuario ingrese tendrán que ser en toneladas por año en unidades inglesas de pequeñas toneladas por año. Una vez seleccionada la unidad el sistema calcula automáticamente las tasas en las unidades elegidas.

3.2.8 Impresión de entradas

Es una revisión de los datos entrantes que serán utilizadas por LANDGEM. Todos los datos fueron dados en las Entradas de Usuario, así como los datos determinados por el modelo aparecen en la hoja de trabajo de Revisión de Entrada

De esta manera se pueden revisar los datos dados por nosotros mismos e imprimirlos.

3.2.9 Observando e imprimiendo los resultados finales

Es una vista de la estimación de emisiones en forma tabular. Donde también se pueden comparar los resultados del LANDGEM con las medidas del gas extraído y generado en el lugar.

Los datos que incluye la hoja de RESULTADOS son:

- Año de clausura del relleno
- Metano Contenido (viene de la hoja de trabajo de entradas de usuario)
- Años de aceptación de basura en el relleno
- Tasa de Aceptación anual de basura hecha por el modelo en las unidades elegidas al principio.
- Cantidad anual de basura en el lugar.

- Estimación Anual de emisiones de los gases contaminantes de acuerdo con las entradas de usuario y a las unidades establecidas.

3.2.10 Gráficas de resultados

Es una vista la estimación de emisiones de manera gráfica. Que contiene 3 graficas generadas en esta hoja de trabajo.

3.2.11 Resultados de inventario

Es una vista de la estimación de emisiones de los contaminantes y del aire. Esta hoja de trabajo permite que usted imprima las emisiones par aun año particular de todos los gases y contaminantes en las unidades establecidas por el usuario. Usted debe de introducir el año del que desea saber las estimaciones y automáticamente aparecen todas las estimaciones de ese año para todos los gases contaminantes en 5 diferentes unidades.

3.2.12 Reporte resumido

Es una vista del reporte donde contiene información de todos los resultados de todas las secciones anteriores, pero resumidas. (Aguilar-Virgen, 2011)

3.3 Generación de certificados de carbono

Una vez que el proyecto ha cumplido con todas las normas establecidas y se han llevado a cabo las reducciones de las emisiones, el IPCC entrega los Certificados de Emisiones Reducidas (CER) (se reserva los derechos de verificación), las cuales pueden ser comercializadas en el Comercio de Emisiones de la siguiente manera:

1 TONELADA DE CO₂ EMITIDA = 1 CER = CERTIFICADO DE CARBONO

1 TONELADA DE CH₄ NO EMITIDA = 21 TONELADAS DE CO₂ = 21 CER´s

Esto quiere decir que por cada tonelada de CO₂ que se evita emitir se genera un certificado de carbono y así sucesivamente.

Cada certificado de carbono en territorio Nacional tiene un valor de 8 euros por cada tonelada de CO₂ no emitida o entre 4 y 6 dólares.

4 CAPITULO 4

4.1 Composición de la basura

La basura está compuesta por diversos productos y el porcentaje de varía en cada caso. En la Tabla 8 se presenta la composición de la basura en la zona conurbana del estado de Morelos del año 2022 hasta el año de 2032 de acuerdo con datos reportados por el periódico oficial “Tierra y Libertad”. (LIBRE, 2014)

Tabla 8. Generación de residuos sólidos por composición en la zona conurbana en Morelos

Tipo de basura	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	PORCENTAJE
Total (TON/AÑO)	365300	369318	373380	377488	381640	385838	390082	394373	398711	403097	407531	%
Papel, cartón, productos de papel	33242	33608	33978	34351	34729	35111	35497	35888	36283	36682	37085	9.1
Textiles	10849	10969	11089	11211	11335	11459	11585	11713	11842	11972	12104	2.97
Plásticos	51507	52074	52647	53226	53811	54403	55002	55607	56218	56837	57462	14.1
Vidrios	13881	14034	14188	14345	14502	14662	14823	14986	15151	15318	15486	3.8
Metales	8037	8125	8214	8305	8396	8488	8582	8676	8772	8868	8966	2.2
Aluminio	3580	3619	3659	3699	3740	3781	3823	3865	3907	3950	3994	0.98
Ferrosos	3215	3250	3286	3322	3358	3395	3433	3470	3509	3547	3586	0.88
Otros ferrosos	2082	2105	2128	2152	2175	2199	2223	2248	2273	2298	2323	0.57
Basura de comida, de jardines y materiales orgánicos similares	200915	203125	205359	207618	209902	212211	214545	216905	219291	221703	224142	55
Otro tipo de basura (residuos finos, pañal desechable, etc.)	37991.2	38409	38832	39259	39691	40127	40569	41015	41466	41922	42383	10.4
TOTAL												100

Se observa que el porcentaje más alto es de los productos orgánicos que involucra cuero, fibra dura vegetal, hueso, madera, residuos alimentarios y residuos de jardinería, siguiéndole el apartado de plásticos y como tercer lugar el otro tipo de basura.

Actualmente, la zona conurbana del estado de Morelos cuenta con una población aproximadamente de **897 764** habitantes los cuales generan **365 300** toneladas de

basura anuales, lo cual equivale 990 ton/día y equivale a **1.10** kg por persona diario en promedio.

De acuerdo con la composición de la basura a estado de Morelos se obtendrá la distribución mostrada en la Tabla 9.

Tabla 9. Composición de basura en la zona conurbana en Morelos

	Basura diaria [kg/día]	Porcentaje
Total	1,000,821	%
Papel, cartón, productos de papel	91075	9.1
Textiles	29724	2.97
plásticos	141116	14.1
Vidrios	38031	3.8
Metales	22018	2.2
Aluminio	9808	0.98
Ferrosos	8807	0.88
Otros ferrosos	5705	0.57
Basura de comida, de jardines y materiales orgánicos similares	550452	55
Otro tipo de basura (residuos finos, pañal desechable, etc.)	104085	10.4

Los productos antes mencionados son parte de la clasificación de basura que hasta el día de hoy existe. La clasificación está hecha de tal manera que cada letra representa un rango de Carbón Orgánico Degradable de cada producto; es decir la

capacidad de cada tipo de basura para descomponerse, lo cual se muestra en la Tabla 10:

Tabla 10. Clasificación de los desechos municipales

Basura	Clasificación
Papel, cartón, productos de papel, textiles	A
Jardín, parques, desechos putrescibles	B
Alimento	C
madera y paja	D

Proyectando los valores de la Tabla 10 a porcentajes se obtendrá la Tabla 11.

Tabla 11. Porcentaje de carbón orgánico degradable

BASURA	Clasificación	%
Papel, cartón, productos de papel, textiles	A	12.07
Jardín, parques, desechos putrescibles	B+C	55
madera y paja	D	0.79

4.2 Determinación de capacidad de potencial de generación de metano

Se recordará que el potencial de generación de metano (L_0) es una parte importante dentro de la ecuación de 1er. Grado del Modelo de degradación ya que se representa la capacidad de la basura para generar el Metano, y cuya manera se calcula de la siguiente:

1.- Formula General:

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot \frac{16}{12}$$

Donde:

MCF = Factor de correccion para el metano

DOC = Carbón organico degradable

DOC_F = Fraccion carbón orgánico degradable

F = Fraccion volumétrica de metano en el biogas

$$\frac{16}{12} = \text{relación estequiometrica}$$

4.3 Cálculo del carbón orgánico degradable (DOC)

Para el cálculo del DOC se utiliza la siguiente fórmula

$$DOC = (0.40 \cdot A) + (0.16 \cdot B + C) + (0.30 \cdot D)$$

Donde:

A, B, C, D: Representan la cantidad de cada tipo de basura

0.40, 0.17, 0.15, 0.30: Representa la capacidad para degradarse

L_0 cual es de la siguiente manera:

$$DOC = (0.40 \cdot 0.1207) + (0.17 \cdot 55) + (0.30 \cdot 0.0079)$$

$$DOC = 0.14$$

El carbón orgánico degradable será de 0.14

4.4 Cálculo de fracción de carbono orgánico degradable asimilado DOC_F

se obtendrá de la siguiente manera:

$$DOC_F = 0.014T + 0.28$$

Donde:

T: Temperatura promedio de Morelos (32°C) información tomada de (Aguilar-Virgen, 2011)

Por lo tanto:

$$DOC_F = (0.014)(32) + 0.28$$

$$DOC_F = 0.728$$

La fracción de carbón orgánico degradable será de 0.728

Volviendo a L_0 :

$$L_0 = (MCF)(DOC)(DOC_F)(F) \left(\frac{16}{12} \right)$$

$$MCF = 1$$

$$F = 0.5$$

$$L_0 = (1)(0.14)(0.728)(0.5) \left(\frac{16}{12} \right)$$

$$L_0 = 0.0679 \frac{Gg CH_4}{Gg desecho}$$

4.5 Cálculo de la tasa de generación de metano

La tasa de metano generado determina la cantidad de metano que se produce por la basura contenida en el relleno sanitario. Un alto valor de K genera una rápida tasa de metano y decaiga con el tiempo. El valor de K es una constante que depende de 4 factores:

- Humedad
- pH de la basura
- Temperatura
- Disponibilidad de Nutrientes

El valor de K fue dado por la EPA y sus valores están dados en la Tabla 6.

La capacidad potencial de Generar Metano L_0 depende solo en el tipo y composición de la basura colocada en el relleno. Un alto contenido de celulosa en la basura aumenta el valor de L_0 . Igualmente se utiliza en la ecuación de primer orden y sus 5 valores principales de L_0 se presenta en la Tabla 7.

4.6 Cálculo de la generación de metano

El relleno sanitario que se propone es para una vida útil de 20 años, de los cuales solo 10 estará recibiendo basura, ya que la generación de basura está ligada al crecimiento de la población; se estimó que el aumento de basura anual será del 2 %, como se puede ver en la siguiente Tabla 12.

Tabla 12. Proyección de generación anual de basura en la zona conurbada de Morelos

Núm. Años	AÑO	BASURA EN mg/AÑO
1	2022	365300

2	2023	369318
3	2024	373380
4	2025	377488
5	2026	381640
6	2027	385838
7	2028	390082
8	2029	394373
9	2030	398711
10	2031	403097
TOTAL		407,531

Por lo tanto, se le estará dando tratamiento a **407 531** toneladas de basura generadas durante 10 años.

Como se mencionó previamente, estas 407 531 toneladas de basura se descompondrán de manera natural generando GEI's, los cuales serán capturados y ocupados para la generación de energía eléctrica en la turbina de gas.

Las 407 531 toneladas de basura que serán depositadas en el relleno producirán GEI's por una cantidad de 46.52 m³/h durante los 10 años de vida útil de los cuales 481.81 m³/h serán de metano, el cual equivale a un 50% del total del gas del relleno. Esto se obtuvo usando el programa LANDGEM, donde se calculan las emisiones de metano en base a la cantidad de basura depositada anualmente. La producción de gases como metano y dióxido de carbono la se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Producción de metano y dióxido de carbono

Gas del Relleno m³/año	Metano m³/año
0	0
2 581 111.652	1 419 611.409
5 089 408.698	2 799 174.784
7 528 058.551	4 140 432.203

9 900 107.87	5 445 059.328
12 208 487.32	6 714 668.026
14 456 016.17	7 950 808.892
16 645 406.68	9 154 973.676
18 779 268.38	10 328 597.61
20 860 112.07	11 473 061.64
22 890 353.8	12 589 694.59
24 872 318.57	13 679 775.21
26 808 243.99	14 744 534.19
28 700 283.69	15 785 156.03
30 550 510.73	16 802 780.9
32 360 920.72	17 798 506.39
34 133 434.95	18 773 389.23
35 869 903.36	19 728 446.85
37 572 107.32	20 664 659.03
39 241 762.42	21 582 969.33
40 880 521.07	22 484 286.59
42 489 975.03	23 369 486.26
44 071 657.81	24 239 411.8
42 343 583.39	23 288 970.87
40 683 267.74	22 375 797.26
39 088 054	21 498 429.7
37 555 389.48	20 655 464.21
36 082 821.59	19 845 551.88
34 667 993.92	19 067 396.66
33 308 642.44	18 319 753.34
32 002 591.88	17 601 425.54
30 747 752.31	16 911 263.77

Como se puede observar en la Figura 4, la máxima producción de gas tanto del relleno como de metano es en el año 2043, y en adelante empieza su decaimiento de producción de gases.

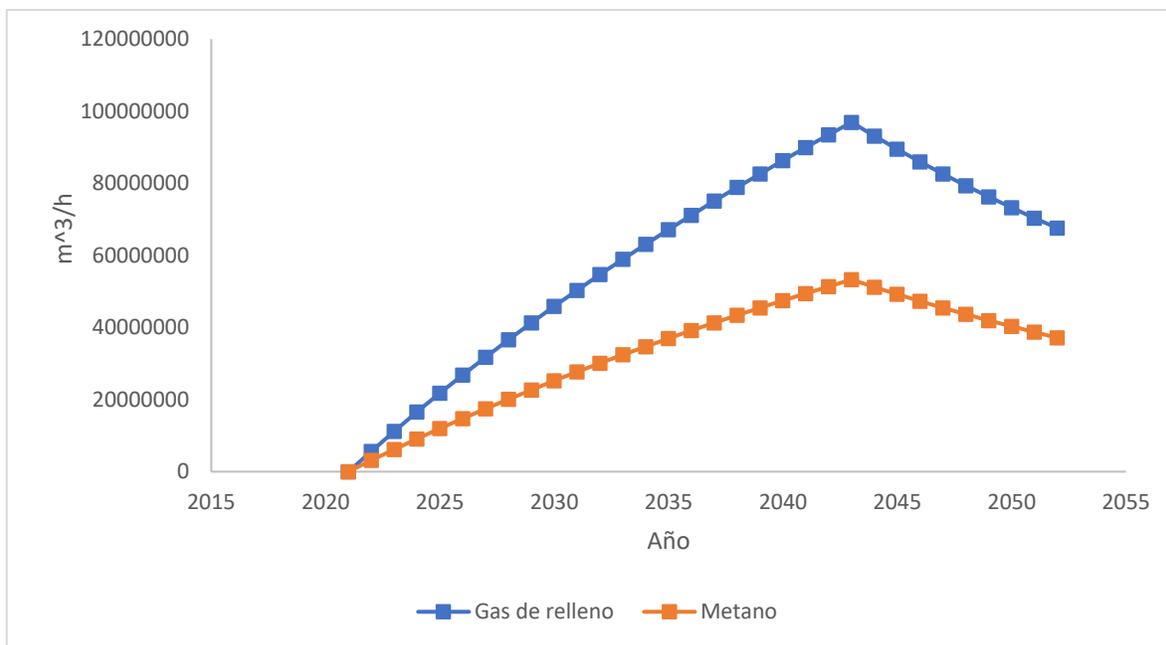


Figura4. Máxima producción de gas

Las emisiones de metano se comportan de acuerdo con la Tabla 14.

Tabla 14. Emisiones anuales de metano

AÑO	EMISIONES ANUALES $\left(\frac{m^3}{año}\right)$	EMISIONES ACUMULADAS $\left(\frac{m^3}{año}\right)$
2021	0	0
2022	1 419 611	1 419 611
2023	2 799 175	1 363 948
2024	4 140 432	1 310 466
2025	5 445 059	1 259 082
2026	6 714 668	1 209 713
2027	7 950 809	1 162 280
2028	9 154 974	1 116 706

2029	10 328 598	1 072 919
2030	11 473 062	1 030 849
2031	12 589 695	990 429
2032	13 679 775	951 594
2033	14 744 534	914 281
2034	15 785 156	878 432
2035	16 802 781	843 988
2036	17 798 506	810 895
2037	18 773 389	779 099
2038	19 728 447	748 550
2039	20 664 659	719 199
2040	21 582 969	690 999
2041	22 484 287	663 905
2042	23 369 486	637 873

Esto quiere decir que las emisiones que se van a generar son 277 430 072 en $\frac{m^3}{año}$.

4.7 Cálculo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero solo por la quema del gas

Las emisiones reducidas totales que se generan solo de la quema el gas se calculan de la siguiente manera:

Se calcula la cantidad de gas de relleno y de metano este último se obtiene multiplicando la cantidad de gas de relleno sanitario por 0.5 ya que para estos cálculos se asume que el 50% pertenece a metano, partiendo de este último calculo que es de la cantidad de metano que se produce se calcula cuanto de emisión de metano se produce multiplicando la cantidad de metano por 0.000657 que es la densidad del metano dada en $\frac{Mg}{m^3}$ y se obtiene de la Tabla 15

Tabla 15. Generación anual total de gases del relleno sanitario en la zona conurbada en Morelos

Año	GRS (m³/año)	CH₄ (m³/año)	Emisiones de CH₄ (Mg/año)
2021	0	0	0
2022	2 581 112	1 290 556	848
2023	5 089 409	2 544 704	1 672
2024	7 528 059	3 764 029	2 473
2025	9 900 108	4 950 054	3 252
2026	12 208 487	6 104 244	4 010
2027	14 456 016	7 228 008	4 749
2028	16645407	8322703	5 468
2029	18 779 268	9 389 634	6 169
2030	20 860 112	10 430 056	6 853
2031	22 890 354	11 445 177	7 519
2032	24 872 319	12 436 159	8 171
2033	26 808 244	13 404 122	8 807
2034	28 700 284	14 350 142	9 428
2035	30 550 511	15 275 255	10 036
2036	32 360 921	16 180 460	10 631
2037	34 133 435	17 066 717	11 213
2038	35 869 903	17 934 952	11 783
2039	3 757 2107	18 786 054	12 342
2040	39 241 762	19 620 881	12 891
2041	40 880 521	20 440 261	13 429
2042	42 489 975	21 244 988	13 958
2043	44 071 658	22 035 829	14 478
2044	42 343 583	21 171 792	13 910
2045	40 683 268	20 341 634	13 364

Se obtienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla 16

Tabla 16. Datos principales

DATOS PRINCIPALES	
GRS quemado	<u>2 581 112 m³</u>
CH ₄ Concentración (%)	50%
Densidad del CH ₄	0.000657 $\frac{Mg}{m^3}$
Eficiencia de quemado	85%
MD proyecto = MDquemado (MgCH ₄)	848 $\frac{MgCH_4}{año}$
MDproyecto = MD QUEMADO (MgCO ₂)	17 806 $\frac{MgCO_2}{año}$

Los demás datos son predeterminados por las características del metano usando las siguientes formulas:

Los datos de GRS son sacados del programa LandGem, por lo que procederemos a sacar los datos de Metano

$$Mg CH_4 = (GRS_{quemado})(Concentracion_{CH_4})$$

$$Mg CH_4 = (2 581 112)(0.5)$$

$$Mg CH_4 = 1 290 556$$

$$MD_{quemado(Mg CH_4)} = (GRS_{quemado})(Concentracion_{CH_4})(\rho_{CH_4}) \quad Ec(1)$$

$$MD_{quemado(Mg CH_4)} = (2 581 112 \text{ m}^3)(0.5) \left(0.000657 \frac{Mg}{m^3}\right)$$

$$MD_{quemado(MgCH_4)equivalente} = 848 \frac{MgCH_4}{año}$$

$$MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente}$$

$$= (MD_{quemado(MgCH_4)equivalente})(potencial de calentamiento del metano) \quad Ec(2)$$

$$MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente} = \left(848 \frac{MgCH_4}{año}\right) \left(21 \frac{MgCO_{2eq}}{MgCH_4}\right)$$

$$MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente} = 17\,808 \frac{MgCO_2}{año}$$

En la ecuación 1 se calcula la cantidad de toneladas de Metano (CH₄) que es quemado y fue generado en el primer año del proyecto, aunque en la tabla 15 se presenta el cálculo de 20 años ya que después de 10 años agregándole RSU se seguirá produciendo metano.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 16. Esta tabla nos representa las emisiones reducidas en la línea base por el relleno es decir las emisiones reducidas dentro del relleno.

4.8 Generación de emisiones de dióxido

Por estequiometría del metano y del dióxido de carbono se sacará la cantidad de dióxido de carbono que se produce en el relleno sanitario con sus respectivos años.

Tabla 17. Cantidad de dióxido de carbono por la quema del metano

Año	<i>(MgCO₂)equivalente</i> (Mg/año)
2021	0
2022	17 806
2023	41 797
2024	61 824
2025	81 305
2026	100 262
2027	118 720
2028	136 700

2029	154 225
2030	171 314
2031	187 987
2032	204 264
2033	220 163
2034	235 701
2035	250 896
2036	265 764
2037	280 321
2038	294 582
2039	308 561
2040	322 273
2041	335 731
2042	348 949
2043	361 938
2044	347 747
2045	334 111

$$MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente} = (MD_{quemado(MgCH_4)equivalente})(potencial\ de\ calentamiento\ del\ metano) \quad Ec(2)$$

$$MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente} = \left(848 \frac{MgCH_4}{año}\right) \left(21 \frac{MgCO_{2eq}}{MgCH_4}\right)$$

$$MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente} = 17\ 806 \frac{MgCO_2}{año}$$

En la ecuación 2 se obtiene la equivalencia de toneladas de CH₄ a toneladas de CO₂.

4.9 Generación de Metano con un 85% de quemado

Un sistema de recuperación de GRS bien diseñado, construido y operado puede llegar a poder tener una quemada del 85% de metano.

Si se quema un 85% de metano se tiene, y estos parámetros se obtuvieron del catálogo general de motores (S.A.S); para este caso se escogió el quemador modelo QH-120

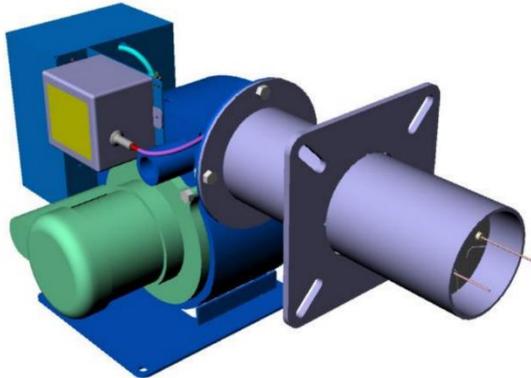


Figura5. Quemador modelo QH-120

Es un equipo que puede operar con cualquier tipo de gas. Puede alcanzar a una potencia máxima de 150.000 BTU a una eficiencia del 85%. Posee un controlador de llama y es totalmente automático, con lo cual no hay pérdidas de combustible.

Tabla 18. Especificaciones Técnicas

Modelo	QH-120
Potencia mínima térmica	15 Kw/h
Potencia máxima térmica	44 Kw/h
Entrada de gas	13 mm
Voltaje de las válvulas a gas	110 V

Tipo de gas	GLP-N
Presión máxima de gas	14" C.A
Presión mínimo de gas	6" C.A
Sensor de flama	Electrodo de ionización
Encendido	Transformador de ignición
Ventilador	Centrifugo
Potencia ventilador	1/8 HP
Presostato de aire	Si
Voltaje de entrada	110 V
Diámetro del cañón	90 mm
Tipo de montaje	Flanche

Tabla 19. Generación de metano con un 85% de quemado

Año	Metano quemado (Mg/año)	Metano sin quemar (Mg/año)	Emisiones de dióxido de carbono por el metano quemado (Mg/año)	Emisiones de dióxido de carbono por el metano sin quemar (Mg/año)	Emisiones totales de dióxido de carbón equivalentes (Mg/año)	%
2021	0	0	0	0	0	0
2022	721	127	1 982	2 671	4 653	74
2023	1 421	251	3 908	5 266	9 174	78
2024	2 102	371	5 781	7 790	13 570	78
2025	2 764	488	7 602	10 244	17 846	78
2026	3 409	602	9 375	12 633	22 008	78
2027	4 036	712	11 100	14 959	26 059	78
2028	4 648	820	12 781	17 224	30 006	78
2029	5 244	925	14 420	19 432	33 852	78
2030	5 825	1 028	16 018	21 586	37 603	78
2031	6 392	1 128	17 577	23 686	41 263	78
2032	6 945	1 226	19 099	25 737	44 836	78

2033	7 486	1 321	20 585	27 741	48 326	78
2034	8 014	1 414	22 038	29 698	51 736	78
2035	8 530	1 505	23 459	31 613	55 072	78
2036	9 036	1 595	24 849	33 486	58 335	78
2037	9 531	1 682	26 210	35 320	61 530	78
2038	10 016	1 767	27 543	37 117	64 661	78
2039	10 491	1 851	28 850	38 879	67 729	78
2040	10 957	1 934	30 133	40 606	70 739	78
2041	11 415	2 014	31 391	42 302	73 693	78
2042	11 864	2 094	32 627	43 968	76 594	78
2043	12 306	2 172	33 841	45 604	79 445	78
2044	11 823	2 086	32 514	43 816	76 330	78
2045	11 360	2 005	31 239	42 098	73 337	78

$$(MgCH_4)_{quemado} = (MD_{quemado}(MgCH_4)_{equivalente})(\%)$$

$$(MgCH_4)_{quemado} = \left(848 \frac{MgCH_4}{año}\right)(0.85)$$

$$(MgCH_4)_{quemado} = 721 \frac{MgCH_4}{año}$$

Ahora si no contará con el metano quemado se tendría

$$(MgCH_4)_{sin quemar} = (MD_{quemado}(MgCH_4)_{equivalente}) - (MgCH_4)_{quemado}$$

$$(MgCH_4)_{sin quemar} = 848 \frac{MgCH_4}{año} - 721 \frac{MgCH_4}{año}$$

$$(MgCH_4)_{sin quemar} = 127 \frac{MgCH_4}{año}$$

A partir de aquí se podrá calcular las emisiones de dióxido de carbono ya sea por el metano quemado o el metano sin quemar con su respectivo porcentaje

$$ECO_{2(CH_4)_{quemado}} = ((MgCH_4)_{quemado}) \times \left(\frac{44}{16}\right)$$

$$ECO_{2(CH_4)quemado} = \left(721 \frac{MgCH_4}{año}\right) \times \left(\frac{44}{16}\right)$$

$$ECO_{2(CH_4)quemado} = 1\,982 \frac{MgCO_2}{año}$$

Ahora se obtendrá las emisiones de dióxido de carbono sin quemar el metano

$$ECO_{2(CH_4)sin quemar}$$

$$= ((MgCH_4)_{sin quemar}) \times (\text{potencial de calentamiento del metano})$$

$$ECO_{2(CH_4)sin quemar} = \left(127 \frac{MgCH_4}{año}\right) \times \left(21 \frac{MgCO_{2eq}}{MgCH_4}\right)$$

$$ECO_{2(CH_4)sin quemar} = 2\,671 \frac{MgCO_2}{año}$$

Teniendo los cálculos anteriores se podrá calcular las emisiones totales de dióxido de carbono equivalentes

$$ET_{CO_2} = \left(ECO_{2(CH_4)quemado}\right) + \left(ECO_{2(CH_4)sin quemar}\right)$$

$$ET_{CO_2} = \left(1\,982 \frac{MgCO_2}{año}\right) + \left(2\,671 \frac{MgCO_2}{año}\right)$$

$$ET_{CO_2} = 4\,653 \frac{MgCO_2}{año}$$

Por lo tanto, su respectivo porcentaje será

$$\% = \frac{(MD_{proyecto}(MgCO_2)equivalente) - (ET_{CO_2})}{(MD_{proyecto}(MgCO_2)equivalente)} \times 100$$

$$\% = \frac{\left(17\,806 \frac{MgCO_2}{año}\right) - \left(4\,653 \frac{MgCO_2}{año}\right)}{17\,806 \frac{MgCO_2}{año}} \times 100$$

$$\% = 74$$

4.10 Energía generada

Se calculará el metano en unidades de $\left(\frac{Mj}{año}\right)$

Es importante conocer las equivalencias para poder sacar estos datos

$$Poder\ calorifico = ((MgCH_4)_{quemado}) \times \left(poder\ calorifico\ del\ metano\ en\ \frac{Mj}{m^3} \right)$$

$$Poder\ calorifico = (4775) \times \left(0.00042 \frac{Mj}{m^3} \right)$$

$$Poder\ calorifico = 20.055 \frac{Mj}{m^3}$$

Entonces ese valor para mayor facilidad se obtendrá en $\frac{Mj}{Mg}$

$$Poder\ calorifico = \frac{Poder\ calorifico}{\rho\ de\ CH_4\ en\ \frac{Mg}{m^3}}$$

$$Poder\ calorifico = \frac{20.055 \frac{Mj}{m^3}}{0.000657 \frac{Mg}{m^3}}$$

$$Poder\ calorifico = 30\ 525.11 \frac{Mj}{Mg}$$

$$CH_4 = \left(721 \frac{MgCH_4}{año} \right) \times \left(30\ 525.11 \frac{Mj}{Mg} \right)$$

$$CH_4 = 21\ 999\ 783 \frac{Mj}{año}$$

Tabla 20. Metano producido

Año	Metano generado Mj/año
-----	---------------------------

2021	0
2022	21 999 783
2023	43 378 939
2024	64 164 466
2025	84 382 332
2026	104 057 516
2027	123 214 047
2028	141 875 043
2029	160 062 747
2030	177 798 558
2031	195 103 069
2032	211 996 098
2033	228 496 717
2034	244 623 281
2035	260 393 459
2036	275 824 263
2037	290 932 066
2038	305 732 638
2039	320 241 160
2040	334 472 257
2041	348 440 011
2042	362 157 991
2043	375 639 266
2044	360 910 240
2045	346 758 747

Se pasará el 38.7% de metano producido a unidades de energía $\frac{Kcal}{año}$

De acuerdo con el modelo de motor G3520C, del catálogo de CAT (Grupos generadores a gas serie) (G3500), se tendrá la siguiente tabla con sus especificaciones

Tabla 21. Especificaciones del motor G3520C

G3520C		
Datos físicos		
Calibre/carrera	170/190 mm	6.7/7.5 pulg
Cilindrada	86 mm	5266 pulg
Velocidad	1 500 rpm	1 500 rpm
Longitud	7 557 mm	298 pulg
Ancho	2 170 mm	85 pulg
Altura	3 212 mm	126 pulg
Peso en seco del grupo electrógeno	2 2425 kg	4 9447 lb
Rendimiento		
Ajuste de emisión	500 mg/m_n^3	1 g/bhp-h
Energía eléctrica	1 936 kW	1 936 kW
Presión efectiva promedio	18.9 bar	274 $lb/pulg^2$
Rendimiento térmico	2 322 kW_{th}	132 049 Btu/m
Eficiencia eléctrica	38.70%	38.70%
Eficiencia térmica	44.70%	44.70%
Eficiencia total	83.40%	83.40%



Figura6. Motor modelo G3520C

Tabla 22. Energía generada

Energía generada	
Año	Mj/año
2021	0
2022	8 513 916
2023	16 787 649
2024	24 831 648
2025	32 655 962
2026	40 270 259
2027	47 683 836
2028	54 905 642
2029	61 944 283
2030	68 808 042
2031	75 504 888
2032	82 042 490
2033	88 428 229
2034	94 669 210
2035	100 772 269
2036	106 743 990
2037	112 590 710
2038	118 318 531
2039	123 933 329
2040	129 440 763
2041	134 846 284
2042	140 155 142
2043	145 372 396
2044	139 672 263
2045	134 195 635

$$E = (\text{Metano producido}) \times (\text{eficiencia del motor})$$

$$E = \left(21\,999\,783 \frac{Mj}{año} \right) \times (0.387)$$

$$E = 8\,513\,916 \frac{Kcal}{año}$$

A partir de aquí se obtendrá en unidad de $\frac{Mj}{año}$ al metano con su respectiva electricidad generada, recopilación de datos

Tabla 23. Producción de metano y energía generada

	Metano generado	energía generada
Año	Mj/año	Mj/año
2021	0	0
2022	21 999 783	8 513 916
2023	43 378 939	16 787 649
2024	64 164 466	24 831 648
2025	84 382 332	32 655 962
2026	104 057 516	40 270 259
2027	123 214 047	47 683 836
2028	141 875 043	54 905 642
2029	160 062 747	61 944 283
2030	177 798 558	68 808 042
2031	195 103 069	75 504 888
2032	211 996 098	82 042 490
2033	228 496 717	88 428 229
2034	244 623 281	94 669 210
2035	260 393 459	100 772 269
2036	275 824 263	106 743 990
2037	290 932 066	112 590 710
2038	305 732 638	118 318 531
2039	320 241 160	123 933 329

2040	334 472 257	129 440 763
2041	348 440 011	134 846 284
2042	362 157 991	140 155 142
2043	375 639 266	145 372 396
2044	360 910 240	139 672 263
2045	346 758 747	134 195 635

Por razones prácticos lo MJ/año se convertirá a J/s, se obtendrá la siguiente tabla

Tabla 24. Cambio de unidades en energía generada

Año	Metano J/s	energía generada J/s
2021	0	0
2022	697 609	269 975
2023	1 375 537	532 333
2024	2 034 642	787 406
2025	2 675 746	1 035 514
2026	3 299 642	1 276 962
2027	3 907 092	1 512 045
2028	4 498 828	1 741 046
2029	5 075 556	1 964 240
2030	5 637 955	2 181 889
2031	6 186 678	2 394 244
2032	6 722 352	2 601 550
2033	7 245 583	2 804 041
2034	7 756 953	3 001 941
2035	8 257 022	3 195 468
2036	8 746 330	3 384 830
2037	9 225 395	3 570 228
2038	9 694 718	3 751 856
2039	10 154 781	3 929 900

2040	10 606 046	4 104 540
2041	11 048 960	4 275 948
2042	11 483 955	4 444 290
2043	11 911 443	4 609 728
2044	11 444 389	4 428 978
2045	10 995 648	4 255 316

Se calculará las emisiones que se dejan de producir en el sistema eléctrico mexicano

$$E_{producidas} = (Energía_{gen}) \times (Factor\ de\ emisión\ del\ sistema\ electrico\ nacional)$$

El valor del factor de emisión del sistema eléctrico nacional fue obtenido en el registro nacional de emisiones

$$Factor\ de\ emisión\ del\ sistema\ electrico\ nacional = \frac{0.494\ Mg}{36000Mj}$$

$$Factor\ de\ emisión\ del\ sistema\ electrico\ nacional = 0.0001372 \frac{Mg}{Mj}$$

$$E_{producidas} = \left(8\ 513\ 916 \frac{Mj}{año}\right) \times \left(0.000137 \frac{Mg}{Mj}\right)$$

$$E_{producidas} = 1\ 168 \frac{Mg}{año}$$

Para calcular las emisiones del proyecto se tendrá lo siguiente

$$E_{proyecto} = (E_{TotalCO_2}) - (E_{producidas})$$

$$E_{proyecto} = \left(4\ 653 \frac{MgCO_2}{año}\right) - \left(1\ 168 \frac{MgCO_2}{año}\right)$$

$$E_{proyecto} = 3\,485 \frac{MgCO_2}{año}$$

El porcentaje respectivo será

$$\% = \frac{(MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente}) - (E_{proyecto})}{(MD_{proyecto(MgCO_2)equivalente})} \times 100$$

$$\% = \frac{\left(17\,806 \frac{MgCO_2}{año}\right) - \left(3\,485 \frac{MgCO_2}{año}\right)}{17\,806 \frac{MgCO_2}{año}} \times 100$$

$$\% = 80$$

A partir de este punto se tendrá las emisiones generadas en el sistema eléctrico mexicano y las emisiones del proyecto con su respectivo porcentaje

Tabla 25. Emisiones que se dejan de producir y emisiones del proyecto

	Emisiones que se deja de producir en el sistema eléctrico mexicano	Emisiones del proyecto	Porcentaje
Año	$MgCO_2$	$\frac{MgCO_2}{año}$	%
2021	0	0	0
2022	1 168	3 485	80
2023	2 304	6 871	84
2024	3 407	10 163	84
2025	4 481	13 365	84
2026	5 526	16 482	84
2027	6 543	19 516	84
2028	7 534	22 471	84
2029	8 500	25 352	84

2030	9 442	28 161	84
2031	10 361	30 902	84
2032	11 258	33 578	84
2033	12 134	36 191	84
2034	12 991	38 746	84
2035	13 828	41 243	84
2036	14 648	43 688	84
2037	15 450	46 080	84
2038	16 236	48 425	84
2039	17 006	50 723	84
2040	17 762	52 977	84
2041	18 504	55 189	84
2042	19 232	57 362	84
2043	19 948	59 497	84
2044	19 166	57 164	84
2045	18 415	Figura54. 923	84

4.12 Emisión de certificado de carbono

A partir de aquí calcularemos cuantos certificados de carbonos se producirán

Tabla 26. Emisión de certificado de carbono

Año	Emisión de certificado de carbono (Mg/año)
2021	0
2022	390 117
2023	769 228
2024	1 137 812
2025	1 496 331
2026	1 845 226
2027	2 184 923
2028	2 515 834
2029	2 838 352

2030	3 152 857
2031	3 459 713
2032	3 759 273
2033	4 051 874
2034	4 337 843
2035	4 617 491
2036	4 891 122
2037	5 159 025
2038	5 421 479
2039	5 678 755
2040	5 931 112
2041	6 178 798
2042	6 422 056
2043	6 661 116
2044	6 399 930
2045	6 148 985

Se sumará como primer paso las emisiones de dióxido de carbono por el metano sin quemar y metano quemado

$$Paso 1 = (ECH_{4s/quemar}) + (CH_{4quemado})$$

$$Paso 1 = \left(2671 \frac{Mg}{año}\right) + \left(721 \frac{Mg}{año}\right)$$

$$Paso 1 = 3\,392 \frac{Mg}{año}$$

Teniendo ese resultado se restará con las emisiones de metano

$$Paso 2 = (Paso 1) - (ECH_4)$$

$$Paso 2 = \left(3\,392 \frac{Mg}{año}\right) - \left(848 \frac{Mg}{año}\right)$$

$$Paso 2 = 2\,544 \frac{Mg}{año}$$

Ahora el resultado se multiplicará por el potencial de calentamiento global del metano

$$Paso\ 3 = (Paso\ 2) \times (Potencial\ de\ calentamiento\ global\ del\ metano)$$

$$Paso\ 3 = \left(2\ 544 \frac{Mg}{año} \right) \times (21)$$

$$Paso\ 3 = 53\ 424 \frac{Mg}{año}$$

Teniendo este dato se restará con las emisiones totales de dióxido de carbono equivalentes

$$Paso\ 4 = (Paso\ 3) - (ECO_{2equivalentes})$$

$$Paso\ 4 = \left(53\ 424 \frac{Mg}{año} \right) - \left(4\ 653 \frac{Mg}{año} \right)$$

$$Paso\ 4 = 48\ 771 \frac{Mg}{año}$$

Por último, se multiplicará por el costo que tiene los certificados de carbono que son 8 euros

$$Cert_{carbono} = (Paso\ 4) \times (euro)$$

$$Cert_{carbono} = \left(48\ 771 \frac{Mg}{año} \right) \times (8)$$

$$Cert_{carbono} = 390\ 117 \frac{Mg}{año}$$

5 Conclusión

Se recopiló la información para obtener los datos para el manejo de un relleno sanitario que se ubicaría en la zona conurbada del estado de Morelos, teniendo en cuenta algunos datos importantes como la zona geográfica, el clima, la fauna para así decidir qué tipo de relleno convendría más en dicho lugar.

Con el Programa LANDGEM fue posible realizar una simulación para el cálculo de la cantidad de gases de invernadero que se produciría en 20 años, a partir de la proyección de residuos sólidos generados durante ese período. De acuerdo a los datos obtenidos, se encontró que la mejor forma de quemado y recuperación de gas deseado se puede obtener a partir de utilizar un sistema de quemado como de motores, partiendo de este programa se realizó una hoja de cálculo en Excel, donde definiríamos el año de inicio y el año de cierre del relleno sanitario, disponiendo de cuanto residuo sólido urbano se ingresaría año con año y así poder calcular el gas de relleno sólido con sus respectivos gases de interés como son el metano y el dióxido de carbono.

En esa misma hoja calcularíamos las emisiones equivalentes de dióxido de carbono, al igual propondríamos un sistema de quemado como de motores para la mejor quemado y recuperación del gas deseado, donde el gas pasara por esta maquinaria quemándose al igual forma podremos calcular el gas no quemado si decidiéramos dejarlo solo y obtendríamos las emisiones de dióxido de carbono por el metano quemada o ya sea sin quemar y las emisiones totales de dióxido de carbono equivalentes, y es a partir de aquí que se tendrá el cálculo a desear del metano generado como la energía generada, con ayuda de esto podremos saber las emisiones que se dejan de producir en el sistema eléctrico mexicano y las emisiones del proyecto.

Gracias a todo lo anterior, podremos sacar la cantidad de certificados de carbono, y podemos ver que desde año 1 este proyecto es rentable y se producen los certificados de carbono, este podría ser un buen proyecto si lo aplicáramos con la información anterior se puede determinar la cantidad de certificados de carbono, lo que permite visualizar que desde el primer año este proyecto es rentable.

Se sugiere aplicar este proyecto primero a nivel estatal y con el tiempo a Nivel Nacional. Este tipo de proyectos contribuye a demostrar que México puede ser una buena alternativa para las inversiones extranjeras.

Otra contribución importante de este tipo de proyectos es que ayuda a mitigar los efectos del cambio climático global y del efecto invernadero para que la población pueda tener una mejor calidad de vida y un aprovechamiento racional de los recursos naturales.

6 Referencias

- Aguilar-Virgen, Q. T.-G.-B. ((2011)). *Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás*. Ingeniería, 15(1), 37-45.
- Blanco, G. S. ((2017)). *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico*. . Banco Interam. Desarro, 52.
- Camargo, Y. &. ((2009)). *Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. In II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. . Colombia.
- De garcía, L. F. ((2011)). *Desarrollo sustentable en américa latina y el caribe: nuevas tecnologías para la captura y quema de gases en los rellenos sanitarios*. Documentos de Trabajo de Contabilidad Social, (1).

- el Cambio, C. D. ((2015)). *Cumbre de Paris: Convención sobre el Cambio Climático*. 21(67), 41-44. Cultura de Paz.
- Esquer, R. ((2009)). *Reciclaje y tratamiento de los residuos sólidos urbanos*. . Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. México.
- G3500, C. (s.f.). *Grupos generadores a gas serie* . CAT.
- Hilbert, J. A. ((1992)). '*Manual para la producción de biogás*.' Instituto de Ingeniería Rural.
- Ibarra Sarlat, R. ((2018)). *El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano*.51(152), 569-597. . Boletín mexicano de derecho comparado.
- LIBRE, O. &. ((2014)). *Periódico Oficial*. COMUNICACIÓN, 12, 0.
- López, L. J. ((2015)). *Problema energético y calentamiento global*. . Revista de Derecho, Empresa y Sociedad (REDS), (7), 114-130.
- Moran, J. M. ((1989)). *Meteorology*. the Atmosphere and the Science of Weather (No. 04; QC861. 2, M6 1989.).
- naturales, S. d. (s.f.). *Factor de emisión del sistema eléctrico nacional 2020*. Registro nacional de medio ambiente , Ciudad de México.
- Poletto, J. A. ((2009)). *Influencia de la separación de residuos sólidos urbanos para reciclaje en el proceso de incineración con generación de energía*. 20(2), 105-112. Información tecnológica, .
- Pouillard, E. (s.f.). *Análisis Comparativo de los Bonos de Carbono generados a partir de Proyectos de Compensación intercambiados en el Mercado Voluntario del Carbono en Europa*. Faculté Des Sciences Montpellier.
- S.A.S, g. &. (s.f.). *Catalogo general de quemadores* . Equipos especiales a gas .
- Soto Córdoba, S. ((2005)). *Situación del manejo de los desechos sólidos en Costa Rica*.
- Ullca, J. ((2005)). *Los rellenos sanitarios*. LA GRANJA. *Revista de Ciencias de la Vida*,(4), 2-17. Universidad Politécnica Salesiana.
- Vásquez, O. ((2005)). *Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana de Chile*. 1(1), 27-52. Revista de dinámica de sistemas.

Vides-Almonacid, R. ((2014)). *Bases conceptuales y enfoques estratégicos para la adaptación al Cambio Climático en América Latina*. . Sabiduría, 13.