

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**MODELADO DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

PRESENTADO POR:
MARCELO ALEXIS HERRERA SEVILLANO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2,021.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**MODELADO DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS**

Presentado por:

MARCELO ALEXIS HERRERA SEVILLANO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ

SAN SALVADOR, FEBRERO 2,021.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, viernes 12 de febrero de 2021, en la Sala de Lectura de la **Escuela de Ingeniería Eléctrica**, a las 9:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la **Escuela de Ingeniería Eléctrica** de la **Universidad de El Salvador**:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director


Firma

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. JOSE MIGUEL HERNANDEZ
(Docente Asesor)


Firma

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ


Firma

- MSC. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

MODELADO DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN UN VERTEDERO

A cargo del Bachiller:

- MARCELO ALEXIS HERRERA SEVILLANO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 7.7

(Siete punto siete)

Agradecimientos.

Quiero dedicarles este logro a todas las personas que creyeron en mí y me han apoyado a lo largo de toda la carrera, a todos aquellos que estuvieron conmigo en los buenos y en los malos momentos.

A mi padre: Eliseo Herrera quien siempre fue mi apoyo moral y de quien fui su mayor orgullo hasta sus últimos momentos.

A mi madre: Nelly Sevillano quien sin su apoyo nunca hubiese podido llegar hasta el final.

A mis hermanos: Luis Fernando y Geraldina que a pesar de nuestras diferencias me apoyan cada uno a su manera.

A mis mejores amigos: Raúl y Salvador a quienes conozco desde pequeño y a quienes considero mis hermanos.

A todos mis amigos que conocí a lo largo de la carrera en especial al grupo del cartón con los cuales pude compartir mis últimos años en la carrera.

A niña Reina Vides y al Ingeniero Miguel quienes me han dedicado parte de su tiempo y me han aconsejado a lo largo de la carrera y en este trabajo de graduación.

Índice.

Objetivos.	13
Objetivo general:.....	13
Objetivos específicos:.....	13
Introducción.	14
1. Problemática de los recursos no renovables y solución a problemas energéticos.	15
1.1 Problemática Energética Mundial.	15
1.2 Energías renovables.	16
1.2.1 Tipos de energías renovables.	17
1.3 Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	23
1.3.1 ¿Qué peligros representan los rellenos sanitarios a cielo abierto?	24
1.3.2 Problemática de los residuos sólidos urbanos en El Salvador.	24
1.3.3 Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos en El Salvador.	25
1.3.4 Tratamiento de los residuos sólidos urbanos.	27
1.4 ¿Qué es el biogás?.....	27
1.5 Métodos de obtención de biogás.....	28
1.5.1 Digestión aerobia.	28
1.5.2 Digestión anaerobia.	28
1.6 Factores que condicionan la producción de biogás.	29
1.7 Propiedades del biogás.	31
2. Tecnologías para la recolección y utilización de biogás.	32
2.1 Biodigestores.....	32
2.1.1 Tipos de biodigestores más utilizados.	32
2.1.2 Parámetros de diseño de un biodigestor.....	35
2.2 Turbinas de gas.....	35
2.2.1 Principio de funcionamiento.	37
2.2.2 Ciclo Brayton.	38
2.2.3 Ciclo simple de una turbina de gas: regenerativo y no regenerativo.	39
2.2.4 Otros ciclos útiles.	40
2.3 Análisis de Tecnología de Construcción de rellenos sanitarios.....	43
2.3.1 Tipos de rellenos sanitarios.....	44
2.3.2 Métodos de construcción de rellenos sanitarios.	46
2.4 Emisiones de un relleno sanitario.	49

2.5 Técnica de recuperación para un vertedero no controlado.	49
2.6 Sistema de extracción de biogás de un relleno sanitario.....	51
2.6.1 Diseño de pozos de extracción vertical y colectores horizontales.....	55
2.6.2 Sistemas de manejo de condensado.....	60
2.7 Equipos de tratamiento primario.....	62
2.8 Equipos de compresión, limpieza y secado de biogás.	64
2.9 Motores de combustión interna.	65
3. Producción de energía eléctrica a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.....	67
3.1 Modelos matemáticos utilizados para la generación de biogás.	67
3.1.1 Modelo EPER Germany.	68
3.1.2 Modelo EPER France.	68
3.1.3 Modelo IPCC de orden cero.	70
3.1.4 Modelo IPCC multifase.	70
3.1.5 Modelo LandGEM.....	71
3.1.6 Modelo SWANA.....	73
3.1.7 Modelo TNO (Países Bajos).	74
3.1.8 Modelo Afvalzorg.	75
3.1.9 Modelo LFG GEN.	76
3.1.10 Modelo GasSim (UK).	77
3.2 Cálculos de producción de biogás para la generación eléctrica.	77
3.2.1 Obtención de resultados.....	80
3.2.2 Simulación para clima seco (precipitaciones de 500 a 749 mm/año).....	82
3.2.3 Simulación para clima moderado (precipitaciones de 750 a 999 mm/año).	85
3.2.4 Simulación para clima húmedo (precipitaciones $\geq 1,000$ mm/año).	88
3.3 Impacto ambiental.	90
3.3.1 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en clima seco.	91
3.3.2 Reducción de gases de efecto invernadero en clima moderado.	94
3.3.3 Reducción de gases de efecto invernadero en clima húmedo.	97
3.4 Proyección de la capacidad de la planta en El Salvador.....	100
3.5 Proyección en la generación de energía eléctrica para los rellenos sanitarios en El Salvador.	102
3.5.1 Relleno sanitario San Francisco Menéndez.....	102
3.5.2 Relleno sanitario Atiquizaya.....	104

3.5.3 Relleno sanitario de Santa Ana.	105
3.5.4 Relleno sanitario de La Libertad.....	106
3.5.5 Relleno sanitario CAPSA.	108
3.5.6 Relleno sanitario MIDES.	109
3.5.7 Relleno sanitario de Corinto.....	110
3.5.8 relleno sanitario SOCINUS.	112
3.5.9 Relleno sanitario de San Miguel.....	113
3.5.10 Relleno sanitario ASINORLU.	115
3.5.11 Relleno sanitario de Suchitoto.	116
3.5.12 Relleno sanitario AMUSNOR.	118
3.5.13 Relleno sanitario AMUCHADES.	119
Conclusiones.	122
Bibliografía.	123
Anexos.	126
Especificaciones técnicas de generadores para biogás.....	126
Datos de residuos sólidos urbanos del año 2,018 del departamento de Sonsonate.....	133

Índice de figuras.

FIGURA 1. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SALVADOR.	26
FIGURA 2. PROCESOS ANAEROBIOS DE LA BIOMASA.....	29
FIGURA 3. FACTORES QUE AFECTAN LA GENERACIÓN DE BIOGÁS.	30
FIGURA 4. ESQUEMA DE UN BIODIGESTOR DE CAMPANA FLOTANTE.	33
FIGURA 5. ESQUEMA DE UN BIODIGESTOR DE CÚPULA FIJA.....	34
FIGURA 6. ESQUEMA DE UN BIODIGESTOR TUBULAR.	35
FIGURA 7. CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS DE GAS EN EL CONJUNTO DE MÁQUINAS.	37
FIGURA 8. FLUJOS EN UNA TURBINA DE GAS.....	37
FIGURA 9. ETAPAS DEL CICLO BRAYTON.	38
FIGURA 10. MOTOR DE TURBINA DE GAS EN CICLO ABIERTO Y CERRADO.	39
FIGURA 11. CICLO IDEAL SIMPLE REGENERATIVO.....	40
FIGURA 12. DIAGRAMA DE LA MÁQUINA DE VAPOR.....	41
FIGURA 13. ESQUEMA DE UNA CENTRAL TÉRMICA DE CICLO COMBINADO.	42
FIGURA 14. MOTOR DE 4 TIEMPOS EL CUAL UTILIZA EL CICLO DE OTTO.	43
FIGURA 15. RELLENO SANITARIO MANUAL.....	45
FIGURA 16. PROCESOS DE UN RELLENO SANITARIO MECANIZADO.	46
FIGURA 17. MÉTODO DE TRINCHERA APLICADO A UN RELLENO SANITARIO MECANIZADO.	47
FIGURA 18. MÉTODO DE TRINCHERA APLICADO A UN RELLENO SANITARIO MANUAL.....	48
FIGURA 19. MÉTODO DE ÁREA APLICADO A UN RELLENO SANITARIO MECANIZADO.	48
FIGURA 20. MÉTODO DE ÁREA APLICADO A UN RELLENO SANITARIO MANUAL.....	49
FIGURA 21. MÉTODO DE SELLADO PARA LA RECUPERACIÓN DE UN VERTEDERO NO CONTROLADO.	50
FIGURA 22. ESQUEMA DE CAPTACIÓN DE BIOGÁS EN UN RELLENO SANITARIO.	51
FIGURA 23. ESQUEMA DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE BIOGÁS.	53
FIGURA 24. CABEZAL DE POZO DE EXTRACCIÓN.	53
FIGURA 25. ESQUEMA DE TRAMPA DE CONDENSADO.	54
FIGURA 26. ESQUEMA DE CÁRCAMO DE CONDENSADO.	55
FIGURA 27. DISEÑO DE UN POZO VERTICAL DE CAPTACIÓN DE BIOGÁS EN MM.	58
FIGURA 28. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE COLECTORES HORIZONTALES.....	59
FIGURA 29. ESQUEMA PARA UNIONES DE TUBERÍAS COLECTORAS HORIZONTALES.....	60
FIGURA 30. ESQUEMA DE EXTRACCIÓN DE CONDENSADO EN PUNTOS BAJOS DEL SISTEMA.....	61
FIGURA 31. TIPOS DE CÁRCAMOS DE CONDENSADO.	61
FIGURA 32. SEPARADOR DE HUMEDAD CENTRIFUGO.	63
FIGURA 33. DIAGRAMA DE ESTACIÓN DE TRATAMIENTO PRIMARIO.....	64
FIGURA 34. RELLENO SANITARIO DE SONSONATE.....	78
FIGURA 35. PROMEDIO DE PRECIPITACIONES ANUALES EN EL SALVADOR.	80
FIGURA 36. INGRESO DE DATOS PARA SIMULACIÓN DE CLIMA SECO.	82
FIGURA 37. RESULTADOS DE LA GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS.	84
FIGURA 38. INGRESO DE DATOS PARA SIMULACIÓN DE CLIMA MODERADO.	85
FIGURA 39. RESULTADOS DE LA GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS.	87
FIGURA 40. INGRESO DE DATOS PARA SIMULACIÓN DE CLIMA HÚMEDO.....	88
FIGURA 41. RESULTADOS DE LA GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS.	90
FIGURA 42. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN CLIMA SECO.....	93
FIGURA 43. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CH ₄ PARA CLIMA SECO.....	93
FIGURA 44. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA CLIMA SECO.....	94
FIGURA 45. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA CLIMA MODERADO.	95
FIGURA 46. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CH ₄ PARA CLIMA MODERADO.....	96
FIGURA 47. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA CLIMA MODERADO.	96

FIGURA 48. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA CLIMA MODERADO.	98
FIGURA 49. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CH ₄ PARA CLIMA HÚMEDO.	99
FIGURA 50. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ PARA CLIMA HÚMEDO.	99
FIGURA 51. PROYECCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA GENERADORA.	101
FIGURA 52. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA SAN FRANCISCO MENÉNDEZ.	103
FIGURA 53. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA ATQUIZAYA.	105
FIGURA 54. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA SANTA ANA.	106
FIGURA 55. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA LA LIBERTAD.	107
FIGURA 56. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO CAPSA.	109
FIGURA 57. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO MIDES.	110
FIGURA 58. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA CORINTO.	112
FIGURA 59. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO SOCINUS.	113
FIGURA 60. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO DE SAN MIGUEL.	115
FIGURA 61. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO ASINORLU.	116
FIGURA 62. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO DE SUCHITOTO.	118
FIGURA 63. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO AMUSNOR.	119
FIGURA 64. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO AMUCHADES.	121

Índice de tablas.

TABLA 1. COMPUESTOS DE LOS RSU PARA EL AÑO 2014.	26
TABLA 2. PROPIEDADES DEL BIOGÁS A 20 °C.	31
TABLA 3. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS EN UN RELLENO SANITARIO.	49
TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS COLECTORES DE BIOGÁS.	56
TABLA 5. ESPECIFICACIONES DE GENERADORES DE LA MARCA CATERPILLAR.	66
TABLA 6. ESPECIFICACIONES DE GENERADORES DE LA SERIE TCG 2020 DE LA MARCA MWM.	66
TABLA 7. ESPECIFICACIONES DE GENERADORES TYPE 4 DE LA MARCA JENBACHER.	66
TABLA 8. DISTINTOS MODELOS MATEMÁTICOS SEGÚN EL ORDEN DE LA ECUACIÓN.	67
TABLA 9. TIPOS DE RESIDUOS Y SU GENERACIÓN DE METANO PARA EL MODELO EPER FRANCÉS.	69
TABLA 10. VALORES DE K UTILIZADOS EN CADA CATEGORÍA DEL MODELO EPER FRANCÉS.	70
TABLA 11. MODELOS MATEMÁTICOS PARA DISTINTOS PAÍSES DESARROLLADOS POR USEPA.	73
TABLA 12. CATEGORÍAS DE RESIDUOS DEL MODELO AFVALZORG.	76
TABLA 13. CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS QUE ENTRARON AL RELLENO SANITARIO EN 2,018.	78
TABLA 14. VALORES DEL ÍNDICE DE GENERACIÓN DE METANO PARA EL SALVADOR.	79
TABLA 15. VALORES DE POTENCIAL DE GENERACIÓN DE METANO PARA EL SALVADOR.	79
TABLA 16. CRECIMIENTO DE LA CANTIDAD DE DESECHOS Y SELECCIÓN DE EFICIENCIA DE RECOLECCIÓN.	81
TABLA 17. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN PARA CLIMA SECO.	83
TABLA 18. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN PARA CLIMA MODERADO.	86
TABLA 19. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN PARA CLIMA HÚMEDO.	89
TABLA 20. POTENCIAL DE CALENTAMIENTO Y PERMANENCIA EN LA ATMÓSFERA DE LOS GEI.	91
TABLA 21. REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA CLIMA SECO.	92
TABLA 22. REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA CLIMA MODERADO.	95
TABLA 23. REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA CLIMA HÚMEDO.	98
TABLA 24. PROYECCIÓN DE LA PLANTA PARA UN PERIODO DE 30 AÑOS.	101
TABLA 25. CANTIDAD DE RSU DE LOS RELLENOS SANITARIOS DEL PAÍS.	102
TABLA 26. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA SAN FRANCISCO MENÉNDEZ.	103
TABLA 27. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA ATQUIZAYA.	104
TABLA 28. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA SANTA ANA.	106

TABLA 29. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA LA LIBERTAD.	107
TABLA 30. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO CAPSA.	108
TABLA 31. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO MIDES.	110
TABLA 32. PROYECCIÓN DE ENERGÍA PARA CORINTO.	111
TABLA 33. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO SOCINUS.	113
TABLA 34. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO DE SAN MIGUEL.	114
TABLA 35. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO ASINORLU.	116
TABLA 36. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO DE SUCHITOTO.	117
TABLA 37. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO AMUSNOR.....	119
TABLA 38. PROYECCIÓN DE ENERGÍA RELLENO SANITARIO AMUCHADES.....	120

Objetivos.

Objetivo general:

- ❖ Establecer los parámetros necesarios que se deben conocer para la generación de energía eléctrica a partir de biogás recolectado de un vertedero de basura.

Objetivos específicos:

- ❖ Describir las consideraciones que se requieren para el diseño de un relleno sanitario en el cual se aprovechará el biogás producido por los lixiviados de la basura para la posterior utilización en generación eléctrica.
- ❖ Promover la utilización de vertederos de basura como métodos alternativos de generación eléctrica.
- ❖ Calcular la capacidad de generación de energía eléctrica que tendrá el sistema en su tiempo de vida útil.

Introducción.

Los combustibles fósiles constituyen el recurso energético más común en la actualidad, sin embargo, su alta dependencia en el desarrollo económico y su uso desmedido se ha convertido en una problemática debido a su escasez y a la contaminación ambiental que produce su utilización.

Lo anterior, ha motivado la necesidad de optar por fuentes renovables que satisfagan de igual manera la necesidad energética y, a su vez, que garanticen un desarrollo sostenible.

Al problema de contaminación ambiental que ocasionan los combustibles fósiles, se suma la problemática de la producción descontrolada de residuos sólidos urbanos, que crece debido a la economía de consumo y a los desarrollos tecnológicos creando la necesidad de gestionarlos controladamente, además del aprovechamiento posterior a su producción.

En este sentido, mediante la alternativa de rellenos sanitarios controlados se mitiga el problema transformando la fracción orgánica de dichos residuos mediante digestión anaerobia, en un subproducto (biogás) el cual es energéticamente aprovechable, compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono.

Debido al poder calorífico del biogás es posible su aprovechamiento mediante combustión, dependiendo de su captación, quemándolo y transformándolo en energía eléctrica mediante motores de combustión interna, sustituyendo gradualmente a los combustibles tradicionales.

Además, la producción y utilización de biogás en un vertedero controlado tiene como objetivo secundario disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al mismo tiempo que se genera energía eléctrica.

Creando conciencia en la población sobre una gestión controlada de los residuos urbanos, se puede entonces pensar en el aprovechamiento energético del biogás como una fuente de recursos renovables.

1. Problemática de los recursos no renovables y solución a problemas energéticos.

1.1 Problemática Energética Mundial.

El mundo se encuentra en una difícil situación energética: por una parte, existe cada vez mayor demanda de energía y, por otra, las actuales fuentes tienen en su mayoría recursos limitados y su uso representa repercusiones ambientales indeseables. El crecimiento demográfico y económico en el mundo trae consigo que consumamos más energía, y las formas tradicionales en que la generamos, en su mayoría a través de los combustibles fósiles, nos da como resultado importantes efectos (globalmente negativos) sobre el bienestar humano.

Los recursos naturales de nuestro planeta se usan a un ritmo acelerado, y si no se toman medidas al respecto, las condiciones de vida de los que vengan después que nosotros serán mucho peor a las que se tienen hoy en día.

A medida que ha pasado el tiempo, el ser humano ha ido dependiendo cada vez más de los recursos energéticos. Para el hombre moderno, es impensable la vida sin iluminación, calefacción, refrigeración, transporte. Esta dependencia energética, se ha convertido en un exceso, específicamente de combustibles fósiles, y se sabe que éstos son recursos no renovables. La humanidad se enfrenta a una crisis energética mundial, y se debe comenzar a buscar soluciones para ponerlas en acción, antes que se agoten los combustibles fósiles y el tiempo, por supuesto.

Problema mundial.

Vivimos en una sociedad de consumo, que utiliza sus recursos para su mejor confort y cuanto más consume, "mejor". La visible mejora en la calidad de vida de los países industrializados, mayores consumistas, hace que los países en vías de desarrollo, quieran seguir su modelo. Es por ello que, la mayor parte de la estructura de oferta de energía primaria, está basada en petróleo y gas en casi el 90% a nivel mundial. El incremento de individuos (superpoblación) consigue acelerar la dependencia excesiva.

En términos energéticos están involucrados otros aspectos, como la economía y política de cada país del mundo. Por ejemplo: El precio del barril de petróleo aumenta día a día, gracias a la oferta (que es escasa), a la demanda (que va en aumento), a los conflictos bélicos, e incluso a los desastres climáticos (que frenan la producción). Pero el precio también es alterado por la cantidad de reservas estratégicas de un país, dato que es poco claro, ya que no existe un inventario real. La presión de la demanda de hidrocarburos, hace que las empresas y los países sigan buscando más reservas, aún en pozos que tienen la altura del monte Everest (9.75 km).

La producción mundial de petróleo crece, pero la demanda aumenta aún más que la cantidad que se puede producir y los precios no lograron extraer más petróleo, ni aumentar los descubrimientos. Expertos de la industria petrolera, estiman que las reservas actuales sólo servirán para cubrir las necesidades de los próximos cuarenta años.

Por otro lado, el uso de combustibles fósiles produce contaminación, un incremento en las emisiones de gases efecto invernadero y como resultado, un aumento del calentamiento global.

Trazando el camino hacia la transición energética.

La transición energética es un camino hacia la transformación del sector energético mundial de fósiles a cero carbón en la segunda mitad de este siglo. En el fondo está la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía para limitar el cambio climático.

La descarbonización del sector energético requiere una acción urgente a escala mundial, y mientras una transición energética global está en marcha, se necesitan más acciones para reducir las emisiones de carbono y mitigar los efectos del cambio climático. La energía renovable y las medidas de eficiencia energética pueden alcanzar el 90 por ciento de las reducciones de carbono requeridas.

La transición energética es el abandono del petróleo, el carbón, el gas como fuentes de energía y su sustitución por energías renovables. Esto no es una tarea fácil, debido a que estamos obligados a asegurar un abastecimiento energético asequible, de bajo impacto ambiental y confiable.

Las energías renovables más económicas son la eólica y la solar. Gracias al desarrollo industrial y tecnológico de los últimos 20 años, los costos reales de generación se han reducido en forma significativa. Ineludiblemente se necesita el aseguramiento energético que provea electricidad en los momentos en que no haya suficiente viento, ni sol. Por lo tanto, estas funciones serán asumidas por otras fuentes de energía renovables (hidráulica, biomasa, geotermia) y sistemas de almacenamiento de energía.

1.2 Energías renovables.

La energía es utilizada para satisfacer gran parte de las necesidades básicas de las personas en forma de calor, electricidad y en muchas formas más; por lo que la disponibilidad de los recursos energéticos actuales es uno de los factores más importantes en el desarrollo del hombre.

El uso irracional de la energía, encaminado a la satisfacción de una demanda en constante crecimiento, tiene ante sí dos graves problemas: el agotamiento de las fuentes de energía convencionales y la pérdida, cambio o deterioro de otros valores naturales como el medio ambiente, el clima o el paisaje.

Desde la perspectiva ambiental, la enorme incidencia del consumo de combustibles fósiles sobre los valores naturales y el clima, demostrada en numerosas ocasiones, nos lleva a una necesidad imperiosa e ineludible de trabajar por un nuevo modelo energético, respetuoso con el medio, y que garantice un desarrollo armónico y equitativo de la sociedad.

Por lo que, la expansión de las energías renovables se ha incrementado en los últimos años debido principalmente a los elevados precios de los combustibles fósiles, al aumento de la demanda energética, al apoyo público y a la disminución del coste de los equipos. Se ha observado que el despliegue ha sido mucho más intenso en la producción de electricidad, tanto por las características de este sector como por la mayor disponibilidad de tecnologías renovables eléctricas.

1.2.1 Tipos de energías renovables.

Existen una gran cantidad de energías renovables las cuales son:

Hidroeléctrica.

La energía hidroeléctrica es una fuente de energía renovable que genera electricidad a partir de la energía del agua cuando ésta desciende de nivel. Es una tecnología probada, madura, predecible y competitiva en términos del costo. La energía mecánica de las cascadas es un medio antiguo, utilizado para el desempeño de diversas actividades desde los tiempos de la Grecia antigua, hace más de 2,000 años.

En El Salvador la generación de energía hidroeléctrica representa el 32% de la energía que se produce en el país, teniendo una capacidad disponible de 530.6 MW.

Entre las principales ventajas que presenta este tipo de generación de energía están:

- ❖ No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita.
- ❖ Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua.
- ❖ A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo.
- ❖ Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- ❖ Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.
- ❖ La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos.

Aun teniendo un gran número de ventajas también presentan ciertas desventajas las cuales son:

- ❖ Los costos de capital por kilovatio instalado son con frecuencia muy altos.
- ❖ El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía.
- ❖ La construcción lleva, por lo común, largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas.
- ❖ La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año.

Solar.

Las tecnologías de la energía solar directa son de naturaleza diversa. Constituyen un conjunto de tecnologías que responde a los distintos usos de la energía que le confieren los seres humanos: la calefacción, la electricidad y los combustibles.

El concepto de energía solar hace referencia al conjunto de tecnologías de la energía renovable que explotan directamente la energía del Sol. Entre los tipos de tecnología que utiliza la energía solar están:

- ❖ **La energía solar térmica**, utilizada para la calefacción activa y pasiva de edificios, el calentamiento del agua en viviendas y comercios, el calentamiento de piscinas y la obtención de calor para los procesos industriales
- ❖ **La generación de electricidad fotovoltaica** por conversión directa de la luz solar mediante células fotovoltaicas
- ❖ **La generación de electricidad mediante la energía por concentración** para obtener, por medios ópticos, fluidos o materiales a alta temperatura que alimentan motores y generadores eléctricos

Actualmente en El Salvador, se está empezando a utilizar en muchos lugares la generación de electricidad por medio de paneles fotovoltaicos ya que, sus costos en instalación y materiales son bajos a comparación a los demás tipos de generación de energía, además de que el país presenta una gran cantidad de irradiación solar la mayor parte del año debido a su ubicación con respecto al ecuador.

La generación fotovoltaica representa un 4% de la energía generada teniendo una capacidad disponible de 60 MW, aunque esta va en aumento cada año debido a los múltiples proyectos que se están implementando

Algunas ventajas de la energía solar son:

- ❖ Es inagotable a escala humana y no contaminante.
- ❖ Los sistemas fotovoltaicos no requieren abastecimiento de combustible, evitando la emisión a la atmósfera de CO₂, son totalmente silenciosos, apenas requieren

mantenimiento y tienen una vida útil mucho más larga, los paneles solares tienen una duración bastante amplia.

- ❖ La electricidad se produce en el mismo lugar donde se consume, eliminando la necesidad de instalar tendidos eléctricos, que suponen un importante costo económico.
- ❖ Resultan fáciles de integrar y adaptar en las edificaciones rurales.

Pero algunos inconvenientes pueden ser:

- ❖ Exige disponer de sistemas costosos de captación.
- ❖ Está determinada por las condiciones atmosféricas de las variaciones diarias y estacionales.

Eólica.

La energía eólica viene utilizándose desde hace milenios para aplicaciones muy diversas. Sin embargo, la utilización de la energía eólica para generar electricidad a escala comercial solo empezó a ser viable en los años setenta. Mediante la energía eólica se podrían reducir considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tanto a corto como a largo plazo.

La implementación de la energía eólica en tierra firme avanza ya a buen ritmo en muchos países, sin que existan obstáculos técnicos insuperables que se opongan a una mayor penetración de esa forma de energía en los sistemas de suministro eléctrico. Además, aunque la velocidad promedio del viento varía considerablemente en función del lugar, en la mayoría de las regiones del mundo el potencial técnico de implementación de la energía eólica es elevado.

Algunas ventajas de la energía eólica son:

- ❖ **Es renovable y no se agota.** Proviene de una fuente natural como es el viento. Por tanto, tiene como una de sus principales características el ser inagotable.
- ❖ **Su transporte es ecológico.** Otro tipo de energías requieren de vehículos o grandes tuberías para ser transportadas. No es el caso de la energía eólica que se vierte en la red eléctrica de una forma responsable con el entorno.
- ❖ **Es muy barata.** Sus costes son prácticamente los parques eólicos y los procesos que estos requieren.
- ❖ **Es completamente segura.** No puede haber accidentes con este tipo de energía como sucede con la energía nuclear u otro tipo de energía. Además, no genera residuos tóxicos.
- ❖ **Es natural.** Esta no supone ninguna alteración en el entorno siendo completamente compatible con este.

Las desventajas que posee la energía eólica son las siguientes:

- ❖ **Falta de seguridad en la existencia de viento.** Este motivo impide que la energía eólica se use como única fuente de energía eléctrica. Sin embargo, esto podría solucionarse utilizando dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica.
- ❖ **La velocidad no puede exceder un límite.** Si la velocidad del viento es superior al máximo que puede soportar la turbina, causa daños en el eje y la producción se ve disminuida, por lo que se requieren sistemas de control para desconectar el aerogenerador o modificar las aspas.
- ❖ **Es preciso construir líneas de alta tensión.** Para distribuir la energía eléctrica desde los parques eólicos, es necesario construir líneas de alta tensión capaces de conducir el máximo de electricidad generada.
- ❖ **Implica un impacto medioambiental.** La instalación de parques eólicos causa daños y muertes de aves y murciélagos y supone también un impacto visual sobre los parajes naturales. Los nuevos diseños de aerogeneradores están cambiando esta tendencia.
- ❖ **Los parques eólicos ocupan grandes áreas.** Los aerogeneradores deben estar separados, aunque esta misma zona pueda ser aprovechada simultáneamente para otros fines.
- ❖ **Dificultad en la planificación de obtención de energía.** La aleatoriedad del viento plantea serios problemas, pese a que los últimos avances meteorológicos para la previsión del viento han mejorado mucho la situación.

Mareomotriz.

Esta fuente natural de energía se debe al movimiento de las olas en el mar, y está ligada a la energía cinética del viento; ya que al cubrir tres cuartas partes de la superficie del planeta los mares y océanos constituyen una gran fuente de energía.

Mediante la energía oceánica, podrían reducirse las emisiones de carbono a largo plazo, aunque es improbable que ésta aporte una contribución significativa antes de 2020, ya que se encuentra en una fase incipiente de desarrollo. El potencial teórico que contienen los océanos mundiales supera con creces las necesidades actuales de los seres humanos.

Los recursos oceánicos de la energía renovable provienen de seis fuentes distintas, todas ellas de origen distinto, y aptas para tecnologías de conversión diferentes. Entre ellas cabe mencionar las siguientes:

La energía del oleaje, obtenida por transferencia de la energía cinética del viento a la superficie del océano. Su potencia teórica total se cifra en 32,000 TWh/año, aunque el potencial técnico es probablemente bastante menor, y dependerá del grado de desarrollo alcanzado.

La amplitud de la marea (ascenso y descenso de las mareas), obtenida por efecto de las fuerzas gravitacionales del sistema Sol-Tierra-Luna. El potencial teórico mundial de la

energía de las mareas representa entre 1 y 3 TW, y está vinculado a masas de agua relativamente someras. Es probable que, en este caso, el potencial técnico sea bastante menor que el teórico.

Las corrientes de marea, resultantes del caudal de agua que ocasiona el llenado y vaciado de las regiones costeras que experimentan las mareas. A nivel regional, el potencial técnico actual de las mareas se ha estimado en 48 TWh/año para Europa, y en 30 TWh/año para China. Se han identificado enclaves comercialmente atractivos en la República de Corea, Canadá, Japón, Filipinas, Nueva Zelandia y América del Sur.

Las corrientes oceánicas, movidas por la circulación oceánica de origen eólico y termohalino. El sistema que mejor caracteriza las corrientes oceánicas es la Corriente del Golfo en América del Norte, donde la corriente de Florida presenta un potencial técnico de 25 GW de capacidad eléctrica. Otras regiones oceánicas con un régimen de circulación prometedor son las corrientes de Agulhas (Mozambique) frente a las costas de Sudáfrica, la corriente de Kuroshio frente a las costas del Asia oriental, y la corriente de Australia oriental.

La conversión de la energía térmica de los océanos (OTEC), obtenida a partir de las diferencias de temperatura que existen entre la energía solar almacenada como calor en las capas superiores del océano y en las más frías, generalmente a profundidades inferiores a 1,000 m. Aunque la densidad de la energía de la OTEC es relativamente baja, su potencial total es muy superior al de otras modalidades de energía oceánica. Según un estudio realizado en 2,007, podría generar en torno a 44,000 TWh/año de potencia en estado estacionario.

Los gradientes de salinidad (energía osmótica), resultantes de las diferencias de salinidad entre el agua dulce y el agua del océano en las desembocaduras fluviales. Se estima para este recurso un potencial teórico de 1.65 TWh/año.

Geotérmica.

Los recursos geotérmicos comprenden la energía térmica presente en el interior de la Tierra, almacenada en rocas y en vapor de agua o agua líquida atrapados en el subsuelo, y se utilizan para generar energía eléctrica en una planta de energía térmica, o para otras aplicaciones domésticas y agroindustriales a base de calor, así como para aplicaciones de cogeneración de calor y electricidad. El cambio climático no influye de manera apreciable en la eficacia de la energía geotérmica.

La energía geotérmica es un recurso renovable, ya que el calor extraído de un reservorio activo se repone constantemente gracias a la producción natural de calor, a la conducción y convección desde regiones circundantes más cálidas, y a la reinyección de los fluidos geotérmicos extraídos.

En El Salvador la generación de energía geotérmica representa el 20% de la energía que se produce en el país, teniendo una capacidad disponible de 175 MW.

Entre las principales ventajas de la generación de energía geotérmica están:

- ❖ **Coste.** Su precio es bajo y no supone riesgos.
- ❖ **Independencia.** Es una fuente que evitaría a muchos países la dependencia energética del exterior.
- ❖ **Residuos mínimos.** Los **residuos** que produce son **mínimos**, ocasionando menor impacto ambiental que los originados por el petróleo, carbón...
- ❖ **Opción funcional.** Es una energía que ya está siendo utilizada en distintos países, por lo que es totalmente funcional. Una alternativa a otras energías y que debería ser más estudiada.
- ❖ **Ruidos.** Su extracción no genera ruidos exteriores, ni contaminación acústica
- ❖ **Ilimitados.** Los recursos geotérmicos, a día de hoy, son casi inagotables para el ser humano.
- ❖ **Precio.** Su distribución no está sujeta a legislación internacional, por lo que se pueden aplicar precios a nivel nacional o local.
- ❖ **Instalaciones.** Las instalaciones de las plantas geotérmicas son más pequeñas que otras. Además, no necesita de represas ni de talar árboles para establecerse.

Entre las desventajas que presenta este tipo de generación están:

- ❖ **Peligro.** En algunos países, el enfriamiento repentino de las piedras calientes ha derivado en una fisuración y, por tanto, microsismos.
- ❖ **Más peligro.** Hay ocasiones en las que el ácido sulfhídrico se detecta por su fuerte olor, pero otras zonas en las que no se percibe y su inhalación puede ser letal.
- ❖ **Contaminación.** Uno de los mayores riesgos es que puede contaminar aguas cercanas con elementos como arsénico o amoníaco.
- ❖ **Paisaje.** La contaminación térmica que produce puede derivar en el deterioro del paisaje en la zona.
- ❖ **No transportable.** Al ser una energía primaria, no se puede transportar.
- ❖ **Localizada.** Es una energía que se encuentra en zonas muy concretas, lo que dificulta su explotación. De hecho, sólo una pequeña parte de los recursos geotérmicos está siendo aprovechada.

Biomasa.

Sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, era la fuente energética más importante para la humanidad y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la revolución industrial. Con la introducción de los combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente, llegando a caer prácticamente en desuso en el sector industrial.

No obstante, en los últimos años el panorama energético mundial ha variado notablemente. El elevado coste de los combustibles fósiles y los avances técnicos que han

posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa cada vez más eficientes, fiables y limpios, han causado que esta fuente de energía renovable se empiece a considerar por las industrias como una alternativa, total o parcial, a los combustibles fósiles.

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados para suministrar la demanda de energía, las clasificaciones más aceptadas son las siguientes:

Biomasa natural: es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa.

Biomasa residual seca: se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el serrín, etc.

Biomasa residual húmeda: son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

Cultivos energéticos: son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo (*cynara cardunculus*), el girasol cuando se destina a la producción de biocarburantes, el miscanto, etc.

Biocarburantes: aunque su origen se encuentra en la transformación de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites), de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o de los cultivos energéticos (colza, girasol, patata, etc.), por sus especiales características y usos finales, este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores.

1.3 Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

En Centroamérica el problema de los residuos sólidos urbanos ha llegado a magnitudes casi incontrolables, debido a la poca cultura y educación relacionada con la recolección y tratamiento de la basura en la mayoría de habitantes de la región; adquiriendo una dimensión de carácter de emergencia nacional en cada país.

En la mayoría de poblaciones, incluyendo todas las capitales Centroamericanas se depositan los residuos sólidos urbanos en vertederos no controlados y ubicados a cielo abierto o al aire libre, de los cuales existen vertederos autorizados y vertederos clandestinos.

Un fenómeno común es el de la alta producción o generación de desechos urbanos, lo cual es propio de las sociedades actuales, que se sitúa como un desafío a controlar por cada

gobierno, debido a que esta problemática recae en contaminación, nubes de humo negro, gases tóxicos como el metano, enfermedades y otras consecuencias que se resumen en contaminación ambiental.

La gestión de los residuos utiliza el mismo patrón el cual consiste en la colecta, deposición y tratamiento de los residuos sólidos urbanos y es prácticamente el mismo en la mayoría de países del Istmo centroamericano y que coincide con los mismos problemas de manejo de los residuos sólidos urbanos, los cuales son recolección, transporte, disposición, reciclaje y posible utilización futura, además de barrancos que hacen la función de vertederos abiertos, algunos reciben hasta 500 toneladas de desechos diarios o más, los cuales se reciclan artesanalmente por recolectores particulares y en la mayoría de los casos la basura no es tratada, apenas es cubierta con tierra, lo que permite que los lixiviados puedan filtrarse en los desagües del fondo de los mal llamados rellenos sanitarios y así contaminar los mantos acuíferos cercanos.

1.3.1 ¿Qué peligros representan los rellenos sanitarios a cielo abierto?

Los vertederos al aire libre presentan graves problemas medioambientales tanto a nivel mundial como local.

A nivel global, son la principal fuente, dentro del sector de los residuos, de generación de emisiones de gases de efecto invernadero por el contenido de materia orgánica que contienen. Esta materia orgánica genera gas metano, que es un gas cuyo efecto es 24 veces más potente sobre el clima que el CO₂.

Mientras que en el ámbito local, la acumulación de residuos en los vertederos poco a poco genera descargas de forma líquida que pueden percolar y contaminar los suelos y las aguas, con el consiguiente peligro para la salud de los seres humanos y los ecosistemas. Además, los residuos contienen distintos metales que afectan a las plantas, alterando su ciclo de vida, y aquellos que se arrojan a cursos de agua son los causantes de la contaminación marina.

Sumado a todo lo anterior, existe riesgo de combustión. Es habitual que en los vertederos que no están controlados se puedan generar incendios con el consiguiente impacto de los gases ya que los residuos generan metano el cual es un gas que además de contribuir al cambio climático es muy inflamable.

1.3.2 Problemática de los residuos sólidos urbanos en El Salvador.

En El Salvador, especialmente en la ciudad de San Salvador el problema de la basura es cada día más difícil de controlar. Diariamente se generan grandes cantidades de residuos que el servicio municipal no alcanza a recoger debido a que no dispone de suficientes camiones recolectores para dar una cobertura total a la ciudad. La frecuencia de recogida de la basura es muy baja, de una a tres veces por semana, por lo que se acumulan los desechos

y nunca se logran erradicar los basurales diseminados por doquier. Asimismo el servicio que prestan los barrenderos municipales es insuficiente debido a que hay muy poco personal asignado. Por otro lado, el salvadoreño no posee la cultura de la limpieza pues arroja la basura en cualquier lado. Se observa en las calles que la gente arroja basura desde los vehículos, y autobuses. Los peatones arrojan restos de alimentos, colillas, bolsas vacías, y cualquier cosa donde quiera. Lastimosamente la población no presta colaboración en cuanto a depositar la basura en los lugares adecuados.

La baja cobertura y frecuencia en la recolección de la basura origina botaderos o vertederos ilegales incontrolados ubicados en los más diversos lugares: predios baldíos, canchas, aceras, callejones, zonas verdes, y cualquier rincón.

Los contenedores instalados son tan pocos y no tienen la capacidad suficiente de almacenamiento. La basura rebalsa de ellos originando micro vertederos o promontorios de basura a su alrededor. Este panorama descrito se ha vuelto común en todas la colonias, barrios, y residenciales de San Salvador.

Existen malas condiciones en la disposición final de la basura. Los residuos sólidos urbanos muchas veces se recogen y disponen mezclados con los residuos hospitalarios peligrosos y los desechos industriales. Técnicamente hablando, la gestión de los desechos hospitalarios e industriales es especial y diferente a la gestión que se le debe dar a la basura doméstica común.

Los residuos sólidos que el servicio de aseo municipal no logra recoger, van a parar por lo general a ríos, quebradas, lagos, barrancos, predios baldíos, y áreas de entrada-salida de los pueblos y ciudades.

La mayoría de los sitios de disposición final o rellenos sanitarios son en realidad un gran foco de contaminación ambiental e insalubridad. Contaminan las fuentes de aguas superficiales (ríos, lagos, mar), las aguas subterráneas, el suelo, y la atmósfera. Los lixiviados que provienen de la basura y el humo proveniente de las quemas, son los causantes principales de tantos daños a la salud pública y al medio ambiente.

1.3.3 Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos en El Salvador.

La composición de los residuos sólidos en El Salvador es de aproximadamente 58% materia orgánica y 42% materia inorgánica, de los cuales la composición de la fracción inorgánica es: 2% aluminio, 2% vidrio, 11% plástico, 19% papel y 8% otros.

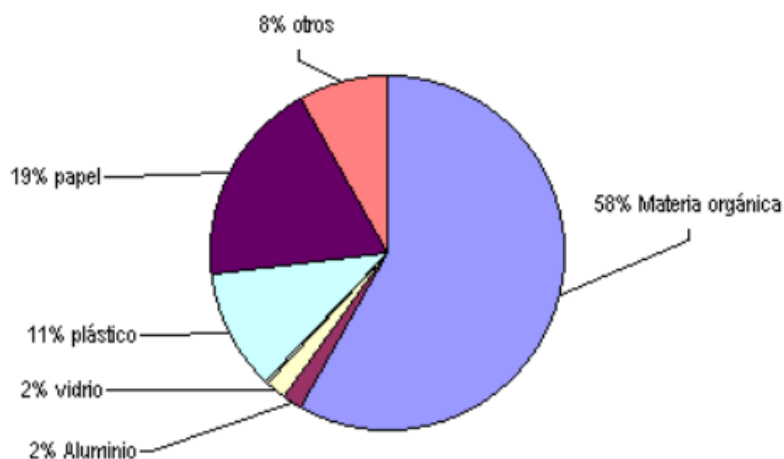


Figura 1. Composición de los residuos sólidos en El Salvador.

Muchas veces los residuos producidos por los habitantes urbanos comprenden basura, muebles y electrodomésticos viejos, embalajes, y desperdicios de la actividad comercial, restos del cuidado de los jardines, la limpieza de las calles, etc. El grupo más voluminoso es el de las basuras domésticas.

Los residuos sólidos urbanos suelen estar compuestos principalmente por:

- ❖ **Materia orgánica:** son los restos procedentes de la limpieza o la preparación de los alimentos junto con la comida que sobra.
- ❖ **Papel y cartón:** periódicos, revistas, publicidad, cajas y embalajes.
- ❖ **Plásticos:** botellas, frascos diversos, vajilla rota, etc.
- ❖ **Metales:** latas de aluminio, botes, envases, etc.

A continuación en la tabla 1 se presentan los compuestos totales de los residuos sólidos urbanos que se obtuvieron en el año 2014 para todo El Salvador, los cuales están dados en kilo toneladas.

Tipo de residuo.	Cantidad depositada de residuo (kton).
Alimentación.	329
Jardín.	236
Papel.	201
Madera.	7
Textil.	85
Pañales.	0
Caucho/piel.	16
Lodo.	18
Plástico/otros inertes.	351
Total.	1,243

Tabla 1. Compuestos de los RSU para el año 2014.

1.3.4 Tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

Gestionar adecuadamente los residuos sólidos urbanos es uno de los mayores problemas de muchos municipios en la actualidad en El Salvador. Por lo que algunas recomendaciones para ayudar a que la gestión de los desechos sea más sencilla y así poder aprovechar los recursos que suponen los residuos sólidos a la generación de energía eléctrica y al mismo que permitan ayudar a descontaminar el medio ambiente podrían ser:

- ❖ **Recogida selectiva:** la utilización de contenedores que recogen separadamente el papel, vidrio, plástico, metal, etc.
- ❖ **Recogida general:** utiliza la bolsa general de basura donde se deposita toda la basura mezclada. Luego es sometida a un proceso de separación de materiales manual y mecanizado.
- ❖ **Plantas de selección:** En los vertederos más avanzados antes de depositar la basura ésta pasa por una zona de selección en la que manualmente y con máquinas, se retira el material reciclable.
- ❖ **Reciclaje y recuperación de materiales:** Lo ideal sería recuperar y reutilizar la mayor parte de los RSU. Con el papel, telas, y cartón se hace nueva pasta de papel, lo que evita talar más árboles. Con el vidrio se puede fabricar nuevas botellas y envases sin necesidad de extraer más materias primas, y sobre todo, con mucho menor gasto de energía.
- ❖ **Compostaje:** la materia orgánica fermentada forma el “compost” que se puede usar para abonar suelos, alimentar ganado, construir carreteras, obtener combustibles, etc.
- ❖ **Vertido:** el procedimiento más usual, aunque no el mejor, de disponer de la basura, suele ser depositarla en vertederos o rellenos sanitarios. Aunque se usen buenos sistemas de reciclaje o la incineración, al final siempre quedan restos que deben ser llevados a un vertedero.

1.4 ¿Qué es el biogás?

El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). El producto resultante es una mezcla constituida por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). Este biogás alcanza un poder calorífico de alrededor de $5,000 \text{ kcal/m}^3$.

En la naturaleza es posible observar este proceso con facilidad. Se presenta cada vez que se reúnen condiciones establecidas de biomasa, humedad y ausencia de oxígeno. Un ejemplo de ello son los vertederos de residuos sólidos urbanos donde los residuos son compactados con poca presencia de oxígeno, produciéndose un biogás que es utilizado en muchos lugares como combustible que sustituye el gas natural o el gas licuado de petróleo.

1.5 Métodos de obtención de biogás.

Existen 2 procesos para la obtención de biogás los cuales son:

1.5.1 Digestión aerobia.

Proceso que se realiza a la materia orgánica mediante la utilización de bacterias y protozoos pero sin que se pueda utilizar el biogás generado en este proceso ya que su concentración de CH_4 es baja para la utilización de manera energética.

1.5.2 Digestión anaerobia.

Es un proceso biológico complejo a diferencia de la digestión aerobia. El proceso anaeróbico utiliza principalmente los residuos animales y vegetales que son convertidos en biogás, con la ayuda de bacterias que son sensibles en presencia de O_2 , en este proceso la energía disponible es aprovechada y transformada en metano (CH_4) en más del 90% y el 10% restante es consumido en el crecimiento bacteriano.

Descripción del proceso anaerobio de la biomasa.

La degradación anaerobia transcurre en varias fases que se pueden resumir de la siguiente manera:

- **Hidrólisis:** Un gran número de microorganismos anaerobios excretan enzimas hidrolíticas que fraccionan los enlaces de los polisacáridos que forman la biomasa, en unidades simples de azúcares, grasas y aminoácidos.
- **Acidogénesis:** Los compuestos son asimilados por algunos microorganismos y/o fermentados, produciendo una gran cantidad de ácidos orgánicos. Se producen también gases como CO_2 , H_2 y pequeñas cantidades de NH_3 , SH_2 , y también alcoholes en especial glicerol.
- **Acetogénesis:** Bacterias denominadas acetogénicas de lento crecimiento, metabolizan los alcoholes, el ácido láctico y los ácidos grasos volátiles, produciendo ácido acético e hidrógeno.
- **Metanogénesis:** El acetato, hidrógeno y CO_2 producido, es transformado por acción de las bacterias metanogénicas, que son un grupo primitivo y reducido de bacterias anaeróbicas, formando metano, CO_2 y agua.

En la fase de hidrólisis se produce una despolimerización de las macromoléculas que se transforman en moléculas más simples. A su vez, estas moléculas se convierten en ácidos grasos durante la fase de acidogénesis. En la etapa de hidrólisis, un ejemplo de ello, en las moléculas más frecuentes en la biomasa, son:

- Los lípidos pasan a ácidos grasos.

- Los polisacáridos a monosacáridos.
- Las proteínas a aminoácidos.
- Los ácidos nucleicos a purina y pirimidinas.

En la figura 2 se pueden observar las diferentes transformaciones de la materia orgánica al realizarse el proceso anaerobio, para formar el biogás que se utilizara para la generación eléctrica.

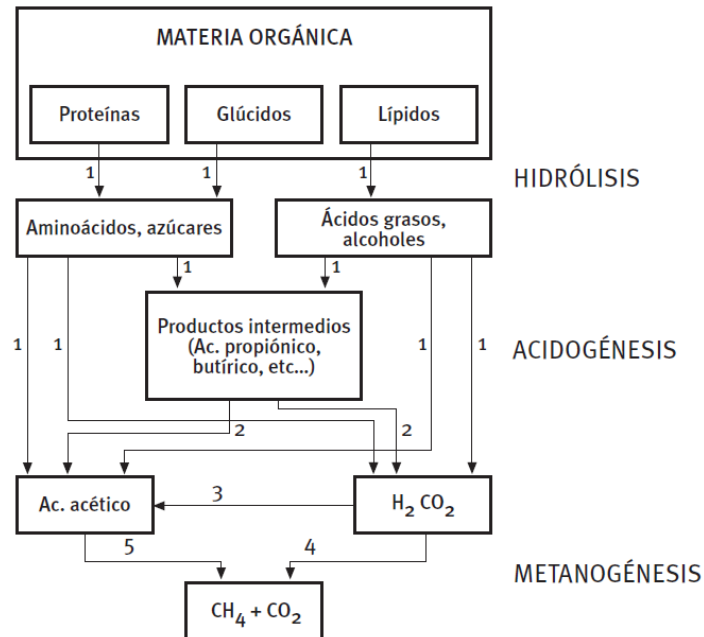


Figura 2. Procesos anaerobios de la biomasa.

1.6 Factores que condicionan la producción de biogás.

El biogás se genera como resultado de reacciones físicas, químicas y microbianas que ocurren dentro de los rellenos sanitarios, debido a la naturaleza orgánica de gran parte de los residuos, el proceso microbiano gobierna la producción de biogás. Estos procesos son sensibles al medio en que se desarrollan, por lo que existe una serie de condiciones naturales y artificiales que determinan la población microbiana y, en consecuencia, la producción de biogás. Es importante mencionar que el biogás se origina en condiciones anaeróbicas, por lo que cualquier circunstancia que cambie el proceso a una condición aeróbica, influirá en la creación de biogás.

Los factores que afectan la producción de biogás se resumen en la Figura 3.

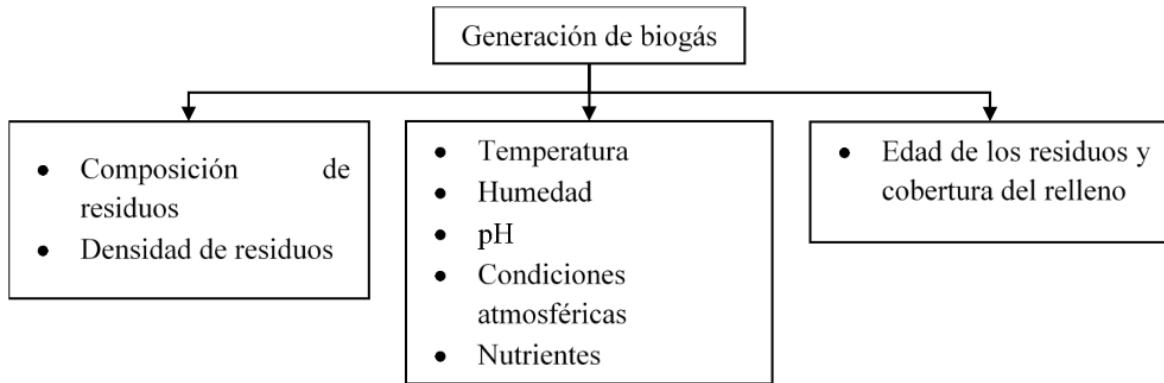


Figura 3. Factores que afectan la generación de biogás.

A continuación se describe el efecto de cada uno de los elementos:

Composición de residuos: Es el factor más importante, pues el máximo potencial de generación de biogás depende del porcentaje de residuos orgánicos sobre el total, además del tipo de desecho orgánico, pues estos son la fuente de producción de biogás.

Densidad de residuos y tamaño de las partículas: Esto afecta el transporte de nutrientes y humedad en el relleno, la presencia de partículas pequeñas favorece el transporte, lo que aumenta la tasa de formación de biogás.

Temperatura: La temperatura de un relleno sanitario es mayor que la ambiental, debido a que ocurren reacciones exotérmicas en su interior. De este modo, influencia el tipo de bacteria que es predominante y, en consecuencia, la tasa de generación de biogás. Se observa que a bajas temperaturas disminuye la tasa, de modo que los rellenos sanitarios poco profundos, al verse su temperatura afectada mucho más por variaciones estacionales, presentan cambios significativos en la tasa de producción de biogás. El rango óptimo para la existencia de bacterias anaeróbicas es de 30 °C a 41 °C. En rellenos sanitarios con temperaturas bajo los 10 °C hay una drástica caída en la actividad de dichas bacterias.

Humedad: Esta puede variar mucho en distintas zonas del relleno sanitario. Bajos índices de humedad limitan la descomposición de los residuos y, por lo tanto, restringen la producción de biogás. El contenido óptimo de humedad para la producción de biogás es de 50% a 60%. El contenido de metano del biogás aumenta también con la humedad, sin embargo, altos contenidos de esta crean problemas con el sistema de captación, inundando las chimeneas.

pH y nutrientes: La generación de metano en rellenos sanitarios es máxima cuando existen condiciones de pH neutro. El pH tiene un profundo efecto en la actividad biológica, así por ejemplo, un pH bajo 6.0 es considerado perjudicial para las bacterias metanogénicas. El pH óptimo durante la formación de metano es en el rango de 6.5 a 8.0. El ecosistema

anaeróbico necesita de una serie de nutrientes, entre los que destacan el nitrógeno y fósforo, siendo este último el que tiene mayor posibilidad de escasear.

Condiciones atmosféricas: Es importante considerar las condiciones atmosféricas, especialmente las precipitaciones. La topografía de la zona es clave, puesto que no son deseables pendientes pronunciadas por el efecto erosional que se produce junto con las lluvias. Las precipitaciones son la mayor fuente de humedad para un relleno sanitario, que además de contribuir a la producción de biogás, favorecen la “impermeabilización” del terreno impidiendo el ingreso de aire por grietas.

Cobertura: El recubrimiento diario tiene una serie de efectos en el relleno sanitario, ya que evita el contacto de los desechos con el oxígeno, permitiendo que se consigan condiciones anaeróbicas, además reduce la entrada de aguas lluvias. Que los residuos sean o no cubiertos diariamente determinará el tipo de reacción biológica que tendrá lugar en el relleno sanitario. Una producción óptima requiere condiciones anaeróbicas y, por lo tanto, recubrimiento diario. El espesor debe impedir que la temperatura de la basura se vea afectada por las condiciones meteorológicas y obstaculizar el ingreso del aire.

Edad de los residuos: Una vez que las condiciones anaeróbicas se establecen, la generación de biogás es significativa durante 10 a 20 años. Los rellenos sanitarios con varias décadas tienen menos probabilidad de producir grandes cantidades de biogás, pues la mayor parte de las descomposiciones biológicas ya han ocurrido. La producción de biogás no es constante a lo largo del tiempo.

1.7 Propiedades del biogás.

Los principales componentes del biogás, presente en rellenos sanitarios, son metano y dióxido de carbono. La existencia de metano, gas combustible, en concentraciones cercanas al 50%, le confiere un poder calorífico considerable al biogás.

Los límites de inflamabilidad del metano comprenden entre un 5% a un 15% de concentración en el aire, mientras que para el biogás sus valores normalmente abarcan de un 11% a un 21%. Algunas propiedades físico-químicas del biogás se pueden observar en la tabla 2. Estas son referidas a un biogás a una temperatura de 20 °C.

Propiedad.	Valor.
Densidad relativa (c/r al aire).	1,022
Densidad absoluta (kg/m ³).	1,202
Poder calorífico superior (kcal/m ³).	5,500
Poder calorífico inferior (kcal/m ³).	4,700

Tabla 2. Propiedades del biogás a 20 °C.

2. Tecnologías para la recolección y utilización de biogás.

2.1 Biodigestores.

Un biodigestor es un espacio cerrado herméticamente, donde crecen en anaerobiosis (sin oxígeno), microorganismos; protozoarios, hongos y bacterias, que degradan la materia orgánica disuelta en un medio acuoso; dando como resultado biogás; el cual es un componente energético empleado para la generación de electricidad, calefacción, etc. Además de obtener un subproducto formado por una suspensión acuosa (lodo), que puede ser utilizado como fertilizante orgánico o bioabono el cual recibe el nombre de biol y biosol.

Existen varios tipos de digestores los cuales se adaptan a las necesidades y variantes que se desee, tomando en cuenta el volumen y material empleado, estos digestores pueden ser: de superficie tipo campana, cilíndrica o abovedada, desde los cuales se extrae el gas producido mediante mangueras y tuberías, los mismos que pueden ser clasificados por su diseño, las de tipo tubular, cúpula fija y de campana flotante y de acuerdo al proceso de carga del residual de la planta se distinguen en plantas continuas, o plantas Batch.

2.1.1 Tipos de biodigestores más utilizados.

Existen varios tipos de biodigestores los cuales son utilizados para extraer el biogás de los residuos sólidos, los cuales se pueden listar a continuación.

Campana flotante.

Se compone de un digestor construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana, que puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua, dependiendo de la producción del biogás.

La campana debe tener una guía que permita el movimiento vertical, cuya altura dependerá del volumen de gas almacenado. Este tipo de biodigestor es conocido también como tipo Hindú, y puede ser utilizado cuando se necesita de un abastecimiento continuo de biogás y fertilizante, caracterizándose por funcionar como depósito del gas producido, es decir, es el único tipo de biodigestores que tienen un depósito de biogás interior.

- ❖ **Ventajas:** La mampostería tiene una larga vida útil, en caso de usar estructuras de concreto, deberá protegerse este material a la corrosión producida por la materia orgánica y el gas.
La presión de gas es constante; y es de fácil manejo.
- ❖ **Desventajas:** El costo de construcción de la campana puede resultar elevado, y si la campana es metálica puede corroerse, haciendo necesarios tratamientos especiales para su protección que incrementan la inversión inicial, operación y mantenimiento posterior.

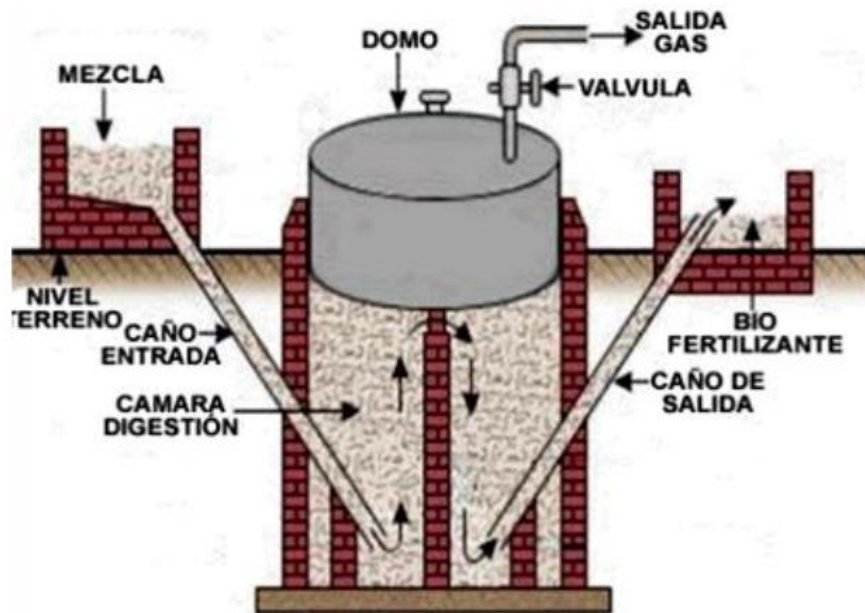


Figura 4. Esquema de un biodigestor de campana flotante.

Cúpula fija.

Se compone de un digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás. Durante la producción de biogás, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la masa líquida vuelve hacia el biodigestor.

A través de constantes oscilaciones de la masa de fermentación en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante. Es conocido también como biodigestor Chino, y debido a que el gas debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna, se utilizan en instalaciones donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte.

- ❖ **Ventajas:** Tiene una larga vida útil, de aproximadamente 20 años; no posee partes móviles y/o metálicas que se puedan oxidar. Su construcción es subterránea, lo cual lo protege contra bajas temperaturas. Presenta costos de construcción más bajos que el biodigestor de campana flotante tipo hindú.
- ❖ **Desventajas:** La presión de gas no es constante; y puede ser muy alta, por ello la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada para evitar porosidades, grietas y escapes de gas.

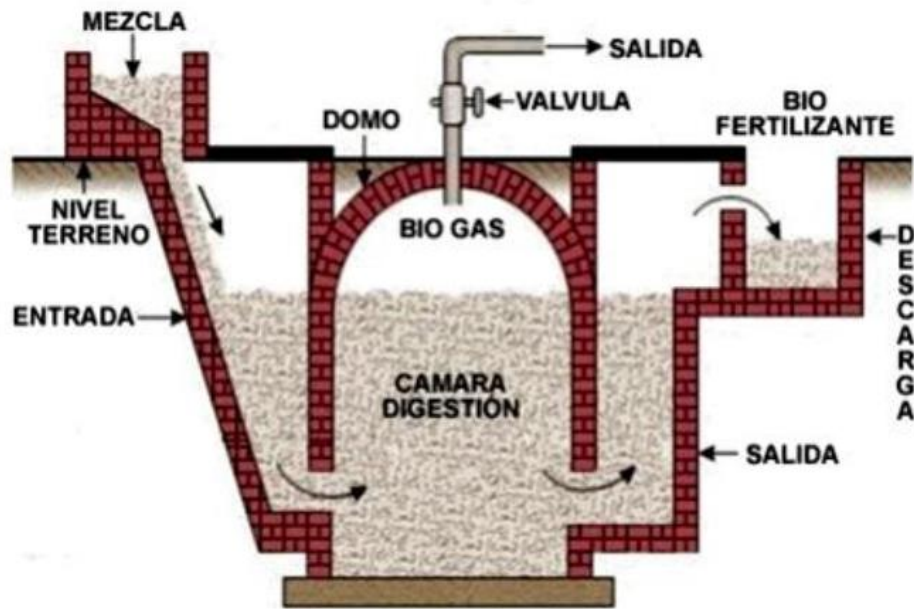


Figura 5. Esquema de un biodigestor de cúpula fija.

Tubular o de flujo de pistón.

La planta de balón se compone de un tubo en material plástico (polietileno, PVC, plastilina, entre otros o una combinación de éstos) completamente sellado, la entrada y la salida están sujetas directamente a las paredes de la planta.

La parte inferior de la planta, en un 75% del volumen constituye la masa de fermentación, y en la parte superior, el 25% restante, se almacena el biogás. Este tipo de planta se recomienda para aquellos sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes.

- ❖ **Ventajas:** Sus materiales de construcción son de fácil transporte e instalación. Por su construcción horizontal, resulta apropiado para sitios con nivel freático alto. Es el tipo de biodigestor de menor costo de construcción y operación.
- ❖ **Desventajas:** Las presiones alcanzadas por el gas son relativamente bajas. Presenta una vida útil corta, entre 3 y 8 años, dependiendo del material que se seleccione. Debe protegerse contra los rayos solares ya que el material plástico puede sufrir daños; siendo conveniente protegerlo o cerrar el área adyacente al biodigestor.

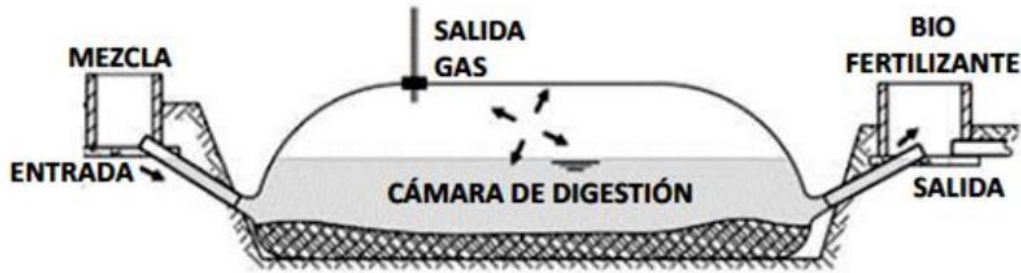


Figura 6. Esquema de un biodigestor tubular.

2.1.2 Parámetros de diseño de un biodigestor.

Los principales parámetros que deben considerarse en el establecimiento y diseño de un digestor son los siguientes:

- ❖ **Características del efluente:** concentración de sólidos en porcentaje, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, contenido total de nitrógeno, pH, conductividad, relación carbono/nitrógeno, alcalinidad, inhibidores (metales pesados o antibióticos).
- ❖ **Parámetros de diseño:** sistema de operación, sistema de carga, sistema de descarga, sistema de agitación, sistema de calefacción, aislamiento térmico, forma, volumen necesario según la carga diaria y el tiempo de retención.
- ❖ **Instalaciones complementarias:** depósito de almacenamiento previo, unidad de calefacción, gasómetro, unidad depuradora del biogás, unidad tratamiento de fangos y efluentes, unidad de compresión del biogás.
- ❖ **Parámetros de la digestión:** características del efluente, temperatura de digestión, pH, alcalinidad, potencial redox (debe ser lo más reductor posible, para eliminar las sustancias oxidantes), factores nutricionales, nitrógeno, relación C/N (debe estar entre 25 y 35) y contenido de azufre.
- ❖ Es necesario un especial cuidado con la cantidad de ácido sulfhídrico del biogás, ya que es un agente altamente corrosivo pudiendo dañar irreversiblemente los equipos utilizados.

2.2 Turbinas de gas.

Las turbinas de gas son turbomáquinas que, de un modo general, pertenecen al grupo de máquinas térmicas generadoras y cuya franja de operación va desde pequeñas potencias (30 KW para las microturbinas) hasta 500 MW para los últimos desarrollos. De esta forma, compiten tanto con los motores alternativos (ciclos termodinámicos OTTO y DIESEL) como con la instalaciones de vapor de pequeña y media potencia.

Sus principales ventajas son su pequeño peso y volumen en relación a su potencia y la flexibilidad de su operación. Esto hace que sean máquinas cuyo uso para determinadas aplicaciones, especialmente las referidas a la generación de electricidad y a la propulsión de buques y aviones, esté en claro aumento.

Al ser máquinas rotativas presentan una clara ventaja frente a los motores alternativos, por la ausencia de movimientos alternativos y de rozamientos entre superficies sólidas (como las que se dan entre pistón y camisa), lo que se traduce en menores problemas de equilibrado y menores consumos de aceite lubricante, que además no están en contacto con superficies calientes ni con productos de combustión.

Comparadas con las turbinas de vapor, las turbinas de gas apenas tienen necesidades de refrigeración, lo que facilita enormemente su instalación. Además, su baja inercia térmica les permite alcanzar su plena carga en tiempos muy bajos, lo que las hace ideales para determinadas aplicaciones en las que se requiere variaciones de carga rápidas (regulación de red o abastecimiento de picos de demanda).

Esta simplicidad comparada con turbinas de vapor y con motores alternativos otorga a las turbinas de gas dos ventajas adicionales: un mantenimiento sencillo comparado con otras máquinas térmicas y una elevada fiabilidad. En efecto, la reducción de las necesidades de lubricación y refrigeración, la continuidad del proceso de combustión y la ausencia de movimientos alternativos hace que la probabilidad de fallo disminuya. Una instalación de generación eléctrica basada en una turbina de gas puede alcanzar con facilidad valores de disponibilidad superiores al 95% y valores de fiabilidad cercanos al 99% si la instalación está bien diseñada, bien construida, bien operada y con un adecuado nivel de mantenimiento.

No obstante, también tienen algunos inconvenientes importantes, entre los que hay que destacar dos: la alta velocidad de rotación y su bajo rendimiento (30-35%) comparado con los motores alternativos diésel (algunos desarrollos ya alcanzan el 50% de rendimiento) o con las turbinas de vapor (valores del 40% son muy normales).

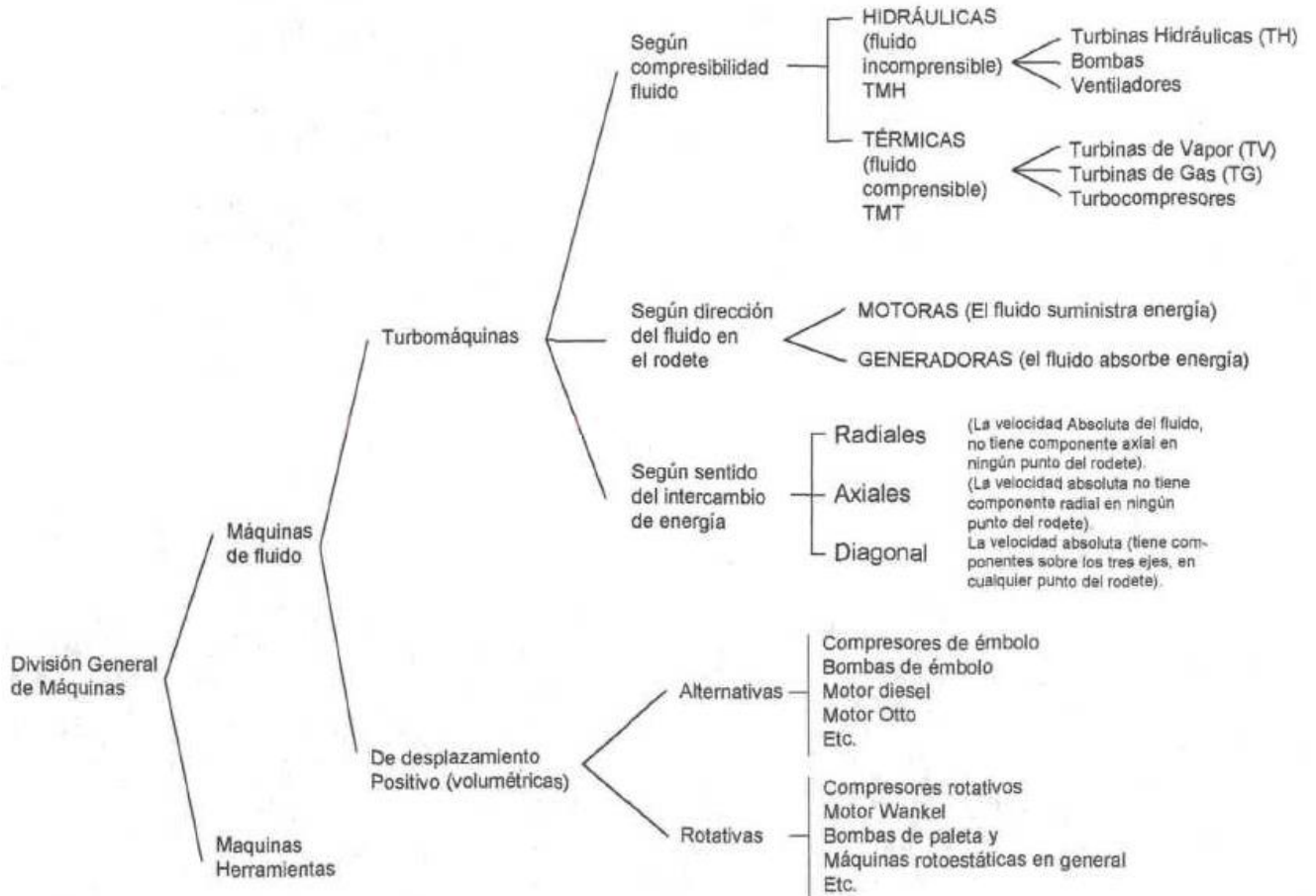


Figura 7. Clasificación de las turbinas de gas en el conjunto de máquinas.

2.2.1 Principio de funcionamiento.

Una turbina de gas es un motor térmico rotativo de combustión interna, donde a partir de la energía aportada por un combustible se produce energía mecánica y se genera una importante cantidad de calor en forma de gases calientes y con un alto porcentaje de oxígeno como se puede observar en la figura 8.

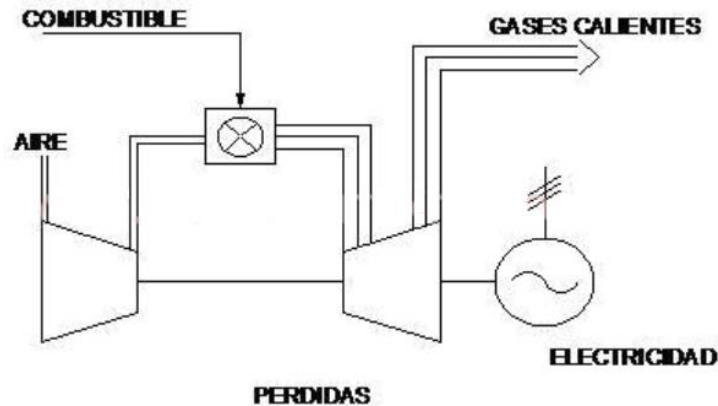


Figura 8. Flujos en una turbina de gas.

El ciclo térmico que representa esta máquina es el ciclo Brayton. La máquina sigue un ciclo abierto, puesto que se renueva continuamente el fluido que pasa a través de ella. El aire es aspirado de la atmósfera y comprimido para después pasar a la cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible y se produce la ignición. Los gases calientes, producto de la combustión, fluyen a través de la turbina. Allí se expanden y mueven el eje, que acciona el compresor de la turbina y el alternador.

2.2.2 Ciclo Brayton.

Las turbomáquinas térmicas se emplean como elementos de intercambio de trabajo con el fluido de trabajo en los ciclos termodinámicos, de manera adiabática y casi reversible (rendimientos isentrópicos próximos al 80%). Así, en las plantas de producción de potencia con vapor, basadas en el ciclo ideal Rankine, se usa una turbina de vapor donde se produce la expansión del fluido; y en las plantas de producción de potencia con turbina de gas, basadas en el ciclo Brayton, el incremento de presión del fluido se realiza mediante un compresor y el proceso de expansión mediante una turbina de gas.

El motor turbina de gas tiene como base termodinámica el ciclo Brayton, también conocido como ciclo Froude o ciclo Joule. Este ciclo ideal, como se muestra en la Figura 9, consiste en cuatro etapas por las que pasa un fluido compresible: una primera etapa de compresión adiabática, seguida de un calentamiento idealmente isobárico y luego una etapa de expansión adiabática; finalmente, el aire con una temperatura menor que a la entrada de la turbina pero mayor que la temperatura ambiente, es enfriado hasta la temperatura de entrada al proceso de compresión (idealmente a presión constante).

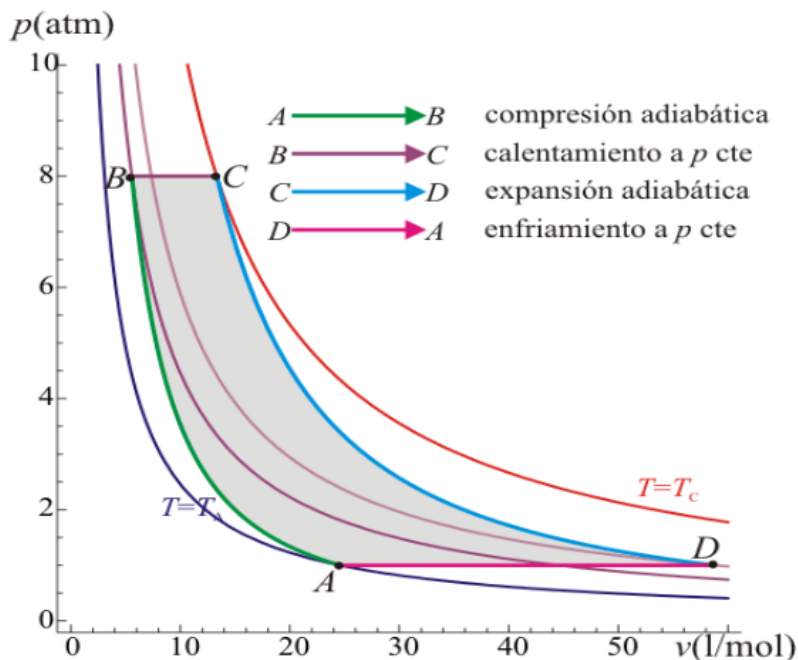


Figura 9. Etapas del ciclo Brayton.

En la práctica, dado que el motor es en la mayoría de los casos de combustión interna, este último proceso se sustituye por una renovación del fluido de trabajo. Esto es, se expulsan al ambiente los gases de escape de la turbina y se admite aire atmosférico al compresor. En la Figura 10 se representa la diferencia entre el ciclo abierto y el ciclo cerrado., siendo este último aquel en el que los gases de escape de la turbina son enfriados hasta las condiciones de entrada al compresor (caso menos habitual).

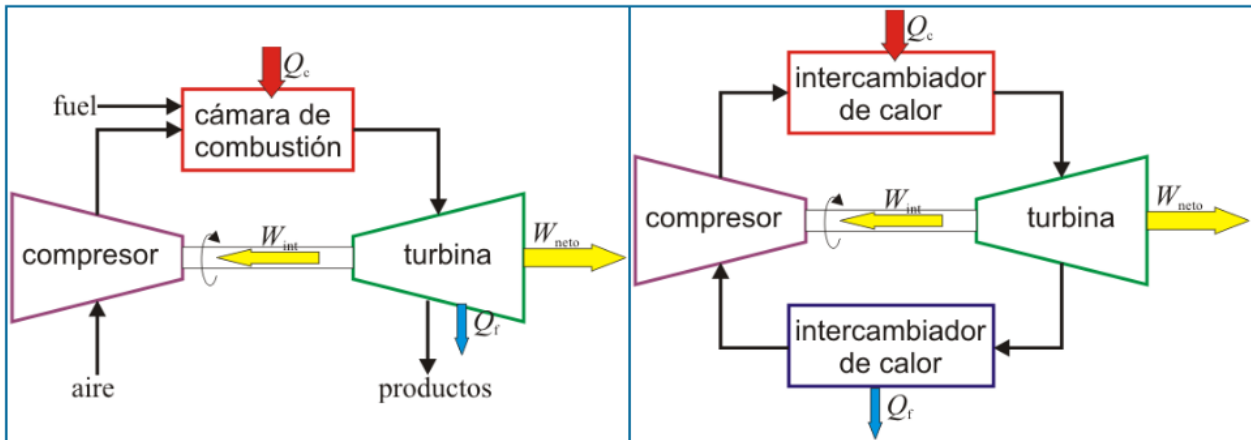


Figura 10. Motor de turbina de gas en ciclo abierto y cerrado.

Como se ha indicado, las turbinas de gas reales suelen operar bajo el ciclo abierto ya que se debe alimentar aire nuevo al compresor continuamente para que la combustión en la cámara de combustión sea posible. El ciclo cerrado se refiere a la situación ideal en la que los gases de escape de la turbina ceden toda la energía térmica que llevan al fluido de trabajo mediante un intercambiador hasta que éstos alcancen de nuevo la temperatura ambiente.

Una de las características más atractivas de este tipo de motor es la elevada potencia específica que tiene; con lo cual es capaz de producir gran cantidad de potencia a pesar de su reducido tamaño, por lo que su principal mercado está en el sector aeronáutico, con un diseño de motores basado en el ciclo simple no regenerativo.

2.2.3 Ciclo simple de una turbina de gas: regenerativo y no regenerativo.

Para alcanzar elevados rendimientos en una turbina de gas, se requieren relaciones de compresión relativamente alta, sólo alcanzable con más de una etapa de compresor. A pesar de que los turbocompresores centrífugos tienen mayor relación de compresión por etapa que los axiales, una única etapa no resulta suficiente para alcanzar la presión deseada. Esto representa un problema de diseño, ya que uno de los grandes problemas de los turbocompresores centrífugos de pequeñas potencias consiste en la dificultad de poner varias etapas de compresión en serie debido a las pequeñas secciones de paso que se requerirían en las etapas posteriores a la primera y que incrementarían de manera muy notable las pérdidas de energía.

Para aumentar el rendimiento a baja relación de compresión, el ciclo simple puede contener un intercambiador de calor para calentar la corriente que sale del compresor y entra en la cámara de combustión aprovechando la energía térmica contenida en los gases de escape de la turbina. Si el motor incorpora este tipo de dispositivos, se habla de ciclo regenerativo; si no lo incorpora, se refiere a un ciclo simple no regenerativo. Con el regenerador, se reduce el consumo de combustible en la cámara de combustión, ya que el fluido ya comprimido se introduce al combustor a mayor temperatura gracias a la energía cedida por los gases de escape. Por tanto, a pesar de perder potencia específica, pues el volumen del regenerador es considerable en comparación con el resto del motor, se consigue un aumento de rendimiento que puede ser crítico en la viabilidad de un proyecto de este tipo. En los motores terrestres, donde las limitaciones de espacio no resultan tan determinantes, suele ser interesante usar el ciclo simple regenerativo, representado en la Figura 11, donde se recupera parte de la energía que llevan los gases de escape. La cantidad de energía recuperada depende del tamaño, tipo de intercambiador, sentido de los flujos y la efectividad del intercambiador, entre otros factores termodinámicos como la relación de compresión del motor.

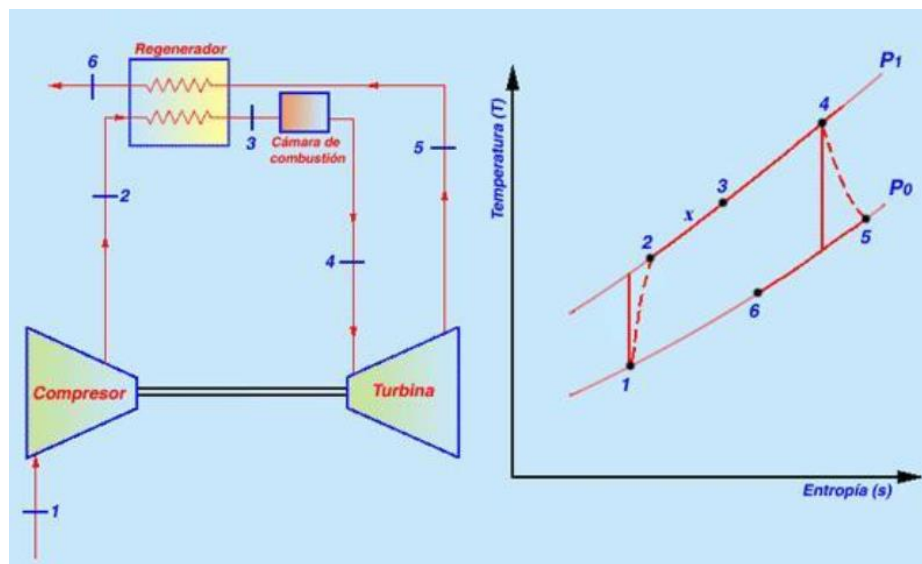


Figura 11. Ciclo ideal simple regenerativo.

2.2.4 Otros ciclos útiles.

Existen otros ciclos termodinámicos que utilizan gases como fuente principal de combustible los cuales son:

Ciclo Rankine.

El ciclo Rankine es un ciclo que opera con vapor, y es el que se utiliza en las centrales termoeléctricas. Consiste en calentar agua en una caldera hasta evaporarla y elevar la presión del vapor. Éste será llevado a una turbina donde produce energía cinética a costa de perder presión. Su camino continúa al seguir hacia un condensador donde lo que queda

de vapor pasa a estado líquido para poder entrar a una bomba que le subirá la presión para nuevamente poder introducirlo a la caldera, en la figura 12 se muestra un diagrama del funcionamiento del ciclo de Rankine.

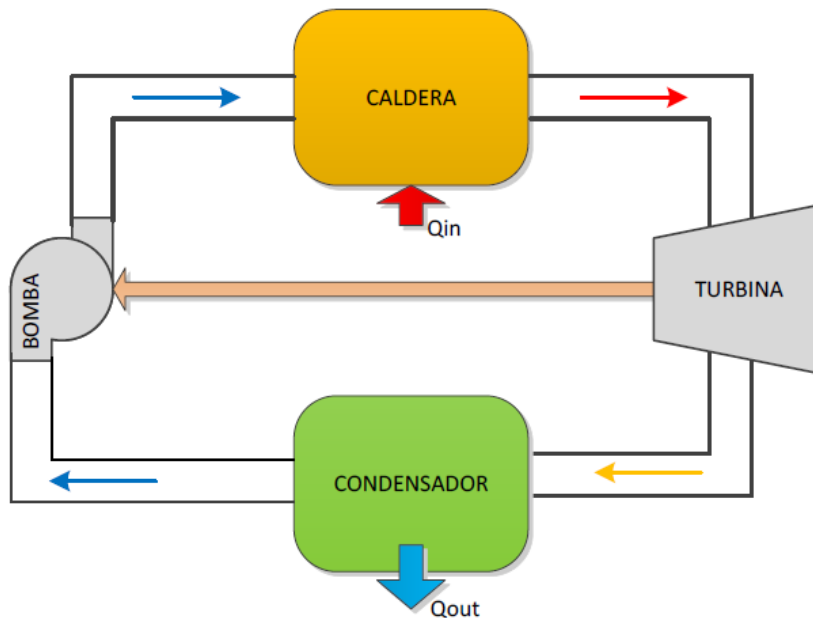


Figura 12. Diagrama de la máquina de vapor.

El rendimiento ideal de este ciclo tiene el mismo valor que el ciclo de Carnot:

$$\eta_{\text{TÉRMINICO}} = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

Ciclo combinado.

Un uso frecuente de las turbinas de gas son los ciclos combinados, donde los gases de escape de la turbina de gas se utilizan como fuente de energía para generar vapor y producir potencia con una turbina de vapor o con otro fluido de trabajo similar (fluido orgánico), como se muestra en la Figura 13. Este tipo de ciclos acopla un ciclo de Brayton, que trabaja con los gases de combustión, con un ciclo de Rankine, que trabaja con agua y vapor de agua.

En las microturbinas de gas, que suelen incluir un regenerador para alcanzar una eficiencia aceptable, la energía de los gases de escape a la salida del intercambiador no es suficiente para implementar un ciclo Rankine tras el ciclo Brayton. Una buena forma de aprovechar la energía a la salida de la microturbina es mediante ciclos orgánicos. Esto es, utiliza la misma tecnología que el ciclo Rankine pero, en lugar de vapor, utiliza un compuesto orgánico, como el butano, metano, refrigerante R123, etc. Con este tipo de esquemas se consigue aprovechar al máximo la energía aportada al ciclo.

Aunque tiene el inconveniente de la gran inversión inicial y los altos gastos en mantenimiento que conlleva la planta. Esta tecnología es muy versátil, y ofrece la mayoría de demandas que cualquier industria pueda tener, como puede ser: electricidad para el consumo, generación de electricidad a distintas frecuencias, fuente de calor a unos 400 °C, fuente de frío, etc. Además, su puesta en marcha es rápida comparada con las grandes plantas de producción de potencia, por lo que en casos de emergencia, necesidades inminentes de electricidad, es una opción muy ventajosa.

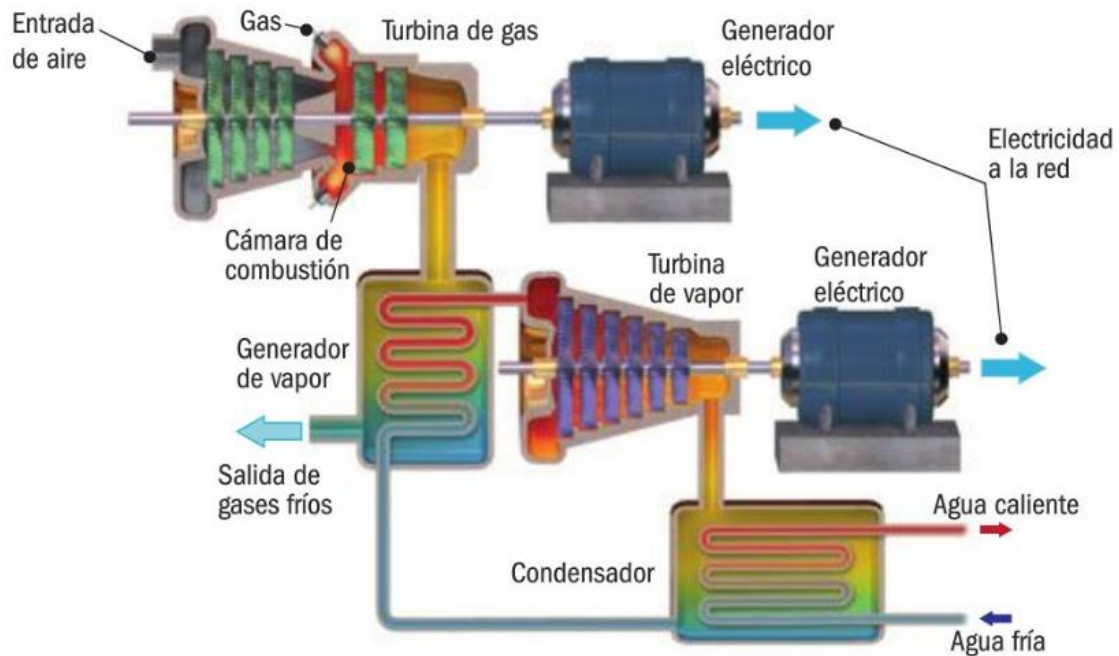


Figura 13. Esquema de una central térmica de ciclo combinado.

Ciclo Otto.

El ciclo Otto es característico de los motores de combustión interna a gasolina, que encienden por la ignición de un combustible, provocada por una chispa eléctrica; se trata de un ciclo termodinámico en donde, teóricamente, el calor se aporta a un volumen constante.

El ciclo Otto puede estar presente en motores de dos tiempos y en motores de cuatro tiempos, y este principio se basa en que, para su funcionamiento, aspira una mezcla precisa de aire/combustible (generalmente gasolina). El espacio es un sistema de pistón/cilindro, y la precisión la marcan válvulas de admisión y escape.

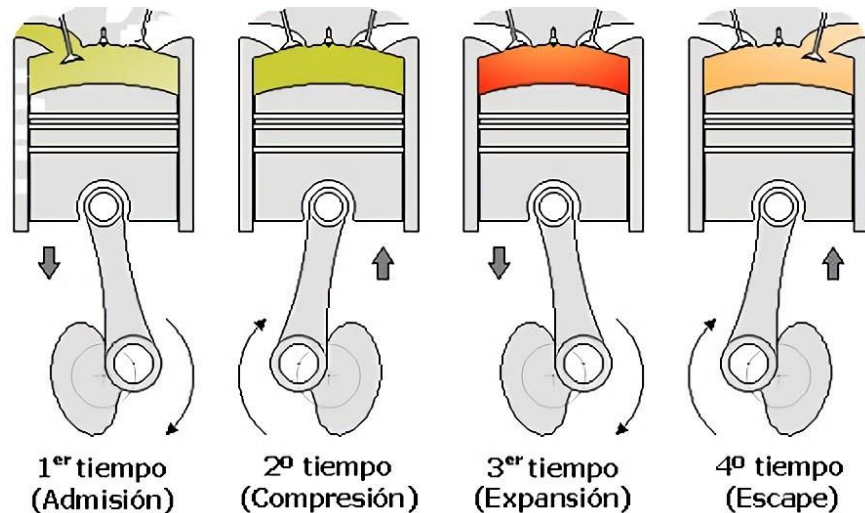


Figura 14. Motor de 4 tiempos el cual utiliza el ciclo de Otto.

2.3 Análisis de Tecnología de Construcción de rellenos sanitarios.

Uno de los aspectos más importante en la gestión de los residuos sólidos urbanos consiste en conocer los impactos ambientales de las diferentes prácticas de gestión existentes, ya que la generación de residuos producida en el país durante los últimos años supone que las actividades de producción y consumo están incrementando las cantidades de materiales que cada año se devuelven al medio ambiente de una forma degradada, amenazando potencialmente la integridad de los recursos renovables y no renovables.

En los vertederos sin control, la lixiviación de los residuos puede contaminar el suelo y el agua subterránea con sustancias tales como metales pesados, compuestos nitrogenados, compuestos clorados u otros compuestos orgánicos como hidrocarburos. Además, los lixiviados de residuos orgánicos pueden tener altas concentraciones en amonio que pueden causar una grave contaminación de las fuentes de agua potable y la contaminación de las aguas superficiales en las áreas circundantes.

Por lo dicho anteriormente es recomendable el uso de rellenos sanitarios, los cuales son instalaciones para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, que idealmente no causan molestias ni peligro para la salud y la seguridad pública; tampoco perjudican al medio ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo, este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en la menor superficie posible, reduciendo su volumen por compactación al mínimo practicable, cubriéndola con capas de tierra diariamente. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Un relleno sanitario, en la práctica, es un reactor bioquímico en el que sus principales entradas son residuos y agua, mientras que sus principales salidas son líquidos percolados (lixiviados) y biogás. Los rellenos sanitarios han sido el método más económico y ambientalmente aceptable para la evacuación de desechos sólidos. La gestión integral de

estos incluye el manejo apropiado de las emisiones atmosféricas y líquidas, pues conllevan riesgos para la salud y el medio ambiente.

2.3.1 Tipos de rellenos sanitarios.

Existen tres métodos de rellenos sanitarios:

El método manual: para poblaciones que generan menos de 15 Ton/día de residuos sólidos y no utilizan maquinaria de ningún tipo únicamente herramientas.

El Método semi mecanizado: para poblaciones que generan hasta 40 Ton/días y utilizan maquinaria y herramientas adaptadas para el trabajo de relleno sanitario.

El método Mecanizado: para poblaciones que generan más de 40 Ton/día de residuos sólidos y utilizan maquinaria especializada para el manejo de la disposición final y métodos constructivos.

Por practicidad se denomina relleno manual para poblaciones con generaciones menores a 20 Ton/día y Relleno Mecanizado para poblaciones con generaciones mayores a las 20 Ton/día.

Relleno sanitario manual.

El relleno sanitario manual es una tecnología que se aplica cuando la mano de obra está disponible más fácilmente que la maquinaria que haría el mismo trabajo. Los obreros del relleno sanitario manual realizan todas actividades a mano: descarga, colocación, compactación y cubierta de los desechos, así como el mantenimiento de cunetas, construcción de chimeneas y drenajes de lixiviados, excavación de nuevos módulos etc.

La tecnología del relleno manual tiene sus limitantes, ya que la compactación del material es menos eficiente, y por consecuencia, la estabilidad del cuerpo de basura no permite alturas elevadas. Esta situación resulta en la necesidad de un mayor espacio con el consecuente aumento en la producción de aguas lixiviadas. No obstante estas desventajas, suele ser la solución más conveniente para municipios y comunidades pequeñas, municipios ubicados en sitios aislados y municipios con escasos recursos económicos.



Figura 15. Relleno sanitario manual.

Relleno sanitario mecanizado.

Los rellenos sanitarios con compactación mecanizada son la tecnología apropiada para municipios medianos y grandes que producen una cantidad diaria de basura que no sería factible manejar completamente a mano. Estos municipios disponen generalmente de fondos más adecuados y también de personal técnico capacitado.

En el relleno sanitario mecanizado trabajan generalmente maquinaria que realiza los trabajos de colocación, compactación y cubierta de los desechos; y las excavaciones y el transporte necesario para suministrar material de cobertura como se puede observar en la figura 16.

Los trabajos de mantenimiento se pueden hacer manualmente o con apoyo de maquinaria, dependiendo de la disponibilidad y necesidad de estas máquinas (por ejemplo, excavación de cunetas manualmente o con retroexcavadora).



Figura 16. Procesos de un relleno sanitario mecanizado.

2.3.2 Métodos de construcción de rellenos sanitarios.

Para definir el método constructivo de un relleno sanitario sea este manual o mecanizado existen condiciones básicas que resultan del sitio de emplazamiento seleccionado, considerando lo siguiente:

- ❖ Condiciones topográficas.
- ❖ Características del suelo.
- ❖ Nivel Freático.
- ❖ Disponibilidad de material de cobertura.

Además, diseño básico contempla la delimitación del área total del sitio y del terreno. La forma en que debe ser repletado determina el método de construcción del relleno sanitario, que condiciona a su vez el origen de la tierra de cobertura y la disposición de las obras de infraestructura.

Es clave en el estudio de instalaciones complementarias para un relleno sanitario así como un sistema de extracción de biogás, las memorias de cálculo que estiman la vida útil de este y su capacidad de albergar residuos. El método constructivo utilizado en un relleno sanitario, influye en las características geométricas finales de este y, en consecuencia, en las posibles configuraciones de redes de tuberías de captación.

De acuerdo a las cualidades del lugar considerado para el emplazamiento del proyecto, existen los métodos constructivos de trinchera o de área. Los cuales se describen a continuación:

Método de zanjas o trincheras.

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 drenajes 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.

Los residuos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos, el material de las excavaciones sirve como material de cobertura y para construir los terraplenes de circulación interna del relleno.

Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

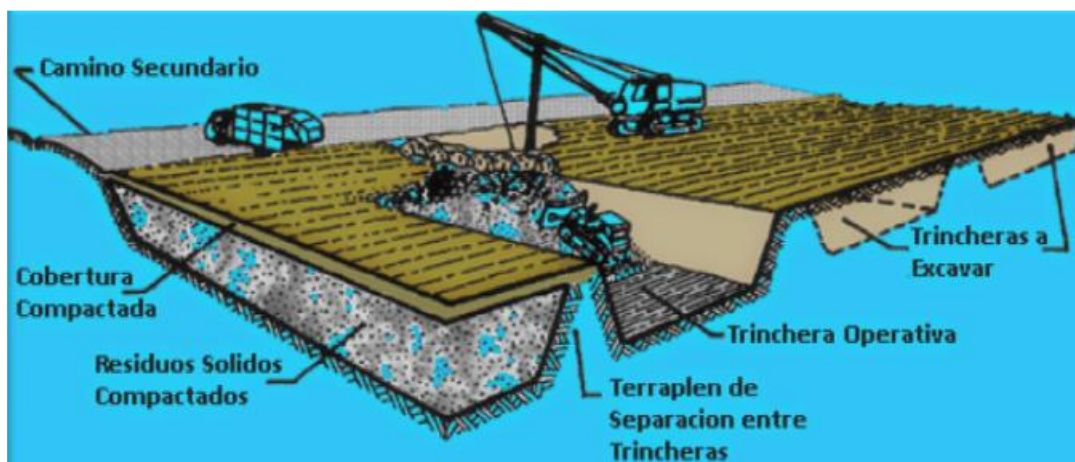


Figura 17. Método de trinchera aplicado a un relleno sanitario mecanizado.

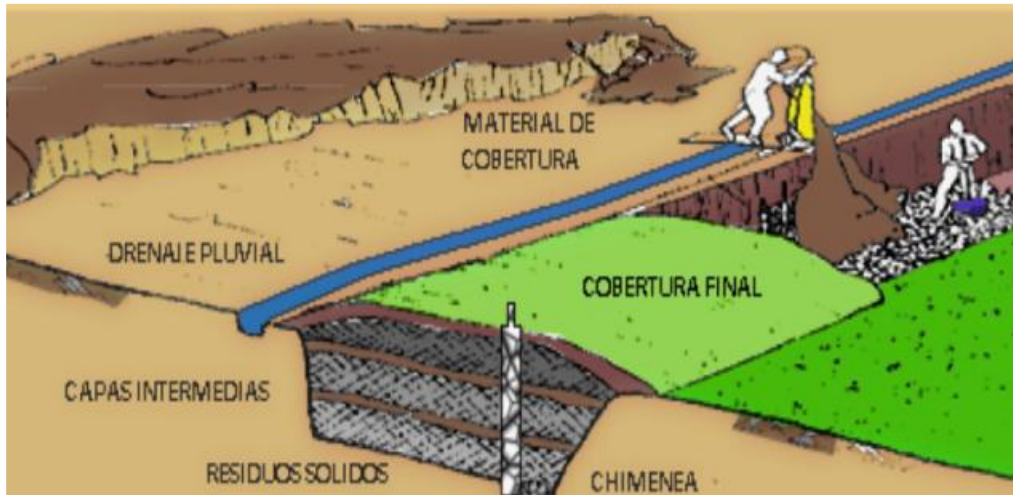


Figura 18. Método de trinchera aplicado a un relleno sanitario manual.

Método de áreas.

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 deslizamientos y lograr una mayor estabilidad, a medida que se eleva el relleno hasta la altura proyectada

El terreno a utilizar debe ser permeabilizado previamente para evitar filtraciones de lixiviados hacia aguas subterráneas.

En la aplicación del método de área se requiere siempre de la presencia de un sólido terraplén (natural o artificial), de forma que se compactara los residuos sobre el mismo.

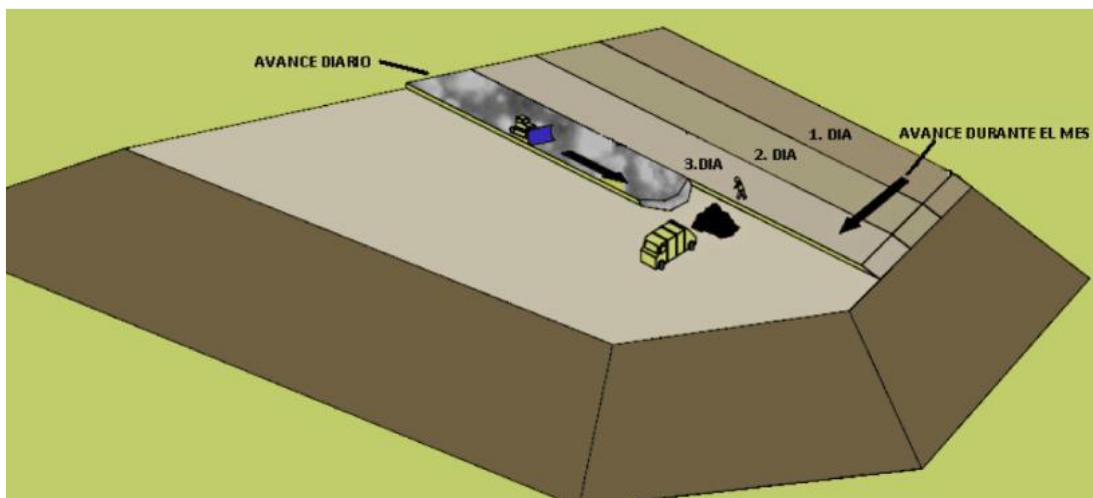


Figura 19. Método de área aplicado a un relleno sanitario mecanizado.



Figura 20. Método de área aplicado a un relleno sanitario manual.

2.4 Emisiones de un relleno sanitario.

Los residuos de un relleno sanitario presentan una serie de reacciones químicas, físicas y biológicas que dan origen a las emisiones atmosféricas y líquidas. Los desechos, especialmente los de origen orgánico, al ser compactados liberan agua y líquidos contenidos en su interior, los que escurren hasta la base de la celda del relleno sanitario. El agua que ingrese al relleno lixiviará los desechos arrastrando sólidos en suspensión y compuestos diluidos. Esta mezcla con alto poder contaminante es lo que se conoce como lixiviados o líquidos percolados.

Las emisiones atmosféricas de un relleno sanitario, llamadas comúnmente biogás, son producidas principalmente por reacciones anaeróbicas. La cantidad y composición de este gas depende de la masa depositada de residuos; la composición y el tipo de desecho orgánico; su estado y las condiciones del medio.

La composición del biogás de los rellenos sanitarios se mantiene dentro de los rangos que se observan a continuación en la Tabla 3.

Compuesto del biogás.	Rango de composición (% volumen).
Metano (CH ₄).	50 - 54
Dióxido de carbono (CO ₂).	45 - 48
Nitrógeno (N ₂).	1 - 3
Oxígeno (O ₂).	0.2 - 0.9

Tabla 3. Composición del biogás en un relleno sanitario.

2.5 Técnica de recuperación para un vertedero no controlado.

Una de las características más comunes a nivel del país y de la región Centroamericana es que los vertederos están a cielo abierto, por lo cual la lluvia juega un papel importante, pues penetra en los materiales vertidos y disuelve los contaminantes. Y éstos afectan a su vez a

las aguas subterráneas. Ésta es una de las razones por la que hoy en día todos los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos deberían de estar sellados de forma efectiva en su superficie y en su base.

Para la recuperación de un vertedero no controlado ya existente se procede a trasladar la masa de vertidos a una parte del vertedero antiguo, por lo que aún se puede seguir recolectando residuos sólidos urbanos en la fase de reestructuración, se instala un sellado de base en forma cónica utilizando un material llamado liner, con lo que se recuperan los lixiviados a través de un único pozo como se observa en la figura 21.

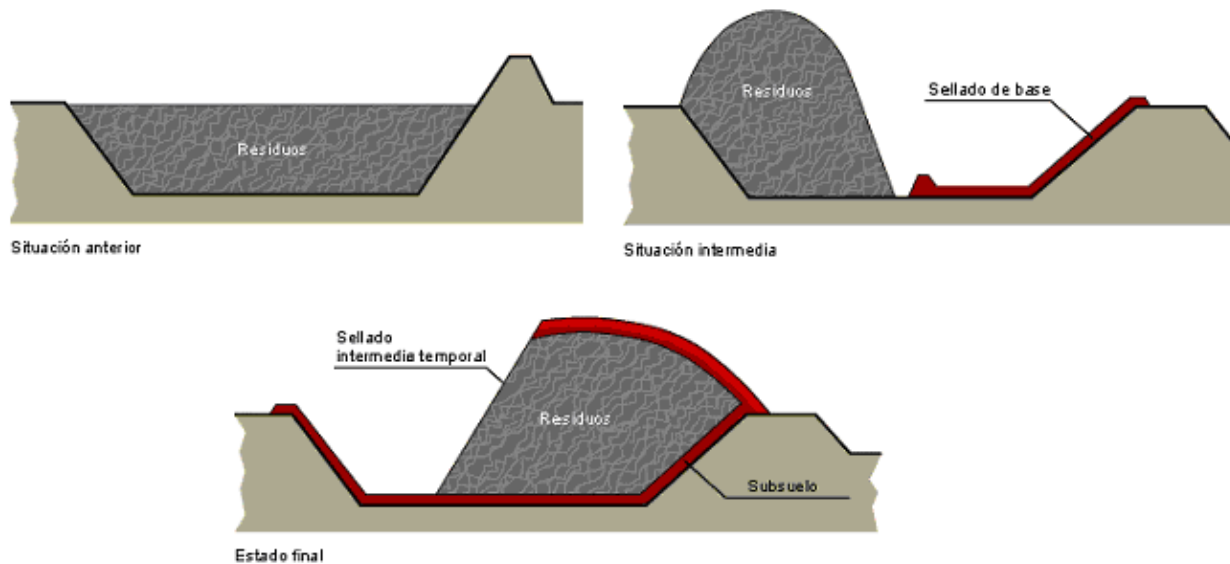


Figura 21. Método de sellado para la recuperación de un vertedero no controlado.

En una primera fase, se instala el sellado de base, luego se traslada toda la masa de vertidos hacia la zona sellada formando una colina que se cubre con un sistema de sellado de superficie. En la ladera hacia la zona actualmente en explotación se instala un sellado intermedio temporal. Los lixiviados producidos en la zona que se encuentra en explotación son evacuados mediante una capa mineral de drenaje hacia un pozo central de lixiviados de donde son bombeados a la planta de tratamiento que debe ser instalada en terrenos cercanos.

Para minimizar la producción de lixiviados se desarrolla un sistema específico de explotación en la cual la parte activa del vertedero es protegida contra la infiltración de lluvia mediante un sellado temporal y un sistema de recogida de pluviales lo que permite minimizar los costos para el tratamiento de lixiviados

2.6 Sistema de extracción de biogás de un relleno sanitario.

El esquema típico de un relleno sanitario, con su respectivo sistema de extracción de biogás y una estación de incineración o eventualmente, una estación de aprovechamiento energético por medio de biogás se puede observar en la figura 22.

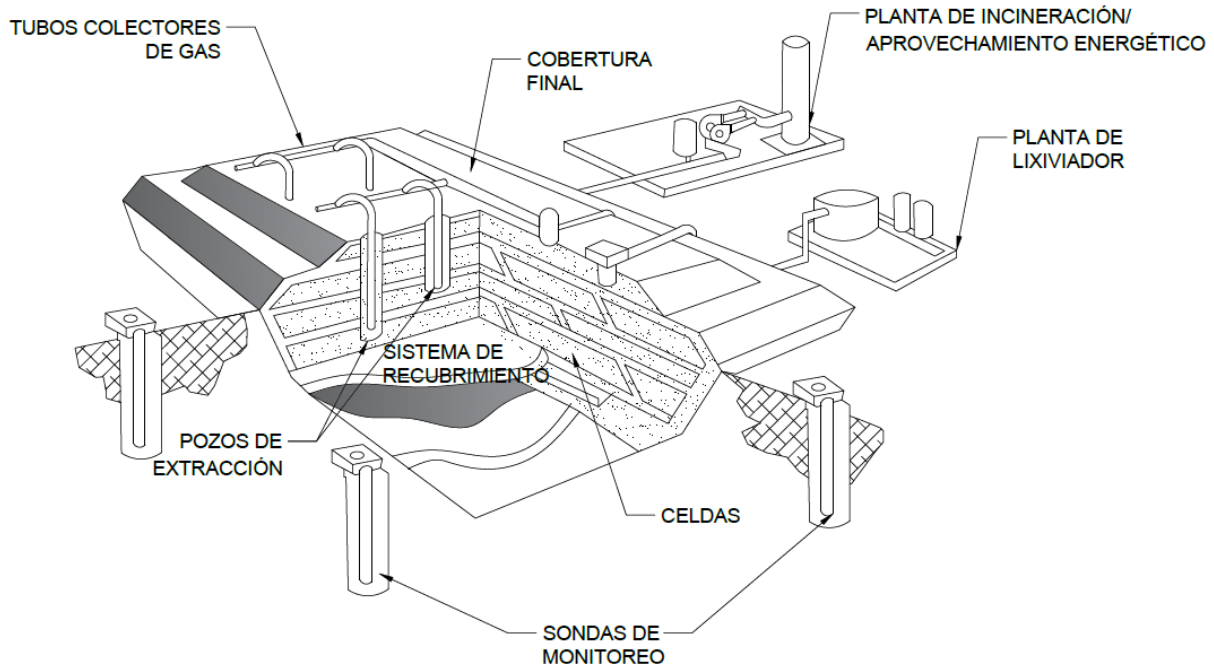


Figura 22. Esquema de captación de biogás en un relleno sanitario.

Un sistema de extracción de biogás puede ser pasivo o activo. Un sistema pasivo drena el biogás al interior de un relleno sanitario mediante la implementación de chimeneas que otorgan un paso de baja pérdida de carga para el biogás, mientras que un sistema activo emplea equipos de extracción que generan la diferencia de presión necesaria para evacuar el biogás del interior del relleno sanitario. Para efectos de aprovechamiento energético, se deben considerar sistemas activos, estos sistemas consisten en los siguientes componentes:

- ❖ **Pozos de extracción:** Existen pozos con tuberías verticales, horizontales y mixtas, estos pueden construirse junto con el relleno sanitario o realizar excavaciones para una instalación posterior.
- ❖ **Cabezal de pozo:** Situado en la parte superior de los pozos de extracción. Permite controlar la extracción de gas. Cumplen funciones como medir caudal de gas de cada pozo, regular el flujo, eliminar el agua, manejo combinado de lixiviados y gas, y constituir un acople telescópico para considerar el movimiento de la superficie del relleno sanitario. El material más utilizado es polietileno (PE).
- ❖ **Tuberías colectoras:** Transportan el biogás de los pozos de extracción a la estación de aprovechamiento o incineración. Las tuberías por lo general están hechas de polietileno (de media o alta densidad) o polipropileno, pues estos materiales

presentan propiedades óptimas de resistencia mecánica y química. Además el sistema debe contar con puntos de drenaje de agua y poseer un número de válvulas suficientes para aislarlo en secciones.

- ❖ **Bombas de extracción:** Con frecuencia se usan compresores o sopladores centrífugos para la extracción del biogás. En el caso de los compresores, hay disponibles en el rango de capacidad de 150 m³/h hasta 3000 m³/h. Además deben considerarse supresores de llama en caso de auto combustión, con el fin de minimizar el riesgo de una explosión. Adicionalmente hay instrumentación para balancear el flujo extraído de cada pozo.

Pozos de extracción.

Un pozo de extracción es, en pocas palabras, el camino que ofrece una menor pérdida de carga para evacuar biogás en forma controlada y evitar la migración accidental.

Los esquemas más comunes en proyectos de captura de biogás son con pozos verticales, los cuales se instalan en áreas de disposición ya clausuradas. Es ideal una profundidad de residuos de al menos 10 metros como mínimo.

El siguiente método utilizado para la captura de biogás es el de colectores horizontales, a veces denominado zanjas. Se instalan en áreas poco profundas y en rellenos sanitarios que aún están en operación. Son una buena alternativa para rellenos con altos niveles de lixiviados, pues evitan la obstrucción de cañerías

Habitualmente, cuando se emplean colectores horizontales, también se usan pozos de extracción vertical, es decir, sistemas mixtos.

Como se puede observar en la Figura 23 se muestra el esquema con los tipos de pozos de extracción recomendados para sistemas activos. Estos cuentan con tuberías perforadas, montadas en zanjas (como es el caso de los colectores horizontales), rellenos con materiales de distinta granulometría, para así poder evitar la infiltración de aire al relleno y a su vez facilitar la extracción del biogás.

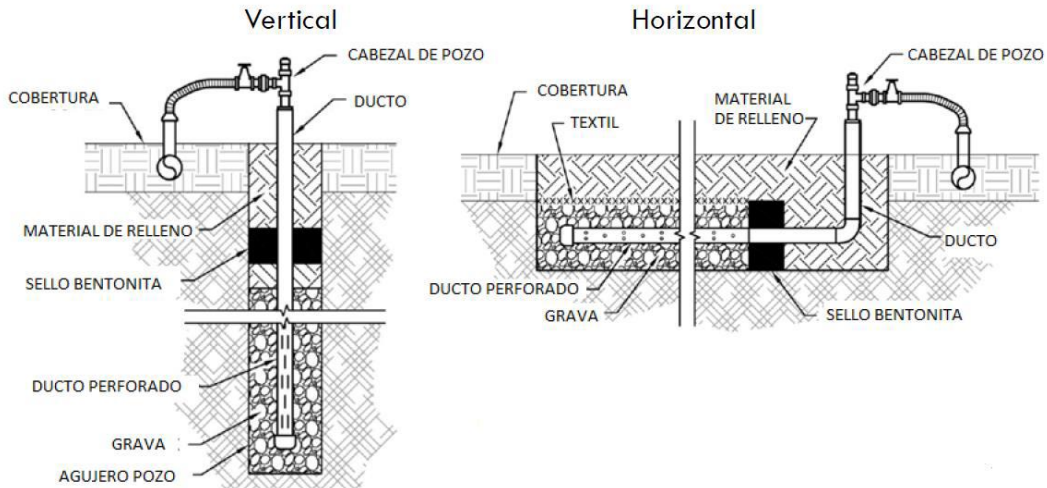


Figura 23. Esquema de pozos de extracción de biogás.

Cabezal de pozo.

Los cabezales de pozo permiten monitorear la captura de biogás en los colectores. Poseen manómetros para medir la presión en el cabezal, tubo de pitot o sistemas de placa orificio para medir el caudal de biogás extraído y sensores de temperatura. Además contienen una válvula que regula la succión de biogás.

En la Figura 24 se observa un ejemplo de cabezal de pozo de extracción, con sus puertos de monitoreo de temperatura y presión, y la válvula que permite regular la succión de biogás en un pozo de extracción vertical.



Figura 24. Cabezal de pozo de extracción.

Tuberías colectoras.

Dirigen el biogás a una estación de incineración o de aprovechamiento energético. Un sistema de colección común está compuesto por:

- ❖ Tuberías de conexión lateral de pequeño diámetro, a partir de los cabezales de los pozos de extracción o colectores. Pueden estar por encima o debajo del nivel del suelo. Se usa en general Polietileno de alta densidad (HDPE) o PVC, este último material solo en caso de tuberías por encima del suelo.
- ❖ Manifold de distribución que conecta tuberías de conexión lateral con una o más tuberías principales.
- ❖ Tubería principal que transporta el biogás a la planta de incineración o aprovechamiento.

Los diámetros de los ductos incrementan su tamaño a medida que se acercan al soplador o compresor del sistema de extracción, para adaptarse al mayor caudal. El sistema debe ser dimensionado para la máxima tasa de producción de biogás.

Para eliminar el condensado se usan trampas de condensado o cárcamos de condensado (Estaciones de almacenamiento y bombeo). En la Figura 25 y Figura 26 se muestran esquemas de una trampa de condensado y cárcamo de condensado respectivamente.

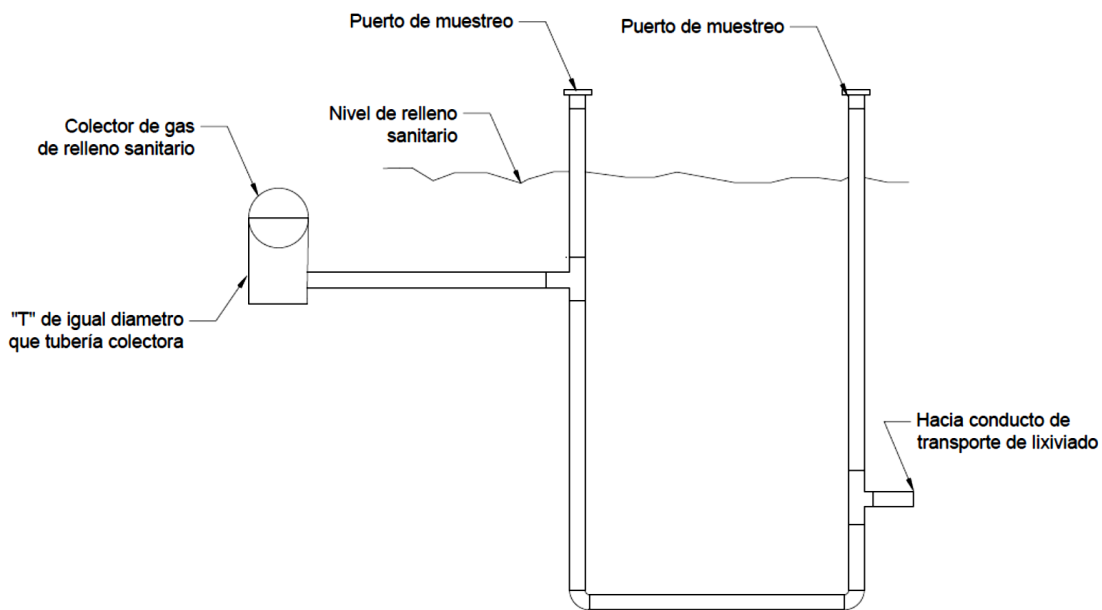


Figura 25. Esquema de trampa de condensado.

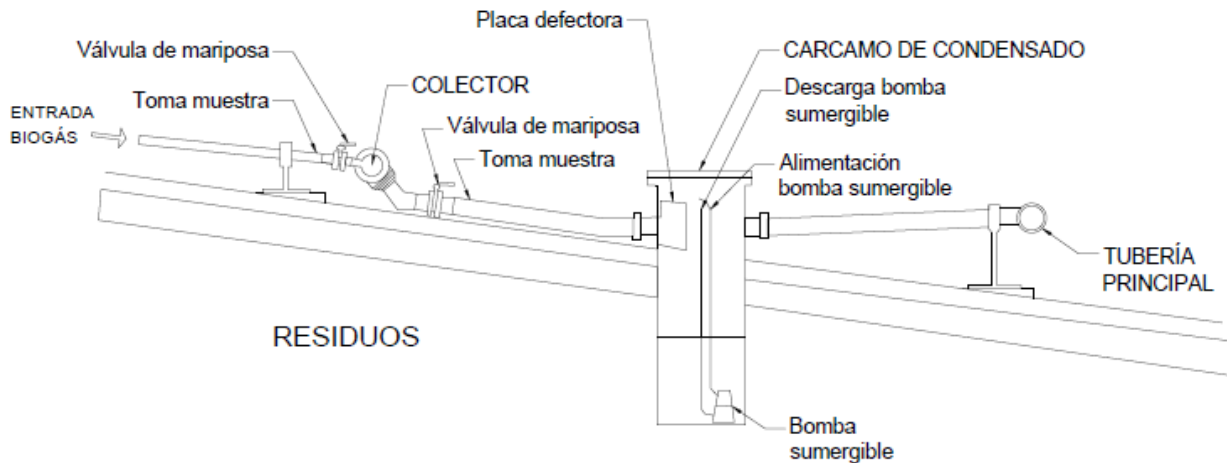


Figura 26. Esquema de cárcamo de condensado.

Bomba de extracción.

El sistema de bombeo incluye todos los componentes para inducir un vacío que permita la extracción del biogás y suministro de este para su uso final. Debe ser instalado cerca de la estación de aprovechamiento o incineración y debe existir espacio suficiente para expandir el sistema a medida que se requiera.

Las dimensiones que pueda tener son una decisión acoplada al sistema de aprovechamiento o incineración del biogás. La selección del equipo adecuado debe considerar la tasa de recuperación de biogás y la eficiencia de colección deseada. A pesar de que la capacidad de un sistema de extracción sea suficiente durante algunos años, este se verá superado con el paso del tiempo, por lo que se puede llegar a expandir el sistema mediante la adición de nuevos sopladores o compresores.

Para muchos sistemas de biogás, la elección de un soplador centrífugo de una etapa es adecuado y económico, a causa de sus bajos costos de inversión y operación, y por sus bajos requerimientos de mantención.

En algunos casos cuando la necesidad de presión es mayor, se usan compresores de capacidades de 345 kPa hacia arriba. Por lo general, se emplean si el uso final de biogás solicita alimentación a alta presión, como por ejemplo un moto-generador de gas. Los compresores son más costosos que los sopladores y requieren mayor mantención.

2.6.1 Diseño de pozos de extracción vertical y colectores horizontales.

Primero, se debe definir qué tipo de colectores de biogás se utilizarán. Las alternativas más comunes son pozos de extracción vertical, pero también existen sistemas con colectores horizontales. Para la elección del tipo de colector se debe considerar el objetivo de la extracción, las ventajas y desventajas de cada tipo, las cuales se pueden observar a continuación en la Tabla 4.

Pozos verticales.		Colectores horizontales.	
Ventajas.	Desventajas.	Ventajas.	Desventajas.
Interferencia mínima a las operaciones de disposición de residuos, si pozos son instalados en áreas clausuradas.	Incrementa los costos de mantenimiento y operación en áreas de disposición aun operativas.	Facilita la extracción temprana de biogás, pues permite extraer en zonas activas.	Incrementa la posibilidad de ingreso de aire al relleno.
Diseño más común, confiables y accesibles para la inspección.	Retraso en la extracción de biogás en caso de instalarlos solo en áreas clausuradas.	No necesita equipos especializados para la construcción.	Más propensos a fallar por inundación y taponamiento o producto de asentamientos del terreno.
Adecuados para rellenos sanitarios profundos, mayores a 10 m.		Adecuado para rellenos sanitarios poco profundos.	

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los colectores de biogás.

En general, cuando se aplican colectores horizontales, luego de alcanzar la elevación final del relleno sanitario, se emplean pozos verticales para aumentar el flujo captado de biogás y mejorar la eficiencia del sistema, es decir, se aplican sistemas mixtos.

Criterios de diseño para pozos verticales y horizontales.

Algunos criterios que se deben considerar para el diseño de pozos verticales colectores de biogás son los siguientes:

1. Diámetros de perforación entre 200 mm a 900 mm. La evidencia empírica sugiere que diámetros pequeños presentan un buen desempeño para los pozos, sin aumentar mucho el costo en excavación. Se recomienda un diámetro mínimo de 250 mm.
2. Tubería colectora de diámetro entre 50 mm a 150 mm. Se recomienda un mínimo de 100 mm para evitar taponamiento por condensado de biogás o ingreso de lixiviado a la tubería. Considerar aumentar diámetro solo en caso de rellenos sanitarios con altos niveles de lixiviado. La tubería debe ir al centro del pozo. Los materiales más usados son PVC y HDPE, siendo este último el más común.
3. La profundidad de la perforación debe ser aproximadamente el 80% de la profundidad del relleno sanitario. Se debe verificar que exista una distancia de al menos 3 m desde el final de la perforación hasta la base de esta, de forma que los pozos no intervengan con el sistema de impermeabilización de la base del relleno. Perforaciones mayores a 20 m no son eficientes en términos de costos, por lo que no suele superarse dicha profundidad.

4. La tubería idealmente debe tener una región perforada de 2/3 del largo total, pero debe verificarse que la distancia desde la superficie hasta el área perforada sea al menos de 3 m, siendo recomendable 5 m, para poder minimizar la probabilidad de ingreso de aire al interior del relleno sanitario.
5. La región perforada puede tener un diámetro de 10 mm a 15 mm. Debe incluir un área de apertura de 10% a 12% del total del tubo. También en lugar de perforaciones circulares, se emplean ranuras, sin embargo, tuberías con perforaciones circulares presentan el doble de resistencia frente a cargas verticales.
6. Las tuberías deben poseer acoples telescópicos, para acomodarse a asentamientos del terreno y poseer un margen de ajuste. Esto con respecto a la base de la perforación frente a variaciones en la profundidad del relleno, como consecuencia de asentamientos del terreno.
7. En la región no perforada del tubo se rellena con material de cobertura y se utilizan dos sellos de bentonita (material arcilloso que se expande con la humedad).
8. En la región perforada se usa grava como material de relleno, con una granulometría de 25 mm a 50 mm.

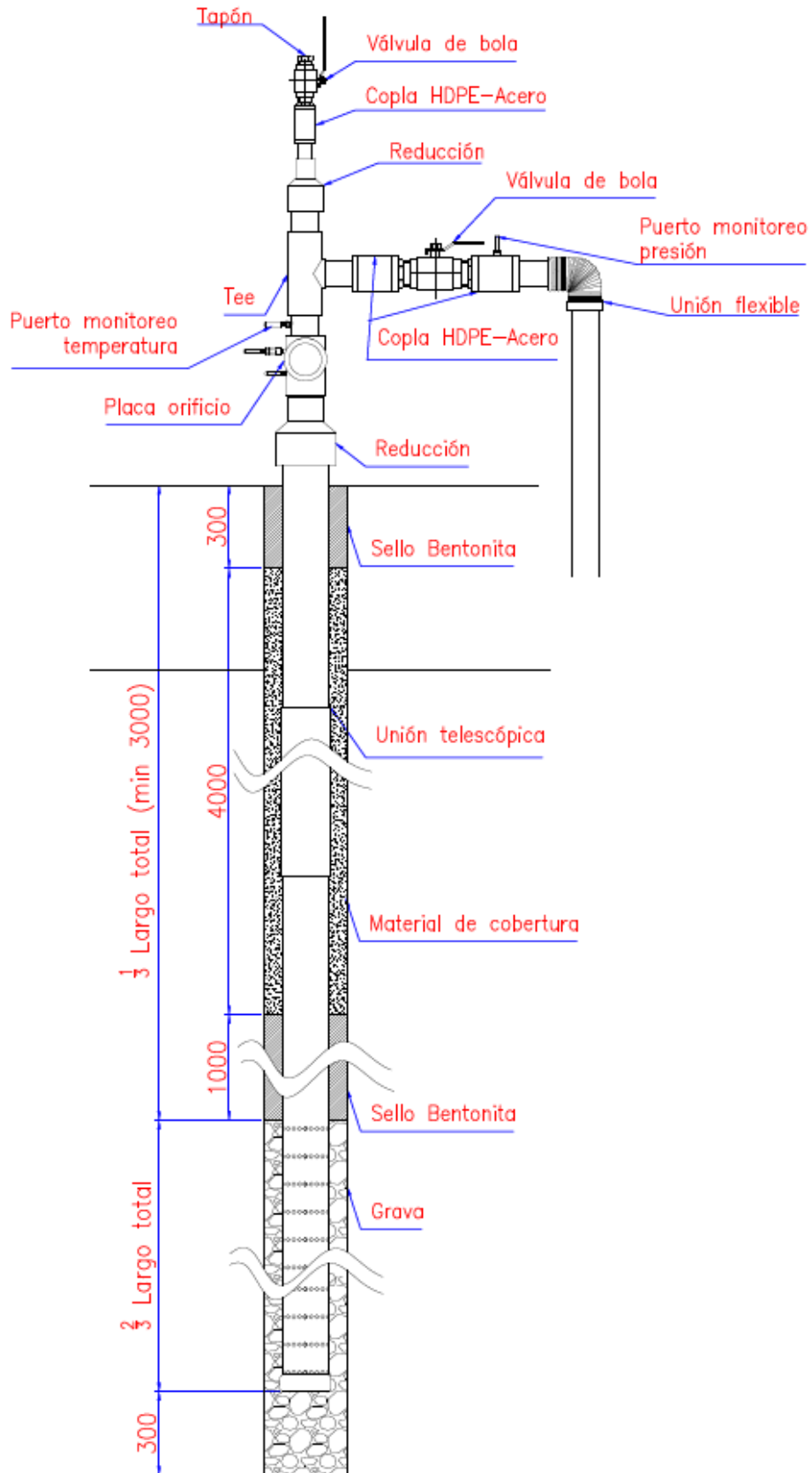


Figura 27. Diseño de un pozo vertical de captación de biogás en mm.

Además, en caso de utilizar colectores horizontales se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:

1. Las tuberías colectoras van montadas sobre trincheras, directamente encima de los residuos, y son rodeadas por grava de granulometría de 25 mm a 50 mm. Sobre la tubería debe existir al menos 200 mm de espesor de grava. En caso de cercanía a la superficie superior del relleno sanitario, se debe usar un geotextil para evitar el ingreso de aire.
2. Las dimensiones de la trinchera van de 600 mm a 900 mm de ancho, y 1200 mm de profundidad.
3. Se debe considerar una inclinación del 5% para facilitar el flujo de condensado o lixiviado dentro de la tubería.
4. Las tuberías suelen ser de 100 mm a 200 mm de diámetro, y se recomienda que tenga como mínimo 150 mm. Este tipo de sistemas requiere operar con bajo nivel de vacío para evitar la inmigración de aire al relleno sanitario, por lo que es usado 200 mm de diámetro en la mayoría de los casos para evitar grandes pérdidas de carga, lo que permite en forma adicional, dar paso al flujo de líquidos sin bloquear el paso del biogás.
5. El material de la tubería colectoras es PVC o polietileno de alta densidad (HDPE), siendo este último el más usual.
6. La tubería colectoras debe estar formada por tuberías de 6 m a 12 m de largo, de distinto diámetro y solapadas para otorgar flexibilidad frente al asentamiento del terreno.
7. La trinchera más alta debe tener al menos 3 m a 4 m de distancia de la superficie superior del relleno, para prevenir el ingreso de aire.

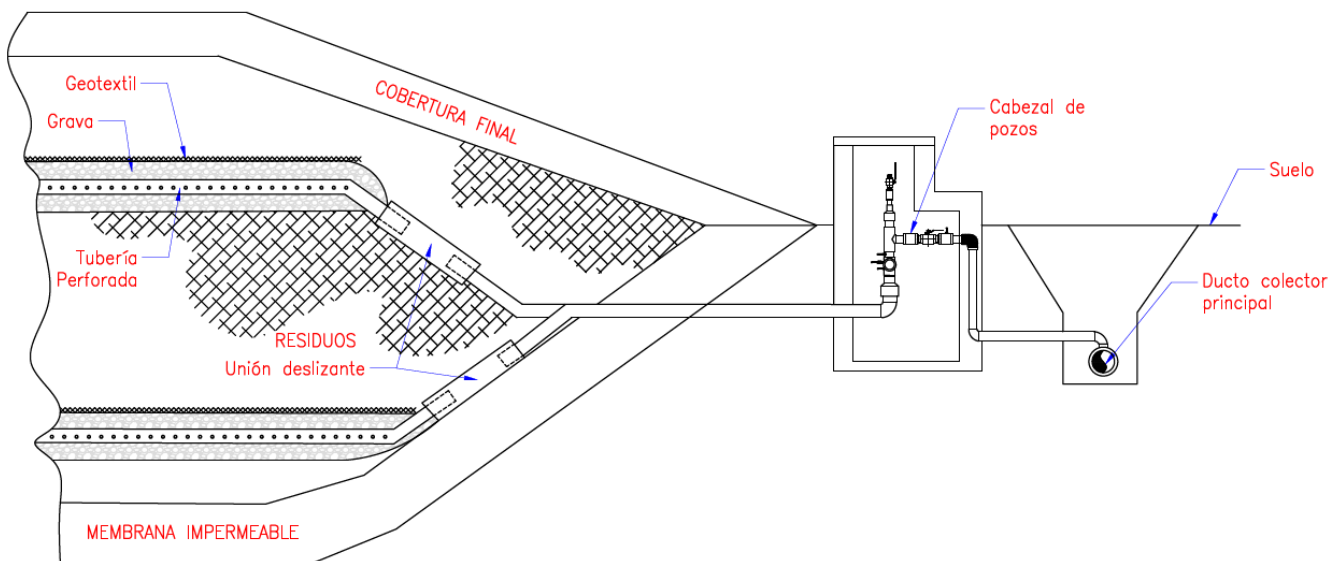


Figura 28. Esquema de un sistema de colectores horizontales.

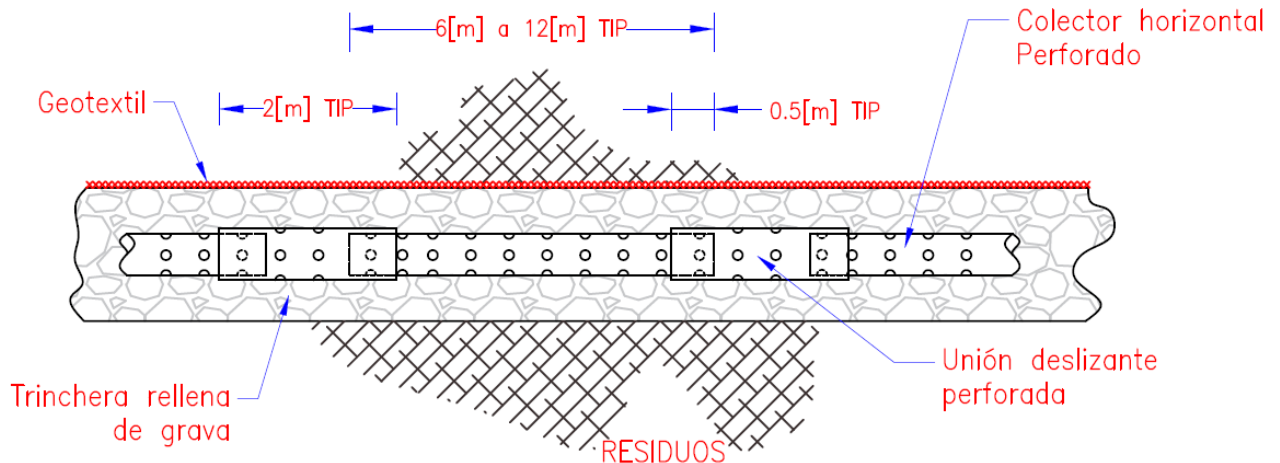


Figura 29. Esquema para uniones de tuberías colectoras horizontales.

En cuanto a los cabezales para los pozos la instrumentación típica es:

- ❖ **Medidor de Flujo:** Tubo de Pitot o Placa orificio.
- ❖ **Medidor de presión:** Manómetro o puerto de monitoreo.
- ❖ **Medidor de temperatura:** Termocupla o puerto de monitoreo.
- ❖ **Regulación de vacío:** Válvulas Mariposa o válvula de bola son las más utilizadas (opcional).

Además se debe considerar una unión flexible para la conexión a los ductos colectores. Con esto se permite el movimiento, debido al asentamiento del terreno y dilaciones térmicas de los ductos. Es habitual también considerar una tapa removible para inspección.

2.6.2 Sistemas de manejo de condensado.

Un factor importante, en el diseño de un sistema de extracción, es considerar elementos para controlar y extraer el condensado. Este se produce por el enfriamiento del biogás durante su transporte a la estación de bombeo. Durante la extracción el biogás suele estar a la temperatura interior del relleno y saturado en humedad. Como consecuencia del enfriamiento, la presión de vapor disminuye y comienza a condensar el agua en las paredes de las tuberías.

La cantidad de condensado depende de la cantidad de biogás extraído, la presión de vacío y la magnitud del cambio de temperatura. Para prevenir que el agua bloquee los ductos, en los puntos bajos del sistema colector se usan trampas o cárcamos de condensado como se puede observar en la figura 30. El condensado puede ser dispersado dentro del relleno sanitario o ser transportado a los sistemas de tratamiento de lixiviados.

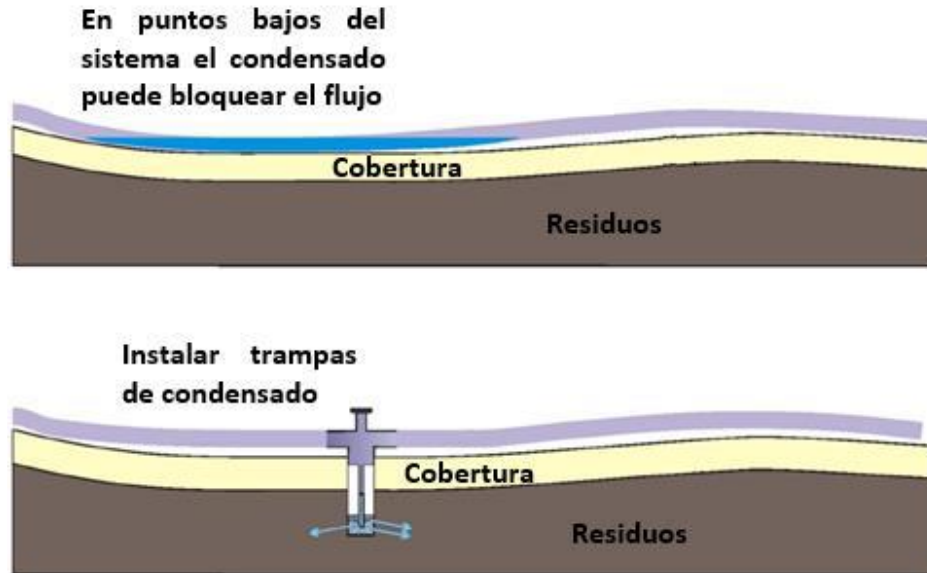


Figura 30. Esquema de extracción de condensado en puntos bajos del sistema.

En rellenos sanitarios grandes se utilizan cárcamos de condensado para automáticamente transportar el condensado a los sistemas de control y tratamiento de lixiviados. La bomba sumergible puede ser eléctrica o neumática como se observa en la figura 31, siendo esta última opción la preferida, para evitar riesgos al momento de instalar equipos eléctricos en atmósferas explosivas. Para determinar los equipos de extracción de condensado, es necesario estimar el flujo de este. Los cárcamos en general se dimensionan para el almacenamiento diario de lixiviado producido.

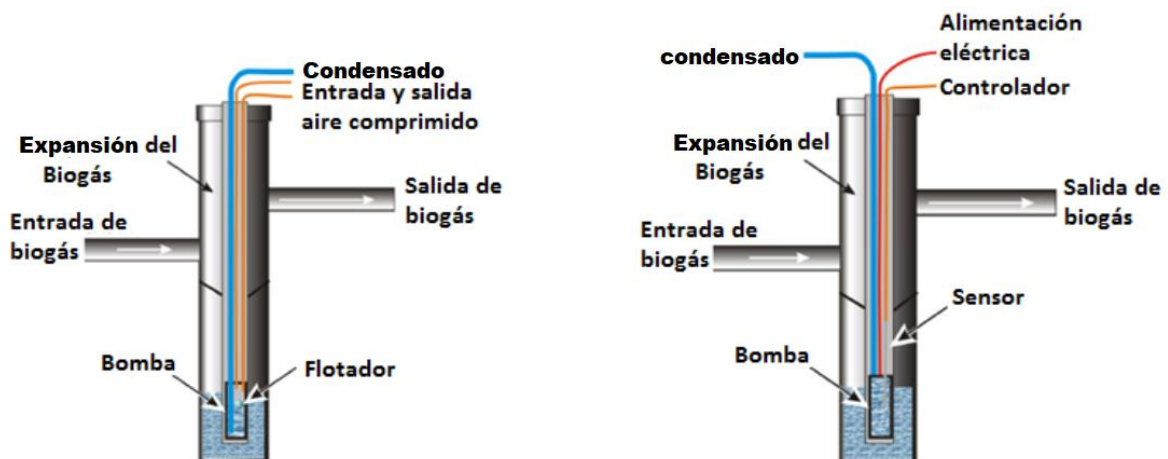


Figura 31. Tipos de cárcamos de condensado.

Para calcular el flujo de condensado, se adoptan los siguientes supuestos:

- ❖ La temperatura del biogás es máxima en el cabezal del pozo e igual a la temperatura del interior del relleno sanitario.

- ❖ La humedad relativa del biogás es 100%.
- ❖ No hay congelamiento.

La cantidad de condensado varía durante el año, siendo en invierno el periodo de mayor producción. El potencial de producción de condensado se estima con la Ecuación siguiente:

$$C_{\text{pot}} = \frac{M_{\text{agua}}}{M_{\text{biogás}}} \cdot \left(\frac{P_s(T_e)}{P_T - P_s(T_e)} - \frac{P_s(T_s)}{P_T - P_s(T_s)} \right)$$

Donde:

C_{pot}: Condensando potencial (kg agua/ kg biogás).

M_{agua}: Peso molecular del agua (kg/kmol).

M_{biogás}: Peso molecular del biogás (kg/kmol).

P_s(T): Presión de saturación de vapor de agua (mbar).

T_e: Temperatura de entrada del biogás a ducto colector (°C).

T_s: Temperatura de biogás antes de la trampa o cárcamo de condensado (°C).

P_T: Presión de aspiración inducida por soplador o compresor (mbar).

Además, el peso molecular del biogás se estima con la ecuación siguiente:

$$M_{\text{biogás}} = f_{\text{CH}_4} \cdot 16 + f_{\text{CO}_2} \cdot 44$$

Donde:

f_{CH₄}: Fracción en volumen de metano en el biogás (%).

f_{CO₂}: Fracción en volumen de dióxido de carbono en el biogás (%).

La tasa de condensado suele estar entre 30 ml a 50 ml por metro cúbico de biogás.

2.7 Equipos de tratamiento primario.

Antes de los equipos de extracción es necesario filtrar y deshumidificar el biogás, para que se minimicen los efectos corrosivos que el biogás sin tratar podría causar en dichos equipos.

No toda la humedad del biogás se retira mediante las trampas o cárcamos de condensado, razón por la que se emplean en general separadores de humedad centrífugos, como el que se observa en la Figura 32. Un desnebulizador se puede emplear para proporcionar una mayor eficiencia de remoción.

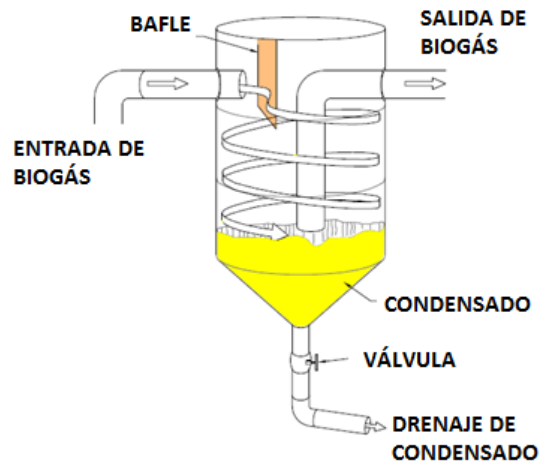


Figura 32. Separador de humedad centrífugo.

Además del separador de humedad, se puede considerar una “trampa-p”, instalada antes junto con un estanque y una bomba sumergible que transporte el condensado al sistema de tratamiento de lixiviado.

En la Figura 33 se observa un diagrama de procesos de una estación de tratamiento primario típica.

En instalaciones cuyo uso requiera biogás a alta presión, se necesitan equipos más complejos y de mayor eficiencia para eliminar la humedad de este. Para este proceso suelen usarse enfriadores para bajar la temperatura del biogás entre $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, también se lo puede comprimir antes del enfriamiento para deshidratarlo aún más. Aquí la presión por lo general oscila desde 100 kPa a 700 kPa , y puede variar dependiendo del uso final del biogás.

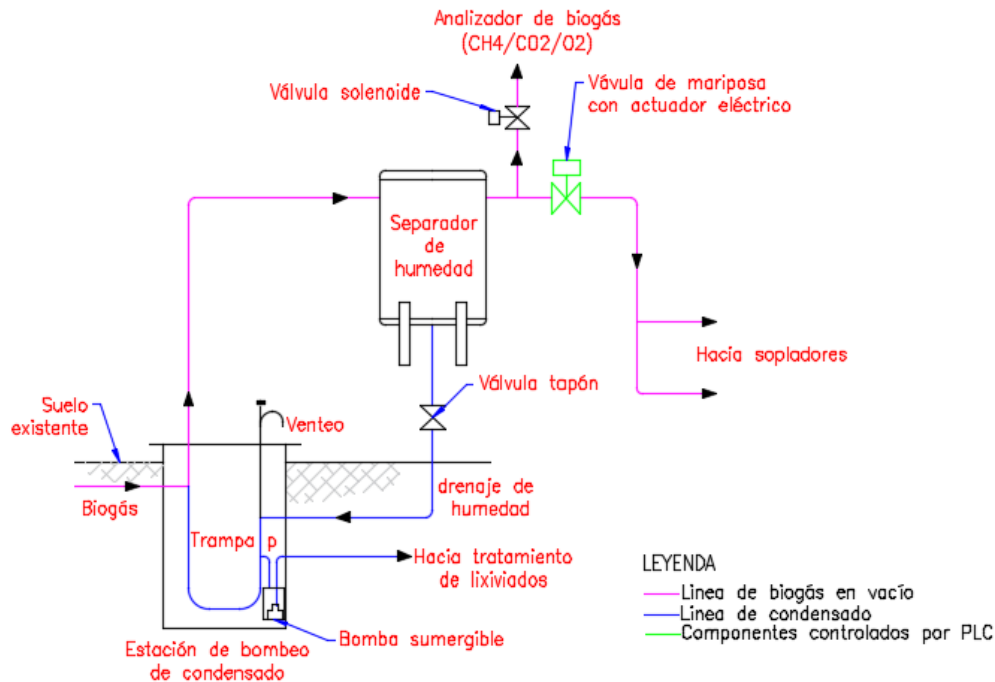


Figura 33. Diagrama de estación de tratamiento primario.

2.8 Equipos de compresión, limpieza y secado de biogás.

El biogás en la actualidad posee tanta importancia como el gas natural en la alimentación de los motores de combustión interna, sin embargo, la utilización del biogás como combustible requiere la eliminación previa del H_2S , debido a que es corrosivo, atacando químicamente a todas las partes metálicas del motor. El azufre se combina con el vapor de agua formando ácido sulfúrico, que atacaría a las tuberías, intercambiadores, y a todo el sistema en donde se tenga contacto. Por lo que se debe de evitar reducir la temperatura de los gases de escape por debajo del punto de rocío.

Es importante evitar el grado de humedad en el biogás y alejarlo del punto de rocío para que no se produzcan condensaciones en el contacto con las superficies más frías de las tuberías de admisión que lo conducen a los motores, por lo que se puede proceder con las siguientes etapas:

- ❖ Enfriamiento del gas hasta $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. De esta forma se produce una des humidificación del gas hasta garantizar un contenido máximo de humedad de 20 mg/l .
- ❖ Separación de gotas.
- ❖ Calentamiento del biogás hasta $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. De esta manera nos alejamos de forma definitiva del punto de rocío.

Uno de los fabricantes de este tipo de equipos es “pioneer air systems” la cual provee productos y soluciones de ingeniería en el área de compresión, filtración y secado de gases, en particular, posee una línea de productos para sistemas de tratamiento para sistemas de biogás. Esta empresa provee soluciones integrales o equipos por separado.

Para tratamiento de biogás de relleno, dependiendo de la eficiencia requerida en el tratamiento, algunas de las alternativas disponibles son:

R Economy:

- ❖ Compresión.
- ❖ Tratamiento primarios previo a compresión.
- ❖ Enfriamiento con intercambiador de calor refrigerante-gas.
- ❖ Filtración.
- ❖ Secado.
- ❖ Remoción de 60% de contaminantes, para operación en calderas o motores.

R Series:

- ❖ Elementos de R Economy.
- ❖ Evaporación de humedad.
- ❖ Pre enfriamiento gas-gas y recalentador.
- ❖ Remoción de 75% de contaminantes, para operación en motores y turbinas.

R Series plus:

- ❖ Elementos de R Series.
- ❖ Adsorción con carbón activo.
- ❖ Filtración final.
- ❖ Remoción de 99% de contaminantes, para operación con motores y turbinas.

Los sistemas anteriores, existen en unidades comerciales que van desde 170 m³/h hasta 5100 m³/h de biogás, la selección se cada sistema depende de la tecnología de aprovechamiento que se utilice y características específicas de los equipos de combustión.

2.9 Motores de combustión interna.

Para una adecuada utilización de combustible en un motor de combustión interna se deben de reunir los siguientes requisitos: mezcla y combustión rápida y no dejar residuos sólidos.

Este tipo de motores pueden utilizar biogás o gas natural para su funcionamiento, pero primero debe conocerse su composición exacta debido a que estos pueden ser una mezcla de distintos gases.

Cabe destacar que este tipo de motores presentan una gran pérdida de energía en forma de calor por lo que es común su utilización en aplicaciones de cogeneración con lo cual se considera que estas pérdidas se transforman en eficiencia térmica.

Algunos de los fabricantes que producen generadores que utilizan biogás como combustible son:

Caterpillar.

Desde la década de 1,920, Caterpillar ha diseñado y construido motores para la producción de energía. Actualmente Caterpillar proporciona soluciones completas de gas, desde

sistemas mecánicos tales como sistemas del tren de combustible a gas y de recuperación térmica, hasta el post-tratamiento del escape que cumple con las normas más exigentes de emisiones en el mundo.

A continuación se presentan ciertas características de rendimiento de motores alimentados con biogás los cuales trabajan a 60 Hz de la marca Caterpillar:

Modelo.	G3516A[1500 rpm]	G3516A+[1500 rpm]	G3520C[1200 rpm]
Potencia eléctrica (kW)	1041	1105	1622
Eficiencia eléctrica (%)	32.1	36.8	39.8
Eficiencia térmica (%)	47.0	41.5	39.9
Eficiencia Total (%)	79.1	78.3	79.7

Tabla 5. Especificaciones de generadores de la marca Caterpillar.

MWM.

MWM es una empresa que tiene más de 135 años de experiencia en el desarrollo y optimización de los motores de combustión para gas natural, gases especiales y combustibles diesel. MWM desarrolla y fabrica soluciones personalizadas para los requisitos individuales mediante su experiencia en el área de ingeniería.

A continuación se presentan ciertas especificaciones técnicas de motores de la serie TCG 2020 los cuales trabajan por medio de biogás, con una frecuencia de 60 Hz:

Modelo.	TCG 2020 V12	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Potencia eléctrica (kW)	1,200	1,560	2,000
Eficiencia eléctrica (%)	42.7	42.3	42.7
Eficiencia térmica (%)	42.7	42.8	43.2
Eficiencia Total (%)	85.4	85.1	85.9

Tabla 6. Especificaciones de generadores de la serie TCG 2020 de la marca MWM.

Jenbacher.

Es una empresa con una amplia experiencia en el diseño y manufactura de motores de gas y módulos de cogeneración desde el año 1959.

A continuación se muestran especificaciones técnicas de generadores de la serie Type 4 los cuales trabajan utilizando gas natural o biogás.

Modelo.	J412	J416	J420
Potencia eléctrica (kW)	851	1,141	1,429
Eficiencia eléctrica (%)	39.3	39.5	39.6
Eficiencia térmica (%)	45.7	45.7	45.7
Eficiencia Total (%)	85	85.2	85.3

Tabla 7. Especificaciones de generadores Type 4 de la marca Jenbacher.

3. Producción de energía eléctrica a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

3.1 Modelos matemáticos utilizados para la generación de biogás.

Existe una serie de modelos matemáticos con los cuales se pueden prever con mayor o menor exactitud la generación de biogás de un vertedero, los cuales se pueden mantener útil entre períodos de 25 años o más, estos vertederos dependen de varios factores que se analizan en cada uno de los modelos matemáticos.

Muchos de estos modelos se basan en la ecuación de Monod de primer orden (TNO, SWANA, LandGEM, Gassim, Afvalzorg, EPER France, LFGREEN...).

La ecuación de Monod de orden cero se ha utilizado en otros modelos (EPER Germany, SWANA zero order, IPPC). Algunos modelos se basan en el crecimiento secuencial biológico, como el modelo Halvadakis.

Se tienen distintos modelos matemáticos según el orden de la ecuación utilizada como se puede observar a continuación en la tabla 8.

<i>Modelo</i>	<i>Ecuación</i>
Modelo de orden cero: la generación de biogás es constante en el tiempo. La edad de los residuos no está incluida en el modelo	$Q = \frac{M \cdot L_0}{(t_i - t_f)}$
Modelo de primer orden: la generación de biogás decrece exponencialmente	$Q = M \cdot L_0 \cdot k \cdot e^{-k(t-t_i)}$
Modelo modificado de primer orden: se considera un tiempo de desfase en la generación de metano. Inicia lentamente para luego crecer hacia un pico que decrece exponencialmente, como en el modelo de primer orden.	$Q = M \cdot L_0 \frac{k+s}{s} \cdot (1 - e^{-s(t-t_i)}) (k e^{-k(t-t_i)})$
Modelo multifase de primer orden: se consideran diferentes fracciones de residuos y diferentes tasas de producción.	$Q = M_i \cdot L_0 \cdot \left[F_R (k_R \cdot e^{-k_R(t-t_i)}) + F_M (k_M \cdot e^{-k_M(t-t_i)}) + F_S (k_S \cdot e^{-k_S(t-t_i)}) \right]$
Modelos de segundo orden: describen las complejas reacciones que ocurren durante la degradación de los residuos, a partir de reacciones de primer orden con diferentes tasas	$Q = M \cdot k \left(\frac{L_0}{kL_0 t + 1} \right)^2$

Tabla 8. Distintos modelos matemáticos según el orden de la ecuación.

A continuación se describen brevemente los principales modelos existentes en la evaluación de producción de biogás.

3.1.1 Modelo EPER Germany.

El modelo EPER (European Pollutant Emission Register) utilizado en Alemania es un modelo de orden cero que sólo tiene en cuenta una tipología de residuos.

$$M_e = M \cdot BDC \cdot BDC_f \cdot F \cdot D \cdot C$$

Donde

- M_e son las emisiones difusas de metano (t CH₄/año).
- M es la cantidad anual de residuos depositados en vertedero (t RSU/año).
- BDC es la proporción de carbono biodegradable (0.15) (t C/t RSU).
- BDC_f es la proporción de carbono biodegradable convertido (0.50).
- F es el factor de conversión de C en CH₄ (1.33) (t CH₄/t C).
- D es la eficiencia en la recuperación del biogás: Sin sistema de recuperación (0.9), con sistema de recuperación (0.4), con sistema de recuperación y capa de cubrición (0.1).
- C es la concentración de metano en el biogás (50 %).

Este modelo fue concebido para estimar las emisiones de metano a la atmósfera. Eliminando de la ecuación la eficiencia en la recuperación (D), se podría estimar la producción de metano en el vertedero.

3.1.2 Modelo EPER France.

El modelo francés EPER (European Pollutant Emission Register) es un modelo con una cinética de primer orden. Proporciona dos aproximaciones para estimar la emisión de metano en vertederos. El operador puede escoger cuál de ellas es la más adecuada a sus instalaciones:

- ❖ Emisiones de metano en celdas de vertedero conectadas a un sistema de recuperación de gas, usando datos de gas recuperado y eficiencia de la recuperación.
- ❖ Emisiones de metano en celdas de vertedero conectadas o no a un sistema de recuperación, usando un modelo multifase.

La primera aproximación sigue la siguiente ecuación:

$$A = F \cdot H \cdot [CH_4]$$

Donde:

- A es la cantidad de biogás recuperado (m³ CH₄/año).
- F es la tasa de extracción del biogás (m³ LFG/h).
- H son las horas anuales de funcionamiento del compresor (h/año).
- CH_4 es la concentración de metano en el biogás (m³ CH₄/m³ LFG).

Al aplicar la aproximación hay que tener en cuenta la corrección de A por condiciones estándar de temperatura y presión. La eficiencia de la recogida queda determinada por la superficie de celdas conectadas al sistema y por la presencia de capas de cubrición.

En la segunda aproximación, la producción e metano se calcula a partir de una ecuación multifase:

$$FE_{CH_4} = \sum_x FE_0 \cdot \left(\sum_{1,2,3} A_i \cdot p_i \cdot k_i \cdot e^{-k_i t} \right)$$

Donde:

- FE_{CH_4} es la generación anual de metano ($m^3 CH_4/año$).
- FE_0 es la generación potencial de metano ($m^3 CH_4/Mg RSU$).
- P_i es la fracción de residuo con tasa de degradación k_i ($kg_i/kg RSU$).
- K_i es la constante de degradación de la fracción i ($año^{-1}$).
- t es la edad de los residuos ($año$).
- A_i es el factor de normalización.

El modelo describe tres tipologías de residuos y cada categoría lleva asociada una capacidad de producción de metano específica. La tabla 9 muestra las categorías de residuos y la generación de metano asociada a cada una de ellas.

Categoría	Tipos de residuos	Generación de metano ($m^3CH_4/t RSU$)
1	RSU	100
	Lodos	
	Restos de jardín	
2	Residuos industriales	50
	Residuos comerciales	
	Residuos biológicos pretratados	
3	Residuos inertes	0
	Residuos no biodegradables	

Tabla 9. Tipos de residuos y su generación de metano para el modelo EPER francés.

La tabla 10 muestra las fracciones y los valores de k para cada una de las categorías de residuos considerados en este modelo.

Categorías	Fracciones			Valor global (año ⁻¹)
	1 (k=0.50 año ⁻¹)(%)	2 (k=0.10 año ⁻¹)(%)	3 (k=0.04 año ⁻¹)(%)	
1	15	55	30	0.12
2	15	55	30	0.12
3	0	0	0	0.00

Tabla 10. Valores de k utilizados en cada categoría del modelo EPER francés.

3.1.3 Modelo IPCC de orden cero.

Este modelo de orden cero desarrollado por IPCC (panel intergubernamental sobre el cambio climático) en 1996, está basado en la población y en la materia orgánica degradable existente en los residuos:

$$Q = \left(MSW_T \cdot MSW_F \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot \frac{16}{12} R \right) \cdot (1 - OX)$$

Donde:

- Q son las emisiones de metano (Gg CH₄/año).
- MSW_T son los RSU totales generados en base a la población (ton RSU/año).
- MSW_F es la fracción de RSU depositada en el vertedero.
- MCF es la fracción de corrección del metano.
- DOC representa el carbono orgánico que se degrada (kg C/kg RSU).
- DOC_F es la fracción de DOC que realmente se degrada.
- F es la fracción de metano presente en el biogás (0.5).
- 16/12 es la conversión de C a CH₄.
- R es el metano recuperado (Gg CH₄/año).
- OX es el factor de oxidación (0).

Este método asume que todo el potencial de emisiones de CH₄ se genera durante el mismo año que se depositan los residuos. Se trata de un método muy sencillo que requiere la introducción de pocos parámetros de entrada, para los que IPCC proporciona valores en función de la ubicación del vertedero.

3.1.4 Modelo IPCC multifase.

Una década después de la aparición del modelo de orden cero, IPCC (2,006) recomendaba el uso de un modelo multifase de primer orden para estimar las emisiones de metano en vertederos. Una versión simplificada del modelo es la siguiente:

$$Q_{CH_4} = M_i \cdot L_0 \cdot \left[F_R \left(k_R \cdot e^{-k_R(t-t_1)} \right) + F_M \left(k_M \cdot e^{-k_M(t-t_1)} \right) + F_S \left(k_S \cdot e^{-k_S(t-t_1)} \right) \right]$$

Donde:

- Q_{CH₄} son las emisiones de metano (m³ CH₄/año).

- L_0 es el potencial de generación de metano ($m^3 CH_4/ton$ RSU).
- M_i es la masa de residuos depositados en la sección i del vertedero (ton/año).
- F_R, F_M, F_S representan las fracciones rápida, moderada y lentamente biodegradables de residuos.
- k_R, k_M, k_S son las constantes de degradación de cada una de las fracciones de residuos.
- t_i es el incremento de la edad (años).

Aunque los modelos multifase presentan cierta dificultad de uso, presentan ciertas ventajas:

- ❖ Incorporan las distintas degradaciones de las fracciones de residuos
- ❖ Estos modelos ayudan a identificar el efecto del reciclaje y los cambios en la gestión del vertedero, así como el impacto de las emisiones durante un periodo de tiempo determinado.

3.1.5 Modelo LandGEM.

El modelo LandGEM ha sido desarrollado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA, United States Environmental Protection Agency). Sigue una cinética de primer orden y determina la masa de metano generado a partir de los residuos depositados en vertedero y la capacidad de generación de metano de los mismos (USEPA, 2,001).

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n k \cdot L_0 \cdot M_i \cdot e^{-kt}$$

Donde:

- Q_{CH_4} es el metano generado ($m^3 CH_4/año$).
- k es la constante de generación de metano (0.04) (1/año).
- L_0 es el potencial de generación de metano (100) ($m^3 CH_4/ton$ RSU).
- M_i es la masa de residuos en la sección i (ton RSU).
- t_i es la edad de la sección i considerada (1/año).

Los protocolos de USEPA establecen que la composición de los residuos usados en el modelo refleja la composición media de los mismos en US. Dichos protocolos proporcionan también los valores por defecto de k y L_0 según el tipo de vertedero (USEPA, 2,004).

El modelo LandGEM está basado en el modelo empírico de primer orden Scholl Canyon, que asume que la generación de biogás llega al máximo después de la fase inicial de estabilización, mientras se equilibran las condiciones anaerobias y las poblaciones de microorganismos dentro del vertedero. Después decrece la tasa de producción de biogás debido a la disminución de la fracción orgánica de los residuos.

En un vertedero los residuos se vierten de forma continua durante años. Por la tanto, la masa de residuos M sigue aumentando. Para incorporar este efecto, la ecuación anterior se modifica mediante la suma de la masa de residuos añadidos al vertedero en cada incremento de tiempo considerado. Esta modificación mejora la precisión del modelo:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k \cdot L_0 \cdot \frac{M_i}{10} \cdot e^{-kt_{ij}}$$

Donde:

- i corresponde con un incremento de un año.
- j corresponde con un incremento de 0.1 año.
- t_{ij} es la edad de la sección j de la masa de residuos M vertida en el año i (años decimales).

Aunque se trata de un modelo de sencilla aplicación, LandGEM presenta varios defectos:

- ❖ Se considera la hipótesis de que los residuos son homogéneos, por lo que L_0 es constante en el tiempo y en el espacio. Sin embargo, L_0 realmente depende de la materia orgánica presente en los residuos y, por tanto, de la composición de los mismos.
- ❖ Se asume que el valor de k es constante en el vertedero. Sin embargo, k depende del contenido de humedad, de la temperatura y de la composición de los residuos.
- ❖ Los valores por defecto del modelo consideran las variaciones de humedad debidas a la precipitación o a la recirculación de lixiviados, pero no tienen en cuenta los cambios de temperatura ni la composición de los residuos. Aunque los valores específicos que dependen de la ubicación del vertedero pueden ser modificados por el usuario, esta información rara vez está disponible.

USEPA ha contribuido a desarrollar los modelos de biogás utilizados en determinados países, basados en la ecuación anteriormente expuesta como se puede observar en la tabla 11.

<i>País - Región</i>	<i>Modelo</i>
Ecuador	$Q_{LFG} = \sum_0^n \frac{1}{\%_{vol}} k \cdot L_0 \cdot M \cdot e^{-k(t-t_{lag})}$
México - Colombia - Ucrania	$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2k \cdot L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) \cdot e^{-kt_{ij}} \cdot (MCF) \cdot F$
América Central	$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2k \cdot L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) \cdot e^{-kt_{ij}}$
China - Filipinas - Tailandia	$Q_{LFG} = \frac{1}{C_{CH_4}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) \cdot e^{-kt_{ij}}$

Tabla 11. Modelos matemáticos para distintos países desarrollados por USEPA.

3.1.6 Modelo SWANA.

SWANA (Solid Waste Association of North America) desarrolló en primer lugar un modelo de orden cero para calcular la generación de metano en vertederos. Como ya se ha indicado anteriormente, en este tipo de modelos se asume la hipótesis de que la edad y el tipo de residuos no tienen ningún efecto sobre la producción de biogás:

$$Q = \frac{M \cdot L_0}{(t_0 - t_1)}$$

Donde:

- Q es la generación de metano ($m^3/año$).
- M son los residuos depositados en el vertedero (ton RSU).
- L_0 es el potencial de generación de metano ($m^3CH_4/ton RSU$).
- t es el tiempo (años).
- t_0 es el tiempo de desfase entre el vertido de residuos y el comienzo de la generación de biogás (años).
- t_1 es el tiempo de cese de generación (años).

El modelo SWANA de primer orden incorpora los efectos que la edad de los residuos provoca en la generación de biogás:

$$G = W \cdot L_0 \cdot k \cdot e^{-k(t-t_1)}$$

Donde:

- G es la generación de metano ($\text{m}^3/\text{año}$).
- W son los residuos depositados en el vertedero (ton RSU).
- t_1 es el tiempo de desfase entre el vertido de RSU y el inicio de la generación de biogás.
- k es la constante de degradación ($1/\text{año}$).

SWANA desarrolló posteriormente un modelo modificado de primer orden en el que introducía una constante de degradación de los residuos para el tiempo de desfase:

$$G = W \cdot L_0 \cdot \frac{k + s}{s} \left(1 - e^{-s(t-t_1)}\right) \cdot \left(k \cdot e^{-k(t-t_1)}\right)$$

Finalmente, introdujo dos fracciones de residuos (de degradación rápida y lenta), pasando a un modelo multifase:

$$G = W \cdot L_0 \cdot \left[F_R \left(k_R \cdot e^{-k_R(t-t_1)} \right) + F_S \left(k_S \cdot e^{-k_S(t-t_1)} \right) \right]$$

3.1.7 Modelo TNO (Países Bajos).

En 1,994, se llevó a cabo un estudio en diversos vertederos de los Países Bajos. De este estudio resultó el modelo utilizado por el gobierno danés para calcular las emisiones de metano generadas por los residuos depositados en un vertedero: el modelo TNO (The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research).

Se trata de un modelo de primer orden que estima el biogás generado en el vertedero basándose en la degradación del carbono orgánico presente en los residuos:

$$\alpha_t = \zeta \cdot 1.87 \cdot A \cdot C_0 \cdot k_1 \cdot e^{-k_1 t}$$

Donde:

- α_t es la generación de biogás en un tiempo dado (m^3 biogás/año).
- ζ es el factor de disimilación (0.58).
- 1.87 es el factor de conversión (m^3 biogás/kg C degradado).
- A es la cantidad de residuos (ton RSU).
- C_0 es la cantidad de carbono orgánico en residuos (kg C/ton RSU).
- k_1 es la constante de degradación (0.094) ($1/\text{año}$).
- t es el tiempo transcurrido desde el depósito de los residuos (año).

3.1.8 Modelo Afvalzorg.

El modelo Afvalzorg es un modelo multifase desarrollado por la Universidad de Agricultura de Wageningen basado en el modelo TNO y en las recomendaciones de “Adviescentrum Stortgas”.

Se basa en la premisa de que diferentes tipos de residuos contienen diferentes fracciones de carbono orgánico, y por tanto se degradan a un ritmo distinto. La ventaja del modelo multifase es que la composición variable de los residuos se puede tener en cuenta. En este modelo se distinguen ocho categorías de residuos y tres fracciones de carbono orgánico en función de su biodegradabilidad

El modelo Afvalzorg es un modelo multifase de primer orden y se describe matemáticamente como:

$$\alpha_t = \zeta \sum_{i=1}^3 c \cdot A \cdot C_{0,i} \cdot k_{1,i} \cdot e^{-k_{1,i}t}$$

Donde:

- α_t es la producción del biogás en un tiempo dado (m^3 biogás/año).
- ζ es el factor de disimilación.
- i es la fracción de residuo con una tasa de degradación $k_{1,i}$ (kg_i/kg RSU).
- c es el factor de conversión (0.7, 0.74) (m^3 biogás/kg MO degradada).
- A es la cantidad de residuos (ton RSU).
- C_0 es la cantidad de materia orgánica en residuos (kg MO/ton RSU).
- $k_{1,i}$ es la constante de degradación ($año^{-1}$).
- t es el tiempo transcurrido desde el depósito de los residuos (año).

La tabla 12 muestra las diferentes categorías de residuos consideradas en este modelo, así como el contenido en materia orgánica en función de la fracción de carbono orgánico considerado. En los residuos se distinguen tres fracciones: rápidamente biodegradables, moderadamente biodegradables y lentamente biodegradables.

<i>Categorías de residuos</i>	<i>Mínimo contenido en materia orgánica degradable (kg MO/t RSU)</i>				<i>Mínimo contenido en materia orgánica degradable (kg MO/t RSU)</i>			
	<i>Rap.</i>	<i>Mod.</i>	<i>Lent.</i>	<i>Total¹</i>	<i>Rap.</i>	<i>Mod.</i>	<i>Lent.</i>	<i>Total¹</i>
Suelos contaminados	0	2	6	40	0	3	8	42
RCD	0	6	12	44	0	8	16	46
Restos de fragmentación	0	6	18	60	0	11	25	70
Residuos de limpieza viaria	9	18	27	90	12	22	40	100
Lodos de aguas residuales - compost	8	38	45	150	11	45	48	160
Voluminosos domésticos	13	39	104	260	19	49	108	270
Residuos comerciales	13	52	104	260	19	54	108	270
Residuos domiciliarios	60	75	45	300	70	90	48	320

¹Sólo se tiene en cuenta la materia orgánica biodegradable. La materia orgánica total es mayor que la reflejada en la suma de las tres fracciones debido a la presencia de materia orgánica que no se degrada bajo condiciones anaerobias.

Tabla 12. Categorías de residuos del modelo Afvalzorg.

3.1.9 Modelo LFG GEN.

Este modelo fue desarrollado por la Universidad Central de Florida. Las hipótesis que sigue son una combinación de las asunciones hechas por Findikakis(1,988) y Tchobanoglous et al. (1,994):

- ❖ La metanogénesis va precedida de una fase de latencia.
- ❖ En la primera parte de la metanogénesis, la tasa de generación sigue una función lineal.
- ❖ La segunda parte de la metanogénesis sigue una cinética de primer orden.

Además, otras hipótesis del modelo son las siguientes:

- ❖ El método de análisis proporciona:
 - La generación teórica por estequiometría del carbono y del metano.
 - Los factores de biodegradabilidad.
 - El potencial bioquímico de metano.
- ❖ Los residuos biodegradables se dividen en once categorías.
- ❖ El contenido en humedad se clasifica en húmedo, moderado y seco.
- ❖ Hay tres fracciones de biodegradabilidad: rápida, moderada y lenta.

LFGGEN incluye un desfase de tiempo t_0 donde se establecen las condiciones anaerobias, seguido de un incremento lineal hasta llegar a la tasa máxima específica de metano Q_{SP} , que se alcanza al final del año t_p . Tras alcanzar la tasa máxima, la generación de biogás decrece exponencialmente hasta ser casi nula en t_{99} , tiempo en que la generación de biogás cae por debajo del 1% del pico:

$$Q_{sp} = L_0 \cdot \frac{2k}{k(t_p - t_o) + 2}$$

Donde:

- Q_{sp} es la tasa máxima específica de metano ($\text{m}^3/\text{año}/\text{kg RSU}$).
- L_0 es el potencial de la generación de metano ($\text{m}^3/\text{kg RSU}$).
- t_o es el desfase de tiempo (año).
- t_p es tiempo en el que alcanza la tasa máxima específica (año).
- k es la constante de biodegradación (año^{-1}).

En la segunda fase de la metanogénesis, la constante de biodegradación es:

$$k = \frac{-\ln 0.01}{t_{99} - t_p}$$

Donde:

- t_{99} es el tiempo en el que la generación de biogás es menor el 1% de Q_{sp} (año).

3.1.10 Modelo GasSim (UK).

Es el modelo de evaluación de producción de biogás utilizado por el gobierno de Reino Unido. Fue desarrollado por Golder Associates para la Agencia de Medio Ambiente de Inglaterra y Gales.

GasSim es un modelo probabilístico en el que la incertidumbre de ciertos parámetros puede representarse mediante un modelo de simulación que proporciona medida del efecto de dichas incertidumbre. Utiliza la técnica de simulación Montecarlo.

El modelo incorpora información sobre la cantidad y composición de los residuos, la tipología del vertedero y la gestión de la explotación. Los resultados que se pueden obtener son:

- ❖ Estimaciones del biogás generado en el interior del vertedero.
- ❖ Emisiones de la combustión del biogás llevado a antorcha.
- ❖ Emisiones del biogás no recogido por el sistema de captación.
- ❖ Migraciones terrestres del biogás.
- ❖ Impactos en la calidad del aire a corto y largo plazo.
- ❖ Impactos en el ser humano.

3.2 Cálculos de producción de biogás para la generación eléctrica.

Para calcular la cantidad de biogás que se obtiene al degradarse la fracción orgánica dentro de los residuos sólidos urbanos, se utilizan como datos la cantidad de desechos sólidos

urbanos que ingresan al relleno sanitario de Sonsonate el cual ubicado en el cantón Salinas de Ayacachapa, el cual se puede observar en la figura 34.

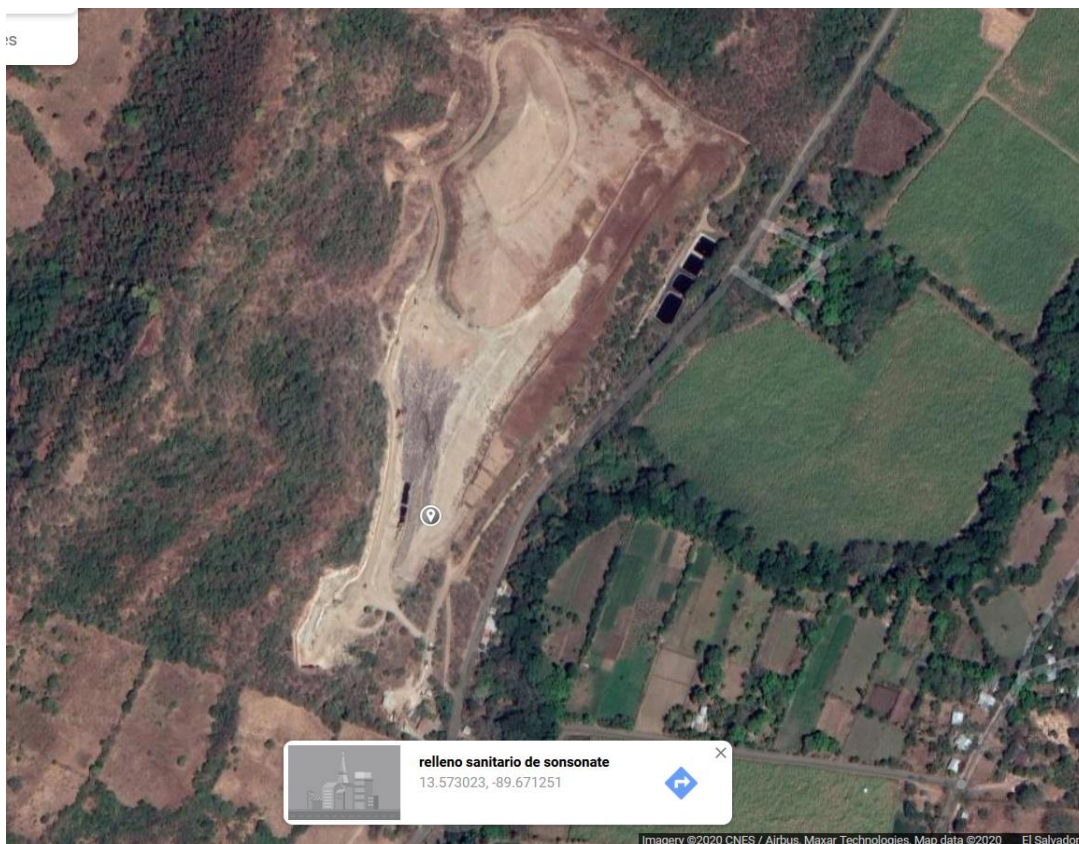


Figura 34, Relleno sanitario de Sonsonate.

A continuación se presenta una tabla con la cantidad de residuos sólidos urbanos que fueron recibidos en el relleno sanitario en el año 2,018. Para más detalles ver anexos.

Mes.	Cantidad [Toneladas métricas].
Enero.	11,162.31
Febrero.	10,118.29
Marzo.	10,770.15
Abril.	12,093.83
Mayo.	15,850.26
Junio.	14,500.18
Julio.	13,565.15
Agosto.	14,394.91
Septiembre.	12,574.07
Octubre.	13,533.84
Noviembre.	12,083.16
Diciembre.	11,828.61
Total.	152,474.76

Tabla 13. Cantidad de residuos sólidos que entraron al relleno sanitario en 2,018.

Para la obtención de resultados se utiliza el modelo matemático LandGEM para el área centroamericana desarrollado por USEPA.

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2k \cdot L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) \cdot e^{-kt_{ij}}$$

Donde:

- Q_{LFG} = Generación máxima anticipada de biogás (m³/año).
- i = Incremento de 1 año.
- n = (año del cálculo) – (año inicial en que se aceptó residuos).
- j = Incremento de 0.1 años.
- k = índice de generación de metano (1/año).
- L_0 = Generación Potencial de metano (m³/Mg).
- M_i = masa de residuos depositados en el año i_{th} (Mg).
- t_{ij} = Edad de la sección j_{th} de masa de residuos depositados en el año i_{th} (años decimales).

De la ecuación anterior cabe mencionar que los valores de los parámetros k y L_0 están relacionados a la cantidad de precipitaciones que cae sobre el relleno sanitario, “ k ” es la constante que determina el índice de generación de biogás y “ L_0 ” es la constante que representa la capacidad del relleno sanitario para generar metano, por lo cual las precipitaciones de lluvia ayudan a acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica por lo cual, a mayor cantidad de lluvia mayor será el valor de la constante k , mientras que el valor de L_0 solo se verá afectado en clima seco debido a las bajas precipitaciones .

A continuación se presentan los distintos valores de las constantes k y L_0 para distintos valores de precipitaciones anuales para El Salvador.

Precipitaciones [mm/año].	K rápida [por año].	K lenta [por año].
Clima húmedo (≥ 1000).	0.23	0.027
Clima moderado (750 a 999).	0.20	0.023
Clima seco (500 a 749).	0.18	0.021

Tabla 14. Valores del índice de generación de metano para El Salvador.

L_0 total [m ³ /ton].	L_0 de decaimiento rápido [m ³ /ton].	L_0 de decaimiento lento [m ³ /ton].
91	68	189

Tabla 15. Valores de potencial de generación de metano para El Salvador.

Para saber que valores de constantes son las que deben ser utilizadas para El Salvador es necesario conocer con anterioridad la cantidad promedio de precipitaciones anuales que caen en el país.

Según un informe proporcionado por el MARN, las precipitaciones promedio en el país son de 1,867 mm/año para una muestra de 25 años los cuales comprenden desde el año 1,981 hasta el 2,010 como se puede observar en la figura 35.

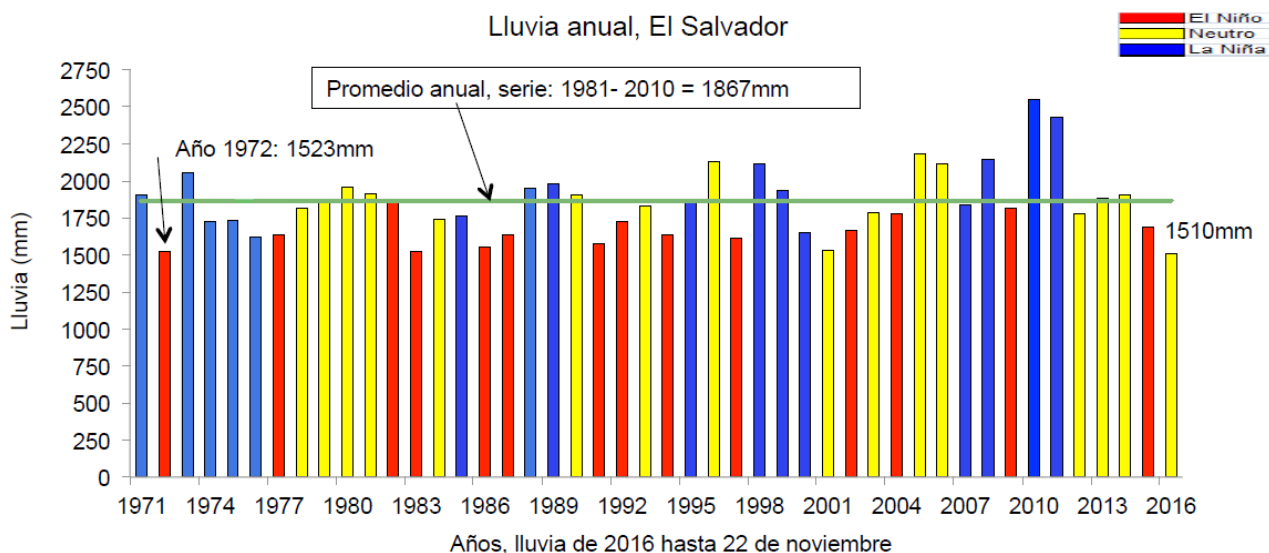


Figura 35. Promedio de precipitaciones anuales en El Salvador.

Con lo visto anteriormente, se puede aseverar que debido al promedio de precipitaciones de 1,867 mm/año se considera que el país se encuentra en la categoría de clima húmedo, con lo que posee un clima favorable para la generación de energía eléctrica por medio de biogás.

3.2.1 Obtención de resultados.

Una vez conocidos los datos necesarios se procede a la obtención del metano generado utilizando la hoja de cálculos proporcionado por USEPA para el área centroamericana, la cual es de uso libre y que permite realizar cálculos precisos debido a la cantidad de parámetros que esta permite modificar.

Debido al poco acceso a datos de la cantidad de desechos sólidos urbanos que llegan al relleno sanitario se utiliza una tasa de crecimiento de 0.5% en la cantidad de residuos y se realiza una proyección para 30 años.

Además, se utiliza una eficiencia del sistema de recolección que este en el rango de 60% a 85% con lo cual selecciona un valor promedio del 75% de eficiencia el cual es el valor recomendado para este tipo de generación de energía como se observa a continuación en la tabla 16.

<u>Año</u>	<u>Toneladas Metricas Dispuestas</u>	<u>Toneladas Metricas Acumuladas</u>	<u>Eficiencia del Sistema de Recolección</u>	<u>Recuperación Actual (m3/hr)</u>
2018	152,475	152,475	75%	-
2019	153,000	305,475	75%	186.46
2020	154,000	459,475	75%	340.11
2021	155,000	614,475	75%	468.17
2022	156,000	770,475	75%	575.79
2023	157,000	927,475	75%	667.08
2024	158,000	1,085,475	75%	745.31
2025	159,000	1,244,475	75%	813.08
2026	160,000	1,404,475	75%	872.44
2027	161,000	1,565,475	75%	925.05
2028	162,000	1,727,475	75%	972.20
2029	163,000	1,890,475	75%	1,014.96
2030	164,000	2,054,475	75%	1,054.13
2031	165,000	2,219,475	75%	1,090.38
2032	166,000	2,385,475	75%	1,124.25
2033	167,000	2,552,475	75%	1,156.14
2034	168,000	2,720,475	75%	1,186.40
2035	169,000	2,889,475	75%	1,215.30
2036	170,000	3,059,475	75%	1,243.05
2037	171,000	3,230,475	75%	1,269.82
2038	172,000	3,402,475	75%	1,295.76
2039	173,000	3,575,475	75%	1,320.97
2040	174,000	3,749,475	75%	1,345.55
2041	175,000	3,924,475	75%	1,369.56
2042	176,000	4,100,475	75%	1,393.08
2043	177,000	4,277,475	75%	1,416.15
2044	178,000	4,455,475	75%	1,438.80
2045	179,000	4,634,475	75%	1,461.08
2046	180,000	4,814,475	75%	1,483.01
2047	181,000	4,995,475	75%	1,504.61
2048	0	4,995,475	75%	1,525.91
2049	0	4,995,475	75%	1,324.35

Tabla 16. Crecimiento de la cantidad de desechos y selección de eficiencia de recolección.

3.2.2 Simulación para clima seco (precipitaciones de 500 a 749 mm/año).

Para clima seco se utiliza un valor intermedio en el rango de precipitaciones para clima seco el cual es de: **625 mm/año**.

Este tipo de clima es el menos favorable ya que al contar con menos humedad la producción de biogás es baja.

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS		
UES-Trabajo de graduación.		
País	El Salvador	
¿Existen Datos de Composición de Residuos específicos al Lugar?	No	
Año de Apertura:	2018	
Crecimiento estimado de disposición anual:	0.5%	
Precipitación Promedio Anual:	625	mm/año
Profundidad promedio del relleno:	20.0	m
Diseño y operación del lugar	2	
Contenido de Metano en el Biogás:	50%	
Factor de Corrección de Metano (MCF):	1.0	
residuos orgánicos de decaimiento rápido (k):	0.18	1/año
residuos orgánicos de decaimiento lento (k):	0.021	1/año
Índice de generación final (L₀):	91.0	m ³ /Mg
Residuos orgánicos de decaimiento rápido L₀:	67.6	m ³ /Mg
Residuos orgánicos de decaimiento lento L₀:	189.0	m ³ /Mg

Figura 36. Ingreso de datos para simulación de clima seco.

Año	Índice de Disposición (Mg/año)	Residuos Acumulados (Mg)	Generación de Biogás		Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Planeado		Capacidad Máxima Planta de Energía* (MW)	Flujo de Biogás Línea Base (m³/hr)	Estimados de Reducción en Emisiones de Metano**	
			(m³/hr)	(cfm)		(mmBtu/hr)	(m³/hr)			(cfm)	(tonnes CH ₄ /año)
2018	152,475	152,475	0	0	0.0	0	0	0.000	0	0	0
2019	153,000	305,475	264	155	4.7	198	117	0.328	0	621	13,047
2020	154,000	459,475	491	289	8.8	368	217	0.609	0	1,155	24,257
2021	155,000	614,475	688	405	12.3	516	304	0.853	0	1,618	33,970
2022	156,000	770,475	859	506	15.3	644	379	1.066	0	2,020	42,428
2023	157,000	927,475	1,009	594	18.0	757	445	1.252	0	2,373	49,834
2024	158,000	1,085,475	1,141	672	20.4	856	504	1.416	0	2,684	56,359
2025	159,000	1,244,475	1,258	741	22.5	944	555	1.561	0	2,959	62,143
2026	160,000	1,404,475	1,363	802	24.3	1,022	602	1.691	0	3,205	67,305
2027	161,000	1,565,475	1,457	857	26.0	1,092	643	1.807	0	3,426	71,944
2028	162,000	1,727,475	1,542	907	27.5	1,156	681	1.913	0	3,626	76,144
2029	163,000	1,890,475	1,619	953	28.9	1,214	715	2.009	0	3,808	79,973
2030	164,000	2,054,475	1,690	995	30.2	1,268	746	2.098	0	3,976	83,490
2031	165,000	2,219,475	1,756	1,034	31.4	1,317	775	2.179	0	4,131	86,742
2032	166,000	2,385,475	1,817	1,070	32.5	1,363	802	2.255	0	4,275	89,771
2033	167,000	2,552,475	1,875	1,104	33.5	1,406	828	2.327	0	4,410	92,610
2034	168,000	2,720,475	1,929	1,135	34.5	1,447	852	2.394	0	4,537	95,287
2035	169,000	2,889,475	1,981	1,166	35.4	1,485	874	2.458	0	4,658	97,827
2036	170,000	3,059,475	2,030	1,195	36.3	1,522	896	2.519	0	4,774	100,249
2037	171,000	3,230,475	2,077	1,222	37.1	1,557	917	2.577	0	4,884	102,569
2038	172,000	3,402,475	2,122	1,249	37.9	1,591	937	2.633	0	4,991	104,803
2039	173,000	3,575,475	2,166	1,275	38.7	1,624	956	2.687	0	5,093	106,962
2040	174,000	3,749,475	2,208	1,300	39.5	1,656	975	2.740	0	5,193	109,055
2041	175,000	3,924,475	2,249	1,324	40.2	1,687	993	2.791	0	5,290	111,090
2042	176,000	4,100,475	2,289	1,347	40.9	1,717	1,011	2.841	0	5,385	113,076
2043	177,000	4,277,475	2,329	1,371	41.6	1,746	1,028	2.890	0	5,477	115,017
2044	178,000	4,455,475	2,367	1,393	42.3	1,775	1,045	2.937	0	5,568	116,919
2045	179,000	4,634,475	2,405	1,415	43.0	1,804	1,062	2.984	0	5,656	118,786
2046	180,000	4,814,475	2,442	1,437	43.6	1,832	1,078	3.030	0	5,744	120,621
2047	181,000	4,995,475	2,479	1,459	44.3	1,859	1,094	3.076	0	5,830	122,427
2048	0	4,995,475	2,515	1,480	44.9	1,886	1,110	3.121	0	5,915	124,208
2049	0	4,995,475	2,235	1,315	39.9	1,676	987	2.773	0	5,257	110,391
2050	0	4,995,475	1,998	1,176	35.7	1,499	882	2.480	0	4,701	98,712

Tabla 17. Resultados de la simulación para clima seco.

**Proyección de Generación y Recuperación de Biogas para clima seco.
UES -Trabajo de graduación.**

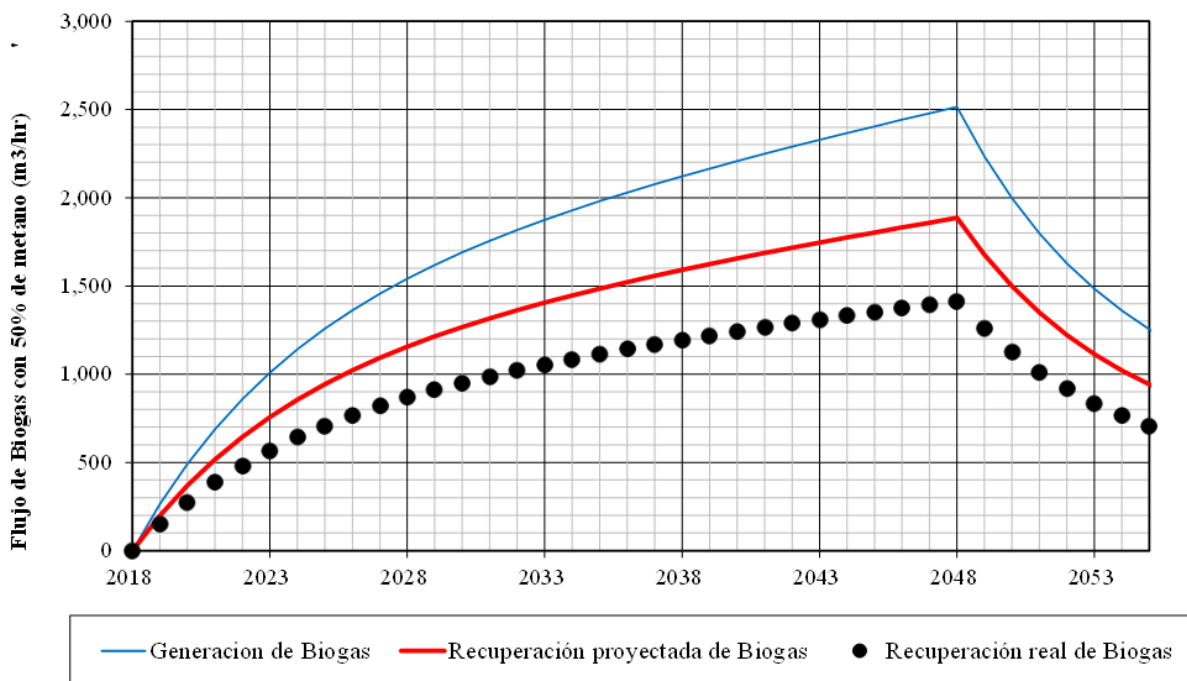


Figura 37. Resultados de la generación y recuperación de biogás.

Como se puede observar en los resultados de la tabla 17, la generación de biogás aumenta según la cantidad de residuos sólidos que se vierten en el relleno sanitario. La generación de biogás así como la generación de energía eléctrica solo se hace visible a partir del primer año de la acumulación de residuos.

En la figura 37 se puede observar la tendencia al aumento de la cantidad de biogás para el tiempo de vida proyectado de la planta la cual es de 29 años, luego de ese tiempo la producción de biogás empieza a decrecer debido a la disminución de residuos sólidos que llegan al vertedero.

La capacidad máxima de la planta de generación de energía para las condiciones en clima seco es de 3.121 MW el cual se da en la máxima producción de biogás de 2,515 m³/h en el año de cierre de operaciones.

3.2.3 Simulación para clima moderado (precipitaciones de 750 a 999 mm/año).

Para clima moderado se utiliza un valor intermedio en el rango de precipitaciones para clima moderado el cual es de: **875 mm/año**.

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS		
UES-Trabajo de graduación.		
País	El Salvador	
¿Existen Datos de Composición de Residuos específicos al Lugar?	No	
Año de Apertura:	2018	
Crecimiento estimado de disposición anual:	0.5%	
Precipitación Promedio Anual:	875	mm/año
Profundidad promedio del relleno:	20.0	m
Diseño y operación del lugar	2	
Contenido de Metano en el Biogás:	50%	
Factor de Corrección de Metano (MCF):	1.0	
residuos orgánicos de decaimiento rápido (k):	0.20	1/año
residuos orgánicos de decaimiento lento (k):	0.023	1/año
Indice de generación final (L ₀):	91.0	m ³ /Mg
Residuos orgánicos de decaimiento rápido L ₀ :	67.6	m ³ /Mg
Residuos orgánicos de decaimiento lento L ₀ :	189.0	m ³ /Mg

Figura 38. Ingreso de datos para simulación de clima moderado.

Año	Índice de Disposición (Mg/año)	Residuos Acumulados (Mg)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Planeado			Capacidad Máxima Planta de Energía* (MW)	Flujo de Biogás Línea Base (m³/hr)	Estimados de Reducción en Emisiones de Metano**	
			(m³/hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)		(m³/hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)			(tonnes CH ₄ /año)	(tonnes CO ₂ eq/año)
2018	152,475	152,475	0	0	0.0	75%	0	0	0.0	0.000	0	0	0
2019	153,000	305,475	291	171	5.2	75%	218	128	3.9	0.361	0	684	14,358
2020	154,000	459,475	536	316	9.6	75%	402	237	7.2	0.665	0	1,261	26,485
2021	155,000	614,475	746	439	13.3	75%	559	329	10.0	0.925	0	1,754	36,825
2022	156,000	770,475	925	545	16.5	75%	694	408	12.4	1.148	0	2,176	45,697
2023	157,000	927,475	1,080	636	19.3	75%	810	477	14.5	1.341	0	2,541	53,361
2024	158,000	1,085,475	1,215	715	21.7	75%	912	537	16.3	1.508	0	2,859	60,032
2025	159,000	1,244,475	1,334	785	23.8	75%	1,000	589	17.9	1.655	0	3,137	65,884
2026	160,000	1,404,475	1,439	847	25.7	75%	1,079	635	19.3	1.785	0	3,384	71,063
2027	161,000	1,565,475	1,532	902	27.4	75%	1,149	676	20.5	1.901	0	3,604	75,685
2028	162,000	1,727,475	1,617	951	28.9	75%	1,212	714	21.7	2.006	0	3,802	79,847
2029	163,000	1,890,475	1,693	997	30.3	75%	1,270	747	22.7	2.101	0	3,982	83,627
2030	164,000	2,054,475	1,763	1,038	31.5	75%	1,322	778	23.6	2.188	0	4,147	87,092
2031	165,000	2,219,475	1,828	1,076	32.7	75%	1,371	807	24.5	2.268	0	4,300	90,293
2032	166,000	2,385,475	1,888	1,111	33.7	75%	1,416	834	25.3	2.343	0	4,442	93,275
2033	167,000	2,552,475	1,945	1,145	34.8	75%	1,459	859	26.1	2.414	0	4,575	96,073
2034	168,000	2,720,475	1,999	1,176	35.7	75%	1,499	882	26.8	2.480	0	4,701	98,717
2035	169,000	2,889,475	2,050	1,206	36.6	75%	1,537	905	27.5	2.543	0	4,821	101,232
2036	170,000	3,059,475	2,098	1,235	37.5	75%	1,574	926	28.1	2.604	0	4,935	103,636
2037	171,000	3,230,475	2,145	1,262	38.3	75%	1,609	947	28.7	2.662	0	5,045	105,946
2038	172,000	3,402,475	2,190	1,289	39.1	75%	1,643	967	29.4	2.718	0	5,151	108,176
2039	173,000	3,575,475	2,234	1,315	39.9	75%	1,675	986	29.9	2.772	0	5,254	110,337
2040	174,000	3,749,475	2,276	1,340	40.7	75%	1,707	1,005	30.5	2.825	0	5,354	112,438
2041	175,000	3,924,475	2,318	1,364	41.4	75%	1,738	1,023	31.1	2.876	0	5,452	114,487
2042	176,000	4,100,475	2,358	1,388	42.1	75%	1,769	1,041	31.6	2.927	0	5,547	116,489
2043	177,000	4,277,475	2,398	1,411	42.9	75%	1,799	1,059	32.1	2.976	0	5,641	118,451
2044	178,000	4,455,475	2,437	1,434	43.5	75%	1,828	1,076	32.7	3.024	0	5,732	120,376
2045	179,000	4,634,475	2,475	1,457	44.2	75%	1,857	1,093	33.2	3.072	0	5,822	122,268
2046	180,000	4,814,475	2,513	1,479	44.9	75%	1,885	1,109	33.7	3.119	0	5,911	124,130
2047	181,000	4,995,475	2,550	1,501	45.6	75%	1,913	1,126	34.2	3.165	0	5,998	125,965
2048	0	4,995,475	2,587	1,523	46.2	75%	1,940	1,142	34.7	3.210	0	6,085	127,775
2049	0	4,995,475	2,276	1,340	40.7	75%	1,707	1,005	30.5	2.824	0	5,354	112,424
2050	0	4,995,475	2,018	1,188	36.1	75%	1,514	891	27.0	2.504	0	4,747	99,677

Tabla 18. Resultados de la simulación para clima moderado.

**Proyección de Generación y Recuperación de Biogas para clima moderado.
UES -Trabajo de graduación.**

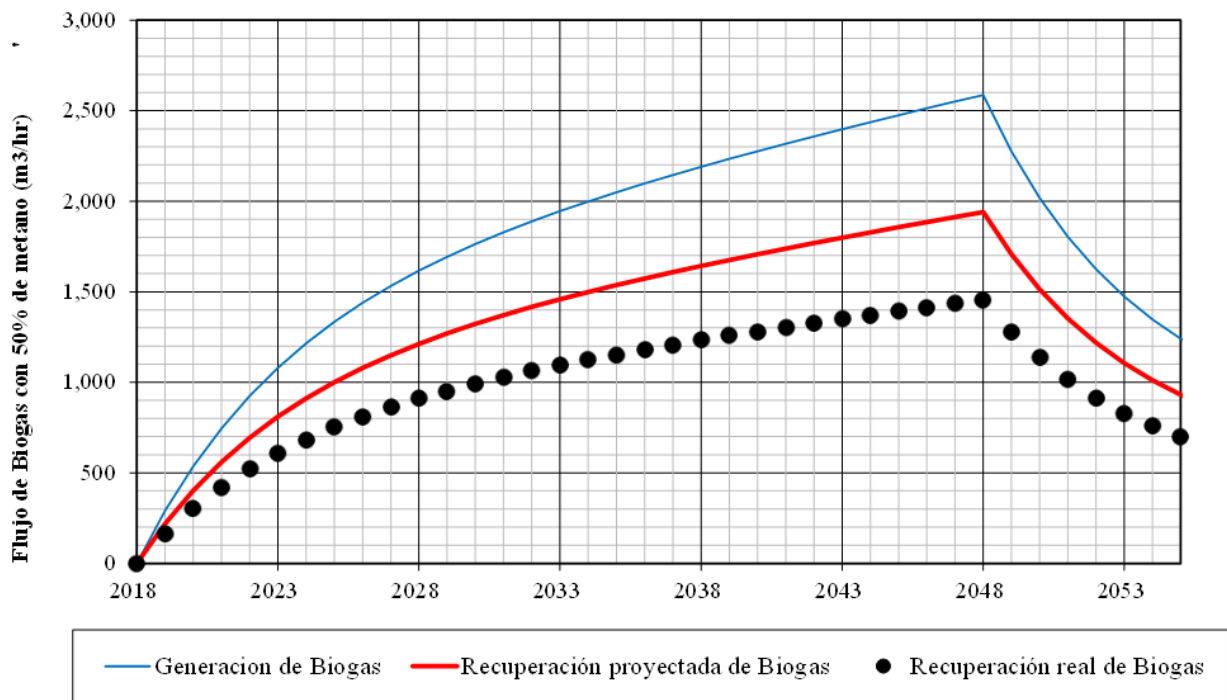


Figura 39. Resultados de la generación y recuperación de biogás.

Estas son las condiciones de operación en las cuales opera normalmente una planta de generación eléctrica de biogás.

Como se puede observar en los resultados de la tabla 18, la planta tiene una capacidad máxima de generación de energía eléctrica de 3.21 MW para el año de cierre de operaciones.

De los resultados de la figura 39 se observa que la generación de biogás aumenta en el tiempo mientras se depositan desechos sólidos en el relleno sanitario hasta una cantidad máxima de generación de biogás de 2,587 m³/h al momento del cierre de operaciones.

3.2.4 Simulación para clima húmedo (precipitaciones $\geq 1,000$ mm/año).

Para clima húmedo se selecciona un valor de precipitaciones arriba de 1,000 mm/año por lo cual se elige el valor que corresponde a las precipitaciones promedio anuales en El Salvador las cuales son: **1,867 mm/año**.

Este tipo de clima es el más propicio para la generación de biogás debido a los altos niveles de humedad lo cual facilita la descomposición de los desechos sólidos en un relleno sanitario.

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS	
UES-Trabajo de graduación.	
País	El Salvador
¿Existen Datos de Composición de Residuos específicos al Lugar?	No
Año de Apertura:	2018
Crecimiento estimado de disposición anual:	0.5%
Precipitación Promedio Anual:	1,867 mm/año
Profundidad promedio del relleno:	20.0 m
Diseño y operación del lugar	2
Contenido de Metano en el Biogás:	50%
Factor de Corrección de Metano (MCF):	1.0
residuos orgánicos de decaimiento rápido (k):	0.23 1/año
residuos orgánicos de decaimiento lento (k):	0.027 1/año
Índice de generación final (L_0):	91.0 m ³ /Mg
Residuos orgánicos de decaimiento rápido L_0 :	67.6 m ³ /Mg
Residuos orgánicos de decaimiento lento L_0 :	189.0 m ³ /Mg

Figura 40. Ingreso de datos para simulación de clima húmedo.

Año	Índice de Disposición (Mg/año)	Residuos Acumulados (Mg)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Planeado			Capacidad Máxima Planta de Energía* (MW)	Flujo de Biogás Línea Base (m³/hr)	Estimados de Reducción en Emisiones de Metano**	
			(m³/hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)		(m³/hr)	(cfm)	(mmBtu/hr)			(tonnes CH ₄ /año)	(tonnes CO ₂ -eq/año)
2018	152,475	152,475	0	0	0.0	75%	0	0	0.0	0.000	0	0	0
2019	153,000	305,475	331	195	5.9	75%	249	146	4.4	0.411	0	780	16,373
2020	154,000	459,475	605	356	10.8	75%	453	267	8.1	0.750	0	1,422	29,865
2021	155,000	614,475	832	490	14.9	75%	624	367	11.2	1.033	0	1,958	41,110
2022	156,000	770,475	1,024	602	18.3	75%	768	452	13.7	1.270	0	2,408	50,560
2023	157,000	927,475	1,186	698	21.2	75%	889	524	15.9	1.472	0	2,789	58,577
2024	158,000	1,085,475	1,325	780	23.7	75%	994	585	17.8	1.644	0	3,116	65,446
2025	159,000	1,244,475	1,445	851	25.8	75%	1,084	638	19.4	1.794	0	3,400	71,596
2026	160,000	1,404,475	1,551	913	27.7	75%	1,163	685	20.8	1.925	0	3,648	76,609
2027	161,000	1,565,475	1,645	968	29.4	75%	1,233	726	22.0	2.041	0	3,868	81,229
2028	162,000	1,727,475	1,728	1,017	30.9	75%	1,296	763	23.2	2.145	0	4,065	85,370
2029	163,000	1,890,475	1,804	1,062	32.2	75%	1,353	797	24.2	2.239	0	4,244	89,123
2030	164,000	2,054,475	1,874	1,103	33.5	75%	1,406	827	25.1	2.326	0	4,408	92,563
2031	165,000	2,219,475	1,938	1,141	34.6	75%	1,454	856	26.0	2.405	0	4,559	95,747
2032	166,000	2,385,475	1,999	1,176	35.7	75%	1,499	882	26.8	2.480	0	4,701	98,720
2033	167,000	2,552,475	2,055	1,210	36.7	75%	1,542	907	27.5	2.551	0	4,834	101,521
2034	168,000	2,720,475	2,109	1,241	37.7	75%	1,582	931	28.3	2.617	0	4,961	104,178
2035	169,000	2,889,475	2,161	1,272	38.6	75%	1,620	954	29.0	2.681	0	5,082	106,716
2036	170,000	3,059,475	2,210	1,301	39.5	75%	1,657	976	29.6	2.742	0	5,198	109,152
2037	171,000	3,230,475	2,257	1,329	40.3	75%	1,693	997	30.3	2.801	0	5,310	111,503
2038	172,000	3,402,475	2,304	1,356	41.2	75%	1,728	1,017	30.9	2.859	0	5,418	113,781
2039	173,000	3,575,475	2,348	1,382	42.0	75%	1,761	1,037	31.5	2,914	0	5,524	115,995
2040	174,000	3,749,475	2,392	1,408	42.7	75%	1,794	1,056	32.1	2,968	0	5,626	118,153
2041	175,000	3,924,475	2,435	1,433	43.5	75%	1,826	1,075	32.6	3,021	0	5,727	120,262
2042	176,000	4,100,475	2,477	1,458	44.3	75%	1,857	1,093	33.2	3,073	0	5,825	122,327
2043	177,000	4,277,475	2,518	1,482	45.0	75%	1,888	1,111	33.7	3,124	0	5,922	124,352
2044	178,000	4,455,475	2,558	1,506	45.7	75%	1,918	1,129	34.3	3,174	0	6,016	126,341
2045	179,000	4,634,475	2,597	1,529	46.4	75%	1,948	1,147	34.8	3,223	0	6,109	128,298
2046	180,000	4,814,475	2,636	1,552	47.1	75%	1,977	1,164	35.3	3,272	0	6,201	130,223
2047	181,000	4,995,475	2,675	1,574	47.8	75%	2,006	1,181	35.8	3,319	0	6,291	132,120
2048	0	4,995,475	2,713	1,597	48.5	75%	2,035	1,197	36.4	3,366	0	6,380	133,990
2049	0	4,995,475	2,354	1,386	42.1	75%	1,766	1,039	31.6	2,922	0	5,538	116,291
2050	0	4,995,475	2,064	1,215	36.9	75%	1,548	911	27.7	2,562	0	4,856	101,967

Tabla 19. Resultados de la simulación para clima húmedo.

**Proyección de Generación y Recuperación de Biogás para clima humedo.
UES-Trabajo de graduacion.**

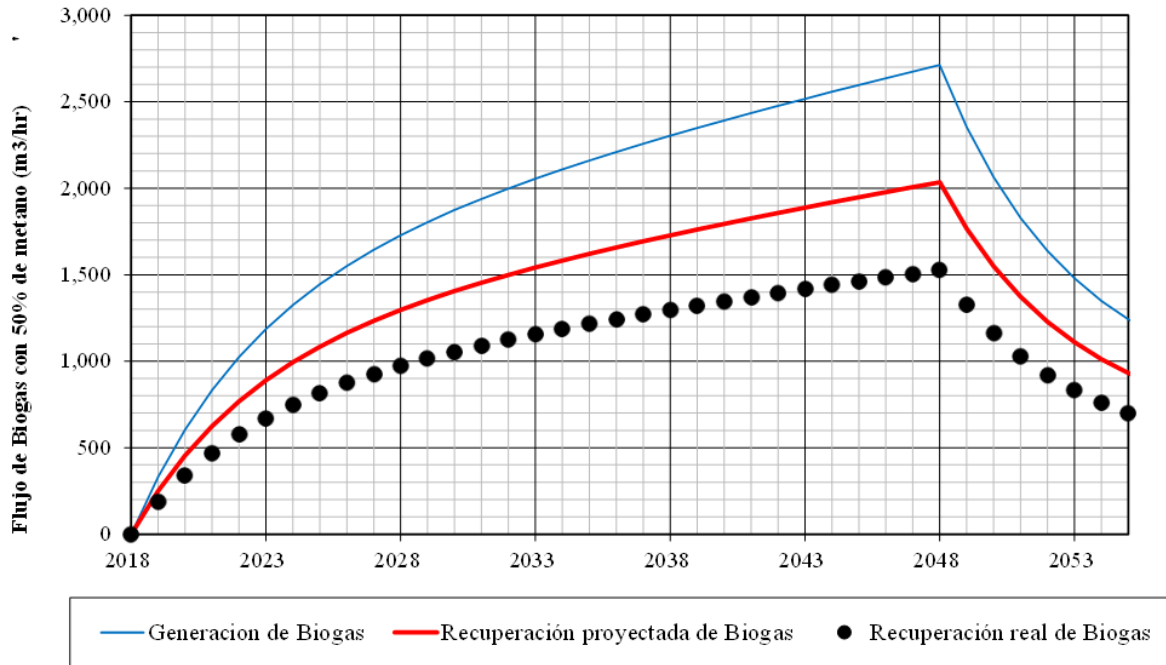


Figura 41. Resultados de la generación y recuperación de biogás.

Estas son las condiciones de operación ideal a las cuales opera una planta de generación eléctrica de biogás ya que una mayor cantidad de humedad en el ambiente ayuda a la rápida degradación de la materia orgánica en el relleno sanitario con lo cual se produce una cantidad mayor de biogás.

Como se puede observar en los resultados de la tabla 19, la capacidad generación de energía eléctrica es mayor a los dos casos anteriores alcanzando una capacidad de generación de 3.366 MW.

De la gráfica de la figura 41 se puede ver que aunque describe el mismo comportamiento que los 2 casos anteriores el pico de generación de biogás es mayor ya que alcanza un valor de generación de biogás de 2,713 m³/h.

3.3 Impacto ambiental.

Uno de los principales causantes del calentamiento global que se vive actualmente son las emisiones de gases de efecto invernadero (gei), ya que estos retienen la radiación proveniente del sol dentro de la atmosfera terrestre.

Los seis gases de efecto invernadero que se encuentran en el marco del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático son:

- ❖ Dióxido de carbono (CO₂).

- ❖ Metano (CH₄).
- ❖ Óxido nitroso (N₂O).
- ❖ Hidrofluorocarbonos (HFCs).
- ❖ Perfluorocarbonos (PFCs).
- ❖ Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Debido a que es el más abundante en la atmósfera terrestre, se toman como base las emisiones de dióxido de carbono siendo comparadas las emisiones de los demás gases en CO_{2eq}.

A continuación en la tabla 20 se muestra el potencial de calentamiento equivalente de cada gas de efecto invernadero con respecto al dióxido de carbono, además de mostrar el tiempo que tarda cada uno en desaparecer de la atmósfera.

Gas de efecto invernadero.	Potencial de calentamiento global (CO _{2eq}).	Permanencia en la atmósfera (años).
Dióxido de carbono (CO ₂).	1	5-200
Metano (CH ₄).	25	12
Óxido nitroso (N ₂ O).	298	114
Hidrofluorocarbonos (HFCs).	124-14,800	45
Perfluorocarbonos (PFCs).	7,390-12,200	260
Hexafluoruro de azufre (SF ₆).	22,800	<50,000

Tabla 20. Potencial de calentamiento y permanencia en la atmósfera de los gei.

Por lo tanto, uno de los objetivos de la generación de energía eléctrica a partir de biogás obtenido por los residuos sólidos urbanos en los rellenos sanitarios es el reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Existen 3 posibles casos en los cuales se puede calcular la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para una planta de generación de energía eléctrica en un relleno sanitario dependiendo del clima del lugar como se muestra a continuación.

3.3.1 Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en clima seco.

Este tipo de clima se da en lugares cuyas precipitaciones anuales comprendan entre 500 a 749 mm/año, por lo cual los cálculos realizados fueron para un valor intermedio el cual es de 625 mm/año.

En la tabla 3.13 se muestra la comparación de la reducción de emisiones de metano y dióxido de carbono para el caso de un relleno sanitario y un vertedero no controlado.

Año	Relleno sanitario.		Vertedero no controlado.	
	(toneladas CH ₄ /año)	(toneladas CO ₂ eq/año)	(toneladas CH ₄ /año)	(toneladas CO ₂ eq/año)
2018	0	0	0	0
2019	621	13,047	497	10,437
2020	1,155	24,257	924	19,406
2021	1,618	33,970	1,294	27,176
2022	2,020	42,428	1,616	33,943
2023	2,373	49,834	1,898	39,868
2024	2,684	56,359	2,147	45,087
2025	2,959	62,143	2,367	49,714
2026	3,205	67,305	2,564	53,844
2027	3,426	71,944	2,741	57,556
2028	3,626	76,144	2,901	60,915
2029	3,808	79,973	3,047	63,979
2030	3,976	83,490	3,181	66,792
2031	4,131	86,742	3,304	69,394
2032	4,275	89,771	3,420	71,817
2033	4,410	92,610	3,528	74,088
2034	4,537	95,287	3,630	76,230
2035	4,658	97,827	3,727	78,261
2036	4,774	100,249	3,819	80,199
2037	4,884	102,569	3,907	82,056
2038	4,991	104,803	3,993	83,843
2039	5,093	106,962	4,075	85,569
2040	5,193	109,055	4,154	87,244
2041	5,290	111,090	4,232	88,872
2042	5,385	113,076	4,308	90,461
2043	5,477	115,017	4,382	92,014
2044	5,568	116,919	4,454	93,535
2045	5,656	118,786	4,525	95,029
2046	5,744	120,621	4,595	96,497
2047	5,830	122,427	4,664	97,942
2048	5,915	124,208	4,732	99,366
2049	5,257	110,391	4,205	88,313
2050	4,701	98,712	3,760	78,970
2051	4,230	88,822	3,384	71,058

Tabla 21. Reducción de emisiones para clima seco.

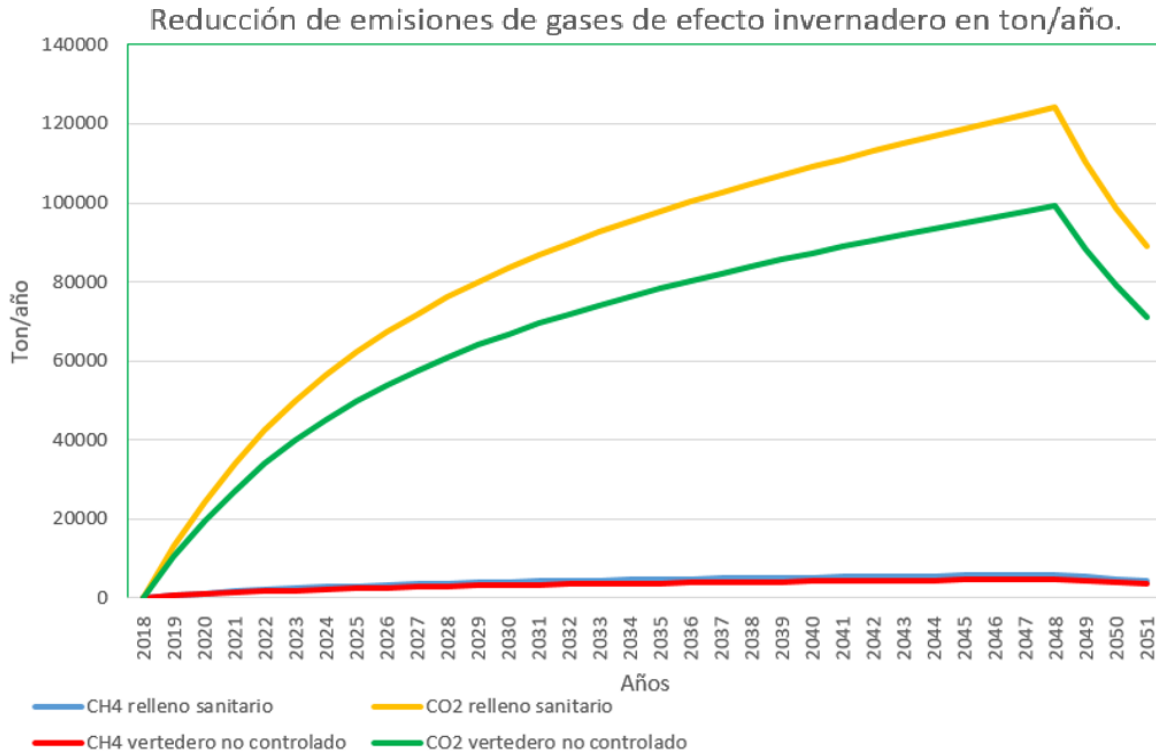


Figura 42. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en clima seco.

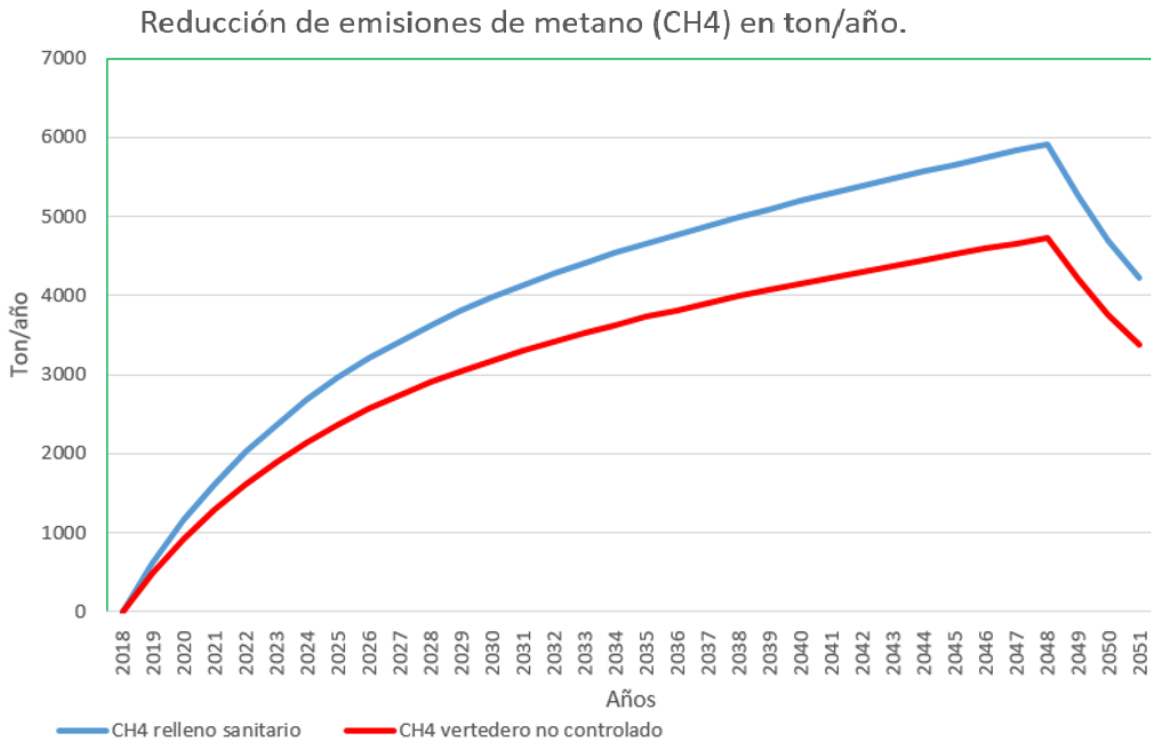


Figura 43. Reducción de emisiones de CH4 para clima seco.

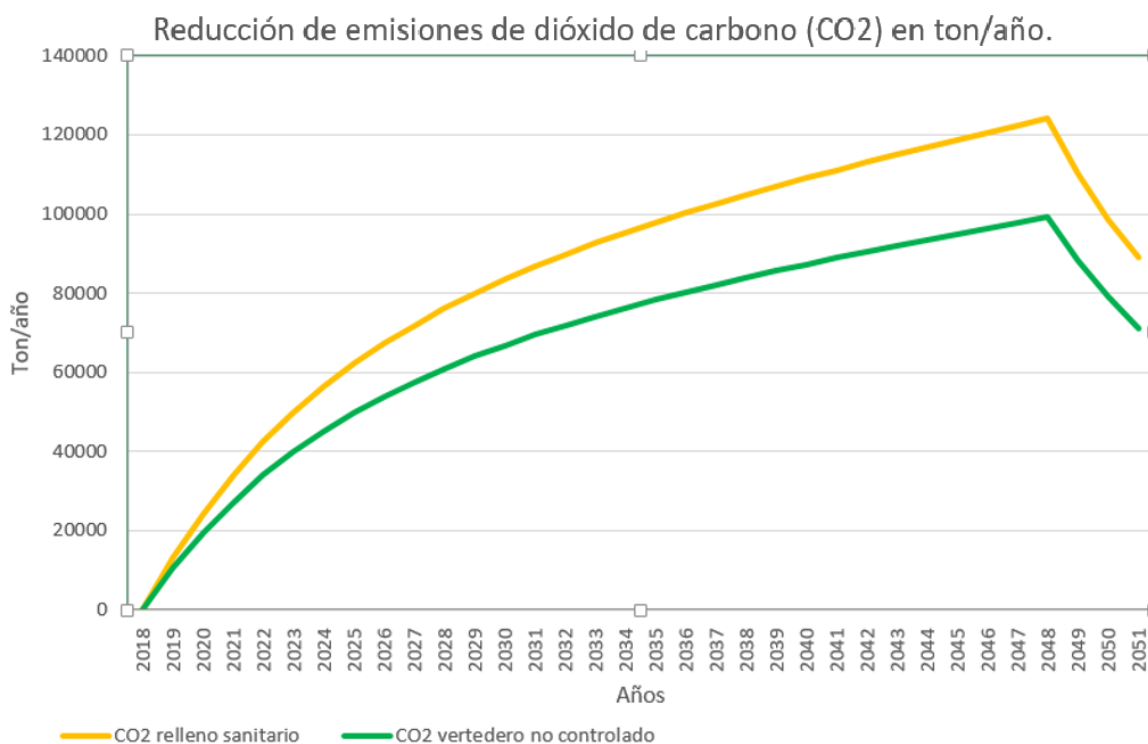


Figura 44. Reducción de emisiones de CO2 para clima seco.

3.3.2 Reducción de gases de efecto invernadero en clima moderado.

Este tipo de clima está comprendido en un rango de precipitaciones de 750 hasta 999 mm/año. Para la obtención de la reducción de emisiones se utilizó un valor de precipitaciones de 875 mm/año.

Año	Relleno sanitario.		Vertedero no controlado.	
	(toneladas CH ₄ /año)	(toneladas CO ₂ eq/año)	(toneladas CH ₄ /año)	(toneladas CO ₂ eq/año)
2018	0	0	0	0
2019	684	14,358	547	11,486
2020	1,261	26,485	1,009	21,188
2021	1,754	36,825	1,403	29,460
2022	2,176	45,697	1,741	36,557
2023	2,541	53,361	2,033	42,689
2024	2,859	60,032	2,287	48,025
2025	3,137	65,884	2,510	52,708
2026	3,384	71,063	2,707	56,850
2027	3,604	75,685	2,883	60,548
2028	3,802	79,847	3,042	63,877
2029	3,982	83,627	3,186	66,902

2030	4,147	87,092	3,318	69,673
2031	4,300	90,293	3,440	72,234
2032	4,442	93,275	3,553	74,620
2033	4,575	96,073	3,660	76,859
2034	4,701	98,717	3,761	78,974
2035	4,821	101,232	3,856	80,985
2036	4,935	103,636	3,948	82,909
2037	5,045	105,946	4,036	84,757
2038	5,151	108,176	4,121	86,541
2039	5,254	110,337	4,203	88,270
2040	5,354	112,438	4,283	89,951
2041	5,452	114,487	4,361	91,589
2042	5,547	116,489	4,438	93,191
2043	5,641	118,451	4,512	94,761
2044	5,732	120,376	4,586	96,301
2045	5,822	122,268	4,658	97,814
2046	5,911	124,130	4,729	99,304
2047	5,998	125,965	4,799	100,772
2048	6,085	127,775	4,868	102,220
2049	5,354	112,424	4,283	89,939
2050	4,747	99,677	3,797	79,742
2051	4,241	89,068	3,393	71,254

Tabla 22. Reducción de emisiones para clima moderado.

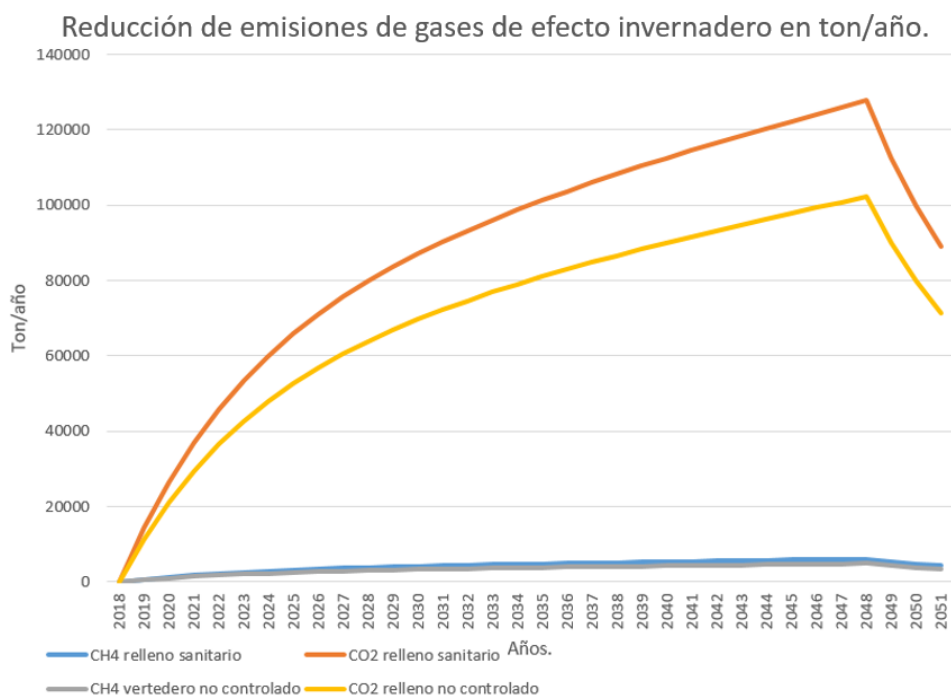


Figura 45. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para clima moderado.

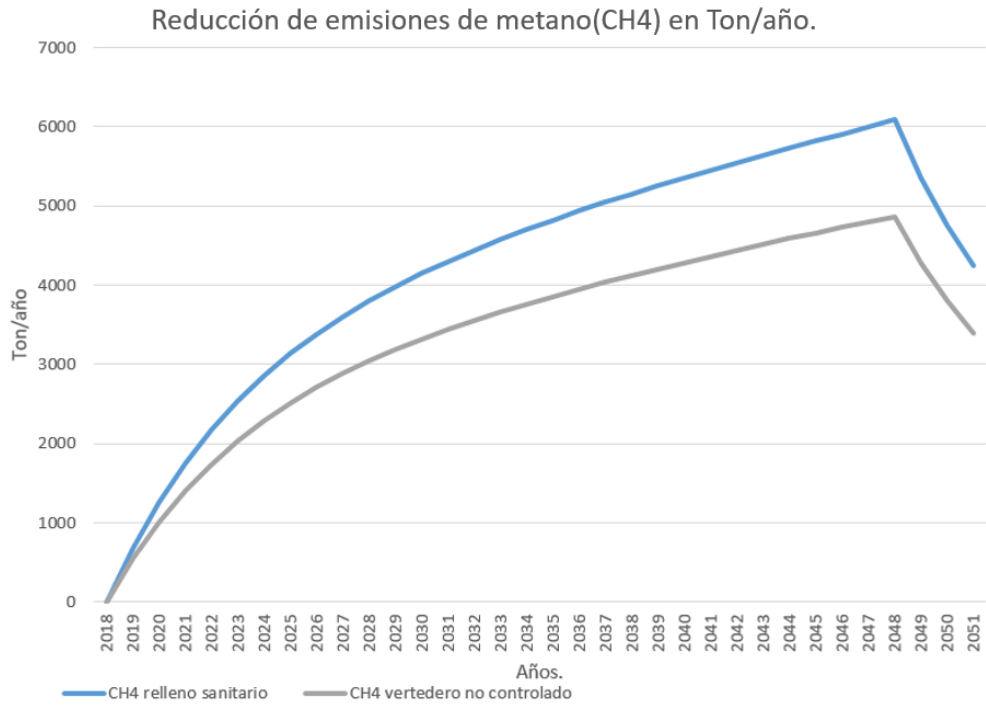


Figura 46. Reducción de emisiones de CH4 para clima moderado.

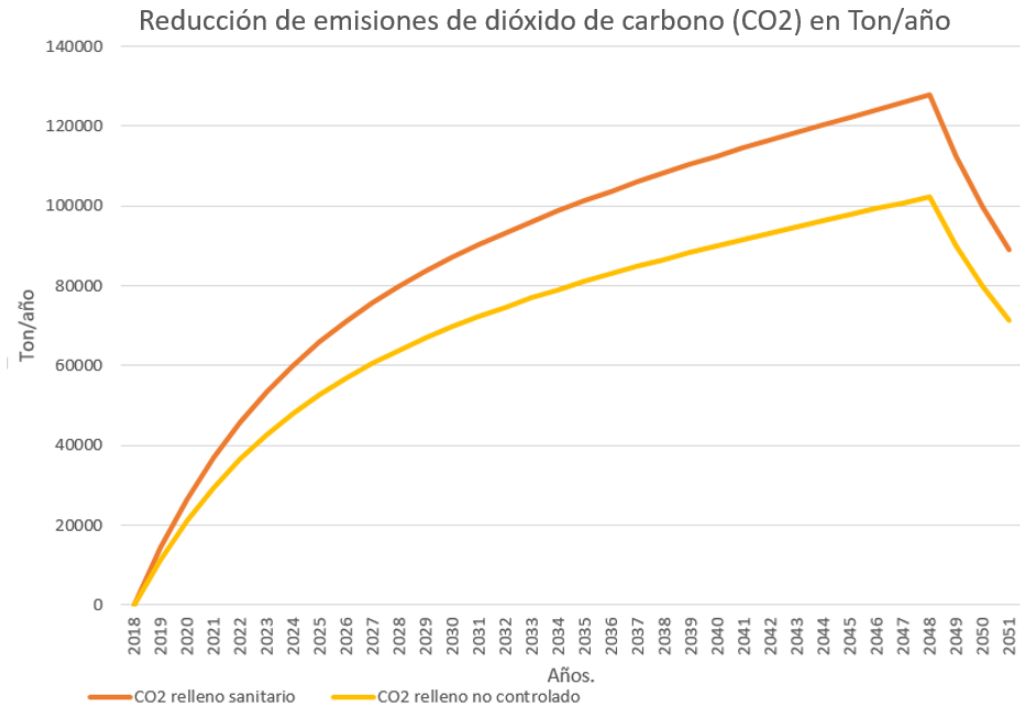


Figura 47. Reducción de emisiones de CO2 para clima moderado.

3.3.3 Reducción de gases de efecto invernadero en clima húmedo.

Este tipo de clima comprende todas las precipitaciones arriba de los 1000 mm/año. Para la obtención de la reducción de emisiones se utilizó un valor de precipitaciones de 1862 mm/año el cual es el promedio de precipitaciones anuales que se dan en El Salvador.

Este tipo de clima es el más propicio para la generación de biogás por lo cual la cantidad de emisiones de CO₂ y CH₄ es mayor a las 3 condiciones climáticas anteriores.

Año	Relleno sanitario.		Vertedero no controlado.	
	(toneladas CH ₄ /año)	(toneladas CO ₂ eq/año)	(toneladas CH ₄ /año)	(toneladas CO ₂ eq/año)
2018	0	0	0	0
2019	780	16,373	624	13,099
2020	1,422	29,865	1,138	23,892
2021	1,958	41,110	1,566	32,888
2022	2,408	50,560	1,926	40,448
2023	2,789	58,577	2,231	46,861
2024	3,116	65,446	2,493	52,357
2025	3,400	71,396	2,720	57,117
2026	3,648	76,609	2,918	61,287
2027	3,868	81,229	3,094	64,983
2028	4,065	85,370	3,252	68,296
2029	4,244	89,123	3,395	71,299
2030	4,408	92,563	3,526	74,051
2031	4,559	95,747	3,647	76,597
2032	4,701	98,720	3,761	78,976
2033	4,834	101,521	3,867	81,217
2034	4,961	104,178	3,969	83,343
2035	5,082	106,716	4,065	85,373
2036	5,198	109,152	4,158	87,322
2037	5,310	111,503	4,248	89,203
2038	5,418	113,781	4,335	91,025
2039	5,524	115,995	4,419	92,796
2040	5,626	118,153	4,501	94,522
2041	5,727	120,262	4,581	96,209
2042	5,825	122,327	4,660	97,861
2043	5,922	124,352	4,737	99,482
2044	6,016	126,341	4,813	101,073
2045	6,109	128,298	4,888	102,638
2046	6,201	130,223	4,961	104,179
2047	6,291	132,120	5,033	105,696

2048	6,380	133,990	5,104	107,192
2049	5,538	116,291	4,430	93,033
2050	4,856	101,967	3,884	81,574
2051	4,301	90,331	3,441	72,265

Tabla 23. Reducción de emisiones para clima húmedo.

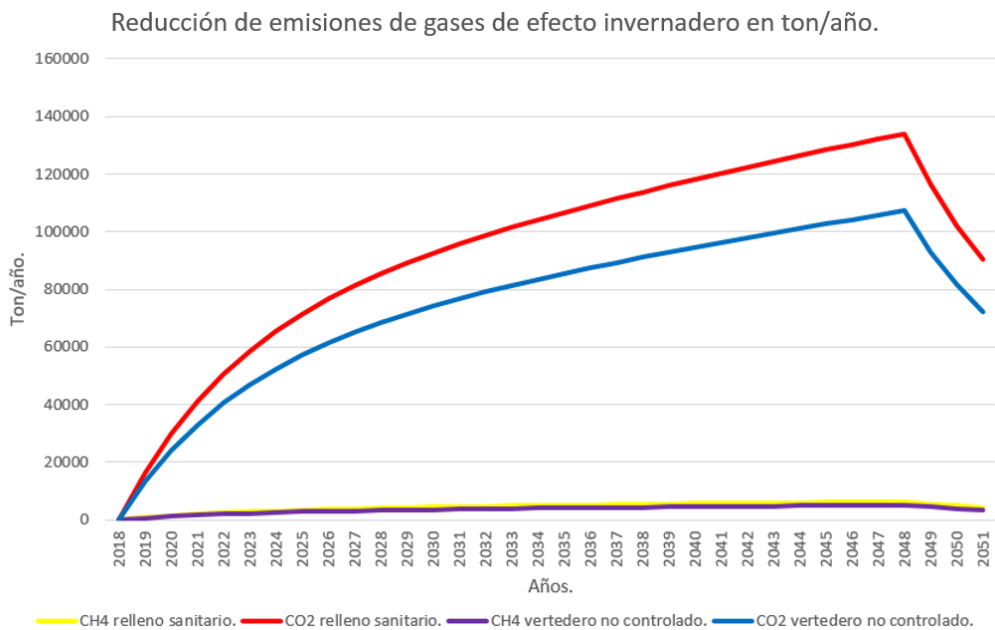


Figura 48. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para clima moderado.

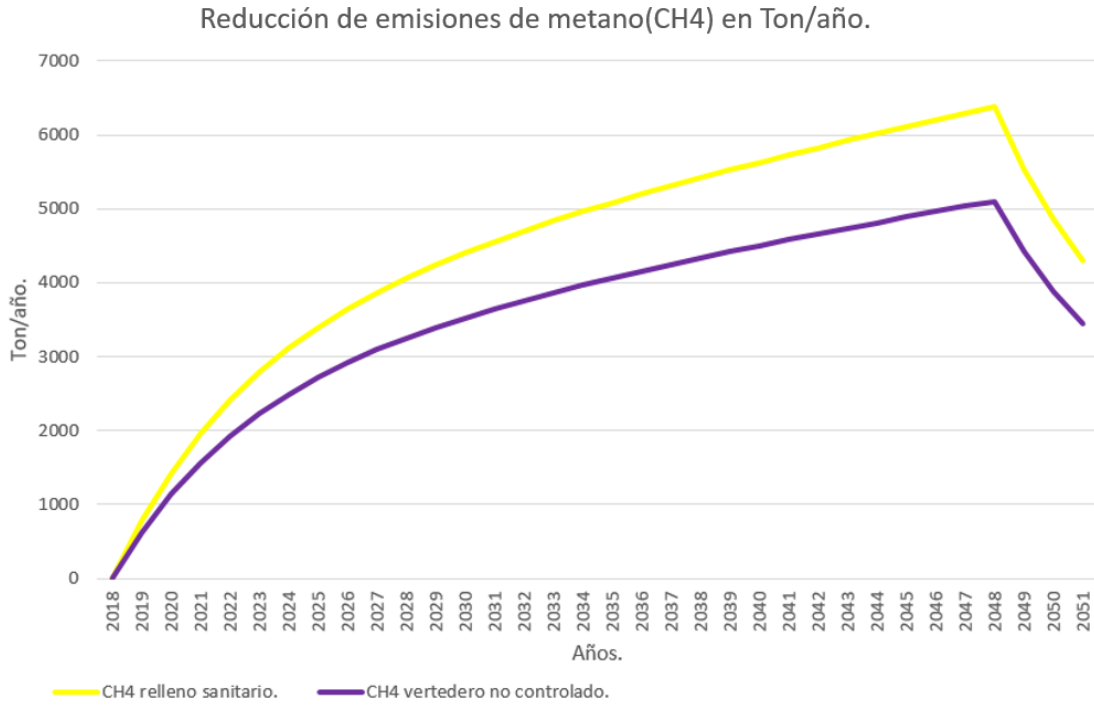


Figura 49. Reducción de emisiones de CH4 para clima húmedo.

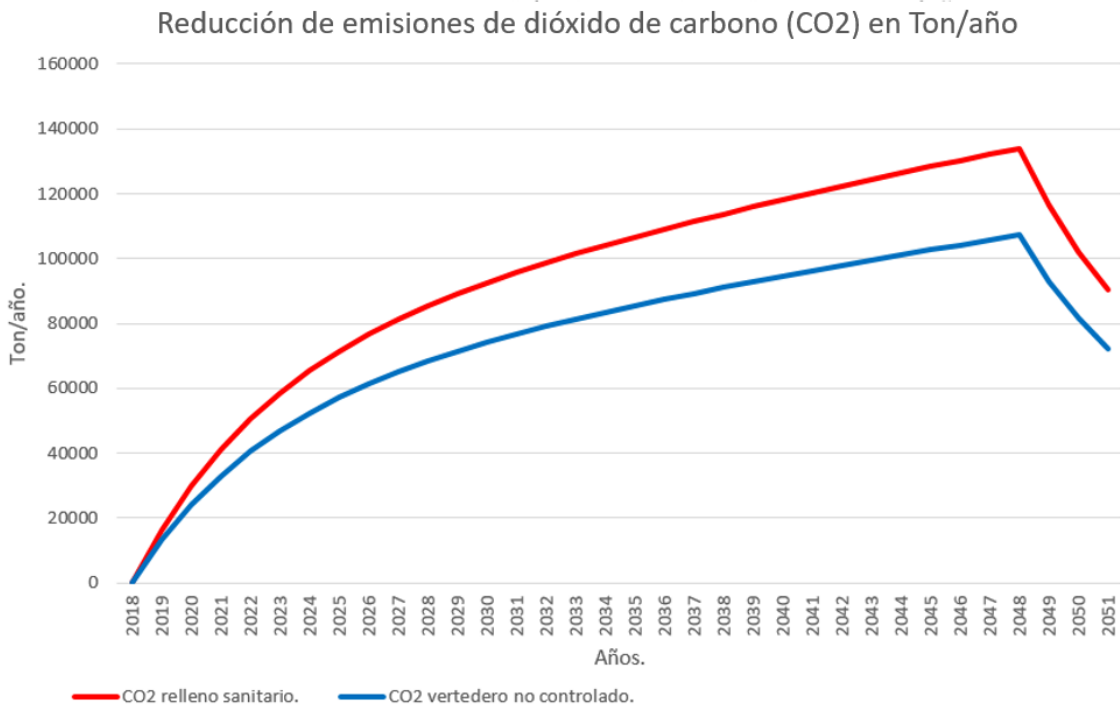


Figura 50. Reducción de emisiones de CO2 para clima húmedo.

3.4 Proyección de la capacidad de la planta en El Salvador.

Al ser un país en vías de desarrollo, El Salvador genera una gran cantidad de desechos sólidos diariamente por lo cual es necesario promover una correcta disposición de estos y al mismo tiempo promover este tipo de desperdicios como un método alternativo para generación de energía.

Además, El Salvador tiene la capacidad para explotar la generación de energía eléctrica por medio de biogás obtenido en rellenos sanitarios debido a que posee un clima favorable con un promedio de precipitaciones anuales elevado, lo cual permite una degradación más rápida de los desechos sólidos urbanos.

Por lo tanto, como se observa en las proyecciones realizadas, al utilizar la cantidades de desechos que ingresan al relleno sanitario de Sonsonate desde el año 2,018 y al realizar una estimación de los desechos que ingresarán en un periodo de 30 años con un incremento anual de 0.5% en la cantidad de residuos sólidos, se pudo observar es posible alcanzar una generación de 3.3 MW para dicho periodo de tiempo como se muestra a continuación.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2018	0.000
2019	0.411
2020	0.750
2021	1.033
2022	1.270
2023	1.472
2024	1.644
2025	1.794
2026	1.925
2027	2.041
2028	2.145
2029	2.239
2030	2.326
2031	2.405
2032	2.480
2033	2.551
2034	2.617
2035	2.681
2036	2.742
2037	2.801
2038	2.859
2039	2.914
2040	2.968

2041	3.021
2042	3.073
2043	3.124
2044	3.174
2045	3.223
2046	3.272
2047	3.319
2048	3.366

Tabla 24. Proyección de la planta para un periodo de 30 años.

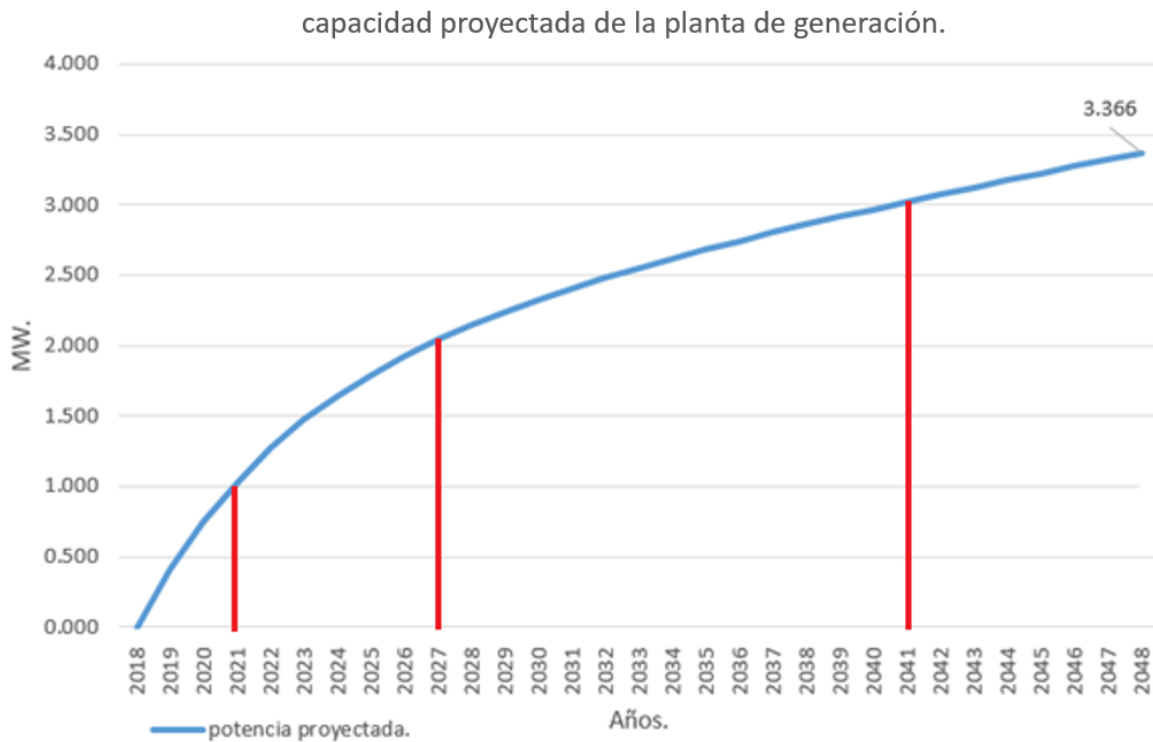


Figura 51. Proyección de la capacidad de la planta generadora.

Si bien, la potencia que se puede generar es baja al tomar en cuenta el intervalo de tiempo en el cual se puede alcanzar esa cantidad de generación, se debe tener en cuenta que el incremento es gradual y es mayor a más cantidad de basura depositada en el relleno sanitario. Además, uno de los objetivos de las energías renovables es la reducción del impacto ambiental que presentan los gases de efecto invernadero que se producen debido a la actividad humana.

3.5 Proyección en la generación de energía eléctrica para los rellenos sanitarios en El Salvador.

Para realizar la proyección de la energía eléctrica que se pueden generar en los distintos rellenos sanitarios que hay en el país se utiliza el valor promedio de precipitaciones anuales, la cual es de 1867 mm/año.

Se utilizan las cantidades anuales de desechos sólidos urbanos proporcionados por el MARN para el año 2,015 y se utiliza un incremento en la cantidad de desechos del 0.5% anual.

Relleno sanitario.	Total depositado (ton/año).
San Francisco Menéndez.	4,167.53
Atiquizaya.	8,068.15
Santa Ana.	79,504.71
La Libertad.	56,241.83
CAPSA.	145,024.06
MIDES.	691,221.48
Corinto.	2,405.50
SOCINUS.	67,260.44
San Miguel.	46,453.91
ASINORLU.	19,298.21
Suchitoto.	1,106.00
AMUSNOR.	14,003.42
AMUCHADES.	1,292.06

Tabla 25. Cantidad de RSU de los rellenos sanitarios del país.

Las proyecciones para la generación de energía eléctrica en un periodo de 30 años para cada relleno sanitario son las siguientes:

3.5.1 Relleno sanitario San Francisco Menéndez.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.011
2017	0.02
2018	0.027
2019	0.033
2020	0.038
2021	0.043
2022	0.046
2023	0.049
2024	0.052
2025	0.054

2026	0.057
2027	0.058
2028	0.06
2029	0.062
2030	0.063
2031	0.065
2032	0.066
2033	0.067
2034	0.068
2035	0.069
2036	0.07
2037	0.071
2038	0.072
2039	0.073
2040	0.074
2041	0.075
2042	0.075
2043	0.076
2044	0.077
2045	0.078

Tabla 26. Proyección de energía para San Francisco Menéndez.

capacidad proyectada de la planta de generacion.

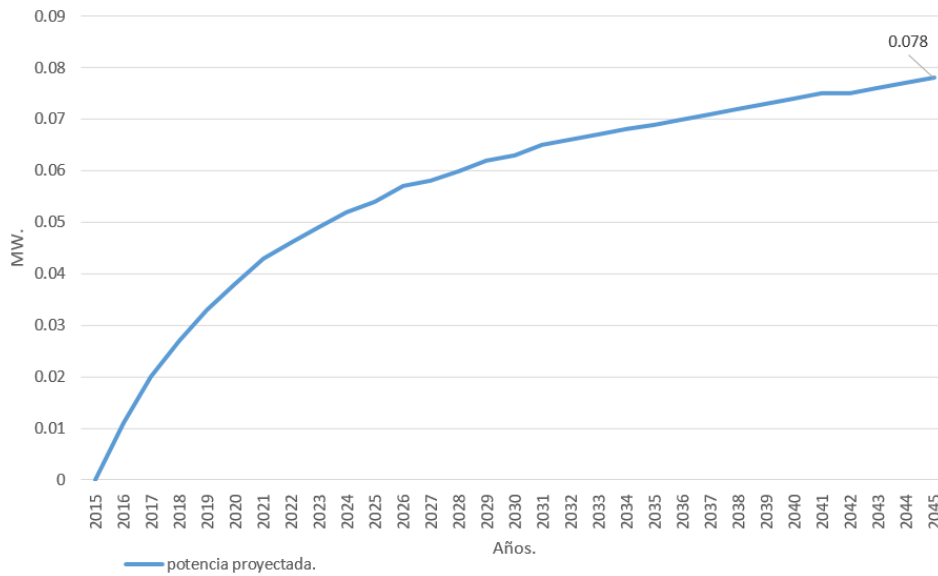


Figura 52. Proyección de energía para San Francisco Menéndez.

3.5.2 Relleno sanitario Atiquizaya.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.022
2017	0.039
2018	0.054
2019	0.066
2020	0.076
2021	0.085
2022	0.092
2023	0.098
2024	0.104
2025	0.109
2026	0.113
2027	0.117
2028	0.12
2029	0.123
2030	0.126
2031	0.129
2032	0.131
2033	0.134
2034	0.136
2035	0.138
2036	0.14
2037	0.142
2038	0.144
2039	0.146
2040	0.147
2041	0.149
2042	0.151
2043	0.152
2044	0.154
2045	0.155

Tabla 27. Proyección de energía para Atiquizaya.

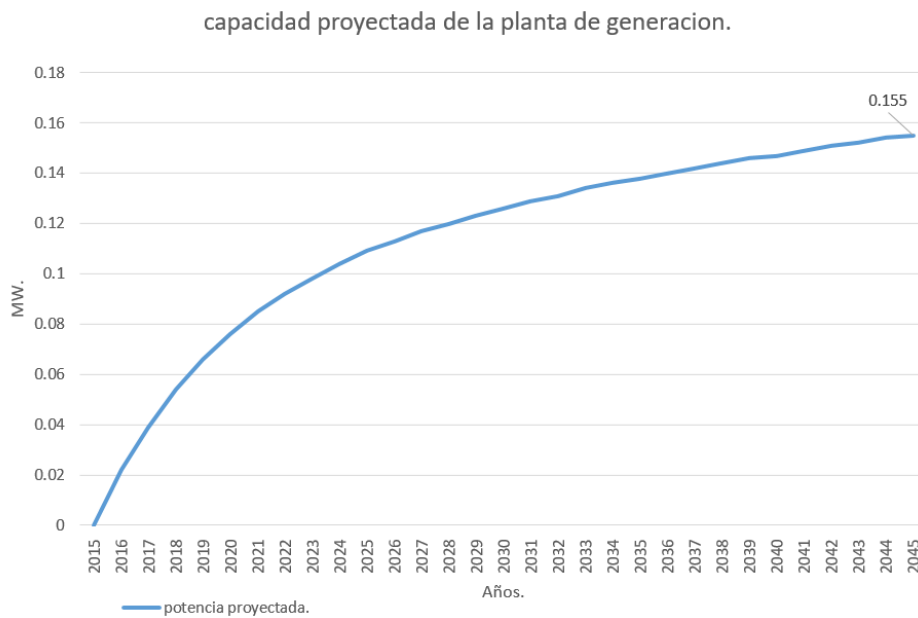


Figura 53. Proyección de energía para Atiquizaya.

3.5.3 Relleno sanitario de Santa Ana.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.214
2017	0.392
2018	0.538
2019	0.66
2020	0.762
2021	0.848
2022	0.921
2023	0.984
2024	1.039
2025	1.087
2026	1.129
2027	1.167
2028	1.202
2029	1.233
2030	1.262
2031	1.289
2032	1.314
2033	1.338
2034	1.36
2035	1.381

2036	1.401
2037	1.421
2038	1.439
2039	1.457
2040	1.474
2041	1.491
2042	1.507
2043	1.522
2044	1.537
2045	1.552

Tabla 28. Proyección de energía para Santa Ana.
capacidad proyectada de la planta de generacion.

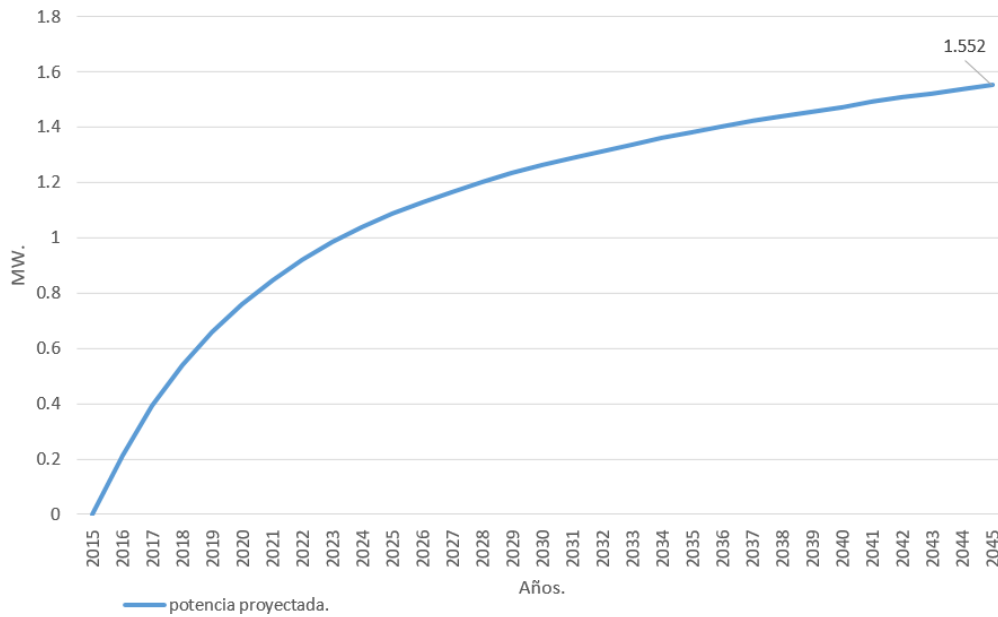


Figura 54. Proyección de energía para Santa Ana.

3.5.4 Relleno sanitario de La Libertad.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.152
2017	0.278
2018	0.383
2019	0.47
2020	0.542
2021	0.604
2022	0.656
2023	0.701

2024	0.74
2025	0.774
2026	0.804
2027	0.831
2028	0.856
2029	0.878
2030	0.899
2031	0.918
2032	0.936
2033	0.953
2034	0.969
2035	0.984
2036	0.998
2037	1.012
2038	1.025
2039	1.038
2040	1.05
2041	1.062
2042	1.073
2043	1.085
2044	1.095
2045	1.106

Tabla 29. Proyección de energía para La Libertad.

capacidad proyectada de la planta de generacion.

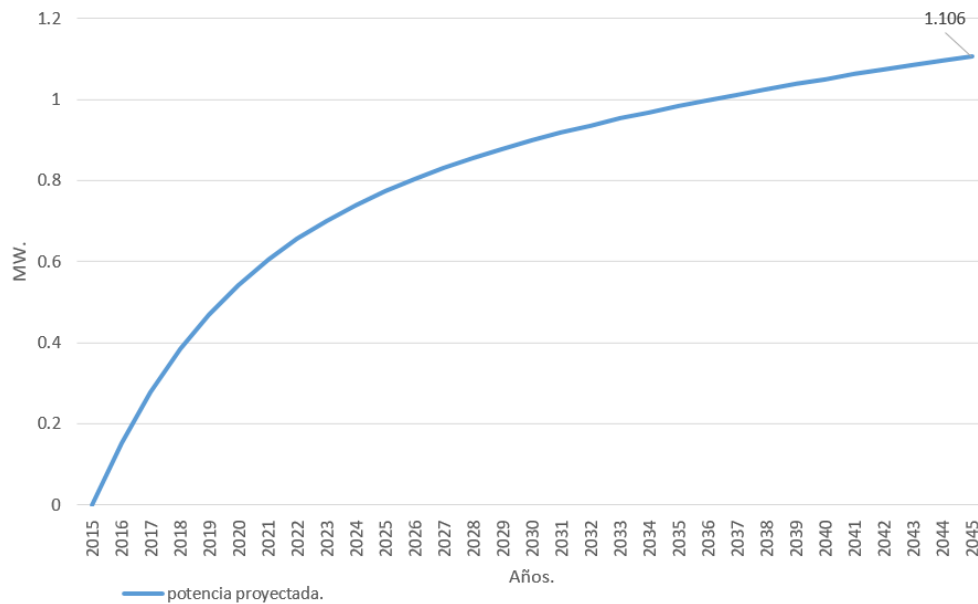


Figura 55. Proyección de energía para La Libertad.

3.5.5 Relleno sanitario CAPSA.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.391
2017	0.715
2018	0.985
2019	1.212
2020	1.404
2021	1.57
2022	1.713
2023	1.838
2024	1.95
2025	2.049
2026	2.14
2027	2.223
2028	2.3
2029	2.372
2030	2.44
2031	2.504
2032	2.566
2033	2.625
2034	2.682
2035	2.738
2036	2.791
2037	2.844
2038	2.895
2039	2.946
2040	2.995
2041	3.044
2042	3.091
2043	3.138
2044	3.185
2045	3.23

Tabla 30. Proyección de energía relleno sanitario CAPSA.

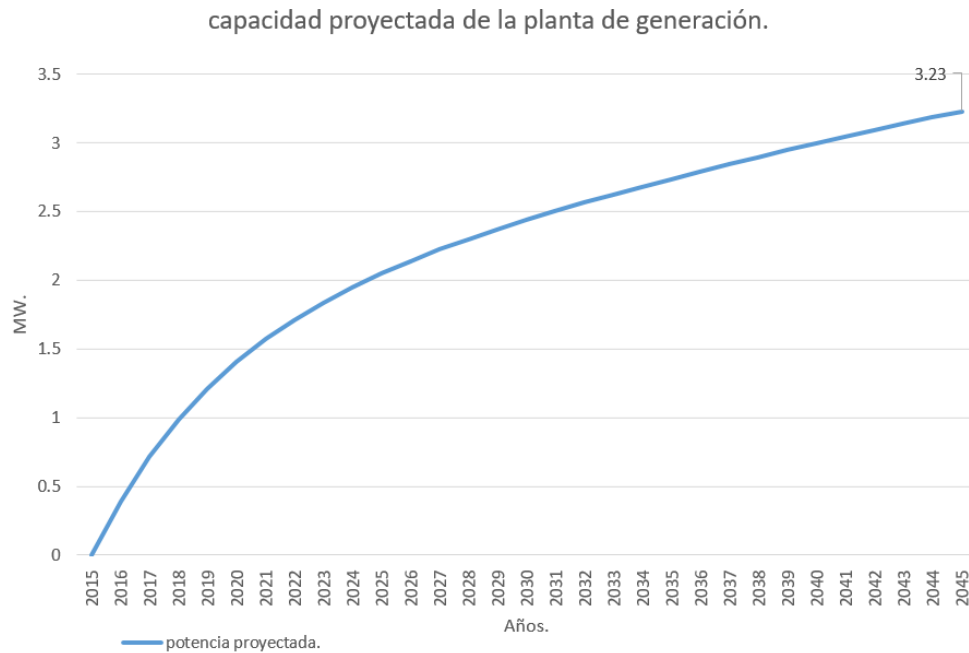


Figura 56. Proyección de energía relleno sanitario CAPSA.

3.5.6 Relleno sanitario MIDES.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	1.865
2017	3.405
2018	4.685
2019	5.756
2020	6.664
2021	7.44
2022	8.111
2023	8.698
2024	9.218
2025	9.682
2026	10.102
2027	10.486
2028	10.84
2029	11.171
2030	11.482
2031	11.776
2032	12.056
2033	12.325
2034	12.583
2035	12.834

2036	13.076
2037	13.313
2038	13.544
2039	13.769
2040	13.99
2041	14.207
2042	14.42
2043	14.629
2044	14.835
2045	15.037

Tabla 31. Proyección de energía relleno sanitario MIDES.

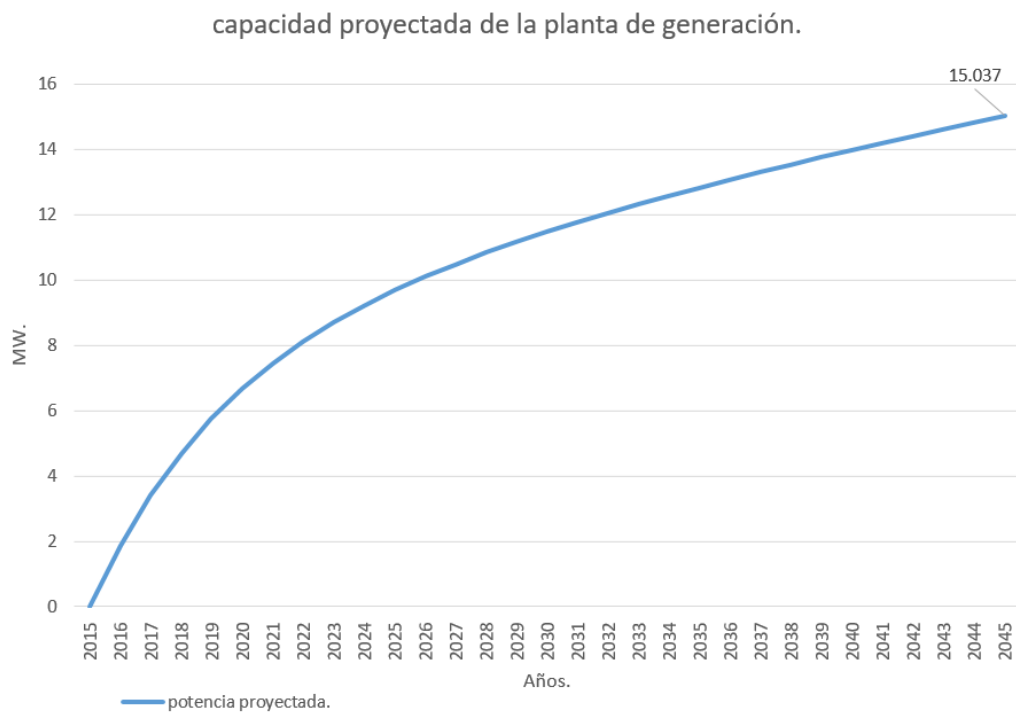


Figura 57. Proyección de energía relleno sanitario MIDES.

3.5.7 Relleno sanitario de Corinto.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.006
2017	0.011
2018	0.014
2019	0.017
2020	0.02
2021	0.022
2022	0.023

2023	0.025
2024	0.026
2025	0.027
2026	0.028
2027	0.029
2028	0.03
2029	0.031
2030	0.032
2031	0.032
2032	0.033
2033	0.034
2034	0.034
2035	0.035
2036	0.035
2037	0.036
2038	0.036
2039	0.037
2040	0.037
2041	0.037
2042	0.038
2043	0.038
2044	0.039
2045	0.039

Tabla 32. Proyección de energía para Corinto.

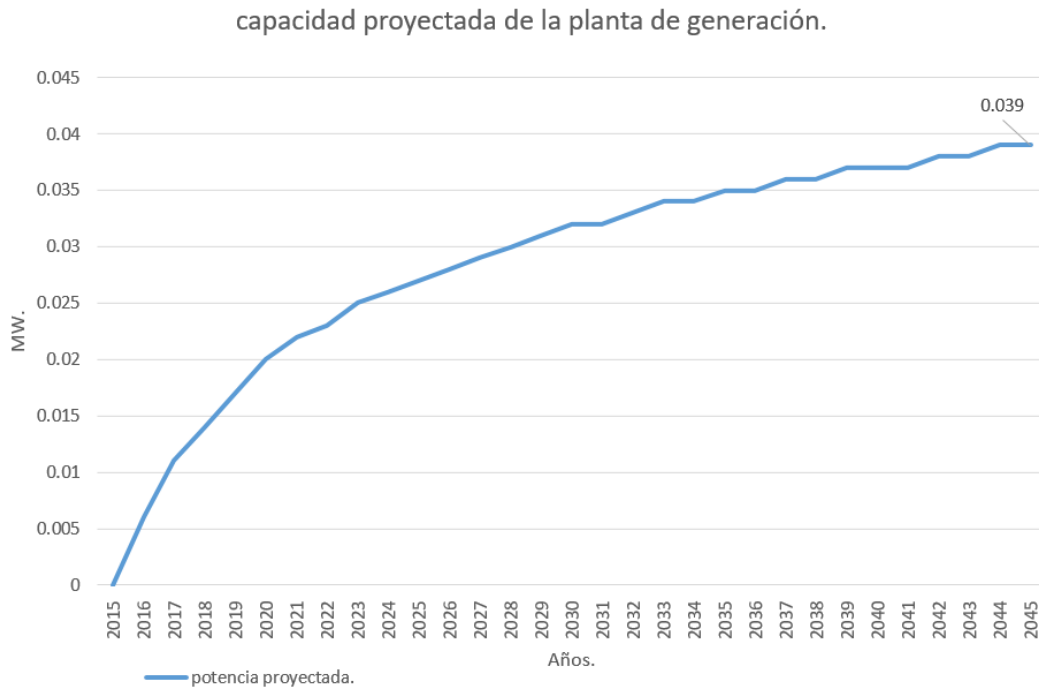


Figura 58. Proyección de energía para Corinto.

3.5.8 relleno sanitario SOCINUS.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.181
2017	0.332
2018	0.457
2019	0.56
2020	0.647
2021	0.72
2022	0.782
2023	0.836
2024	0.883
2025	0.923
2026	0.96
2027	0.992
2028	1.021
2029	1.048
2030	1.073
2031	1.095
2032	1.117
2033	1.137
2034	1.156

2035	1.174
2036	1.191
2037	1.207
2038	1.223
2039	1.238
2040	1.253
2041	1.267
2042	1.281
2043	1.294
2044	1.307
2045	1.319

Tabla 33. Proyección de energía relleno sanitario SOCINUS.

capacidad proyectada de la planta de generación.

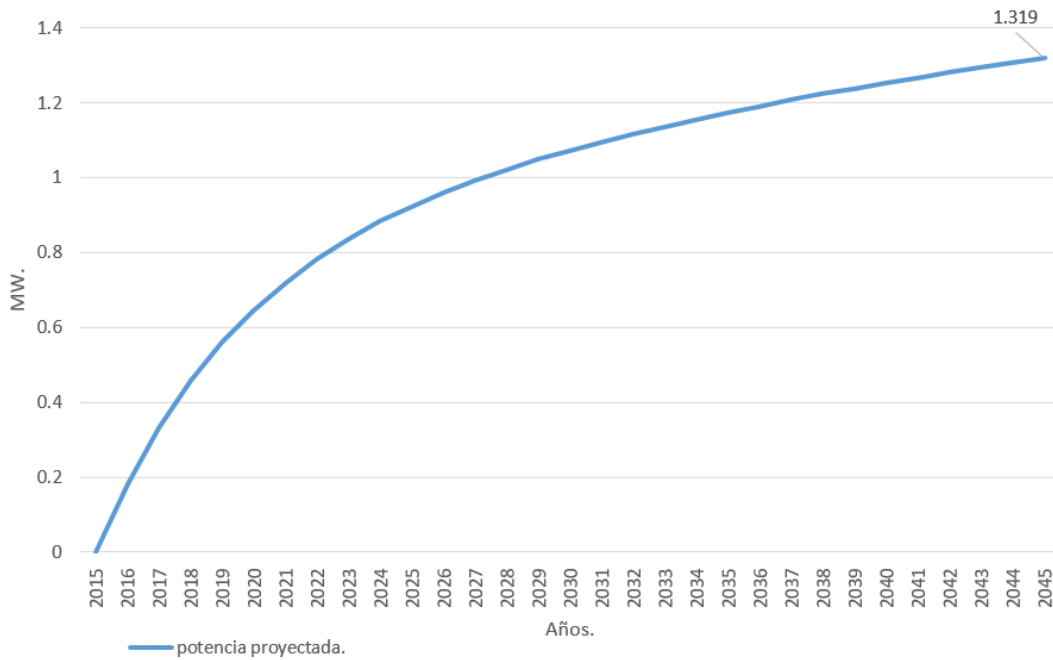


Figura 59. Proyección de energía relleno sanitario SOCINUS.

3.5.9 Relleno sanitario de San Miguel.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.125
2017	0.23
2018	0.316
2019	0.387
2020	0.447

2021	0.498
2022	0.541
2023	0.578
2024	0.61
2025	0.638
2026	0.663
2027	0.686
2028	0.706
2029	0.724
2030	0.741
2031	0.757
2032	0.772
2033	0.786
2034	0.799
2035	0.811
2036	0.823
2037	0.834
2038	0.845
2039	0.856
2040	0.866
2041	0.876
2042	0.885
2043	0.894
2044	0.903
2045	0.912

Tabla 34. Proyección de energía relleno sanitario de San Miguel.

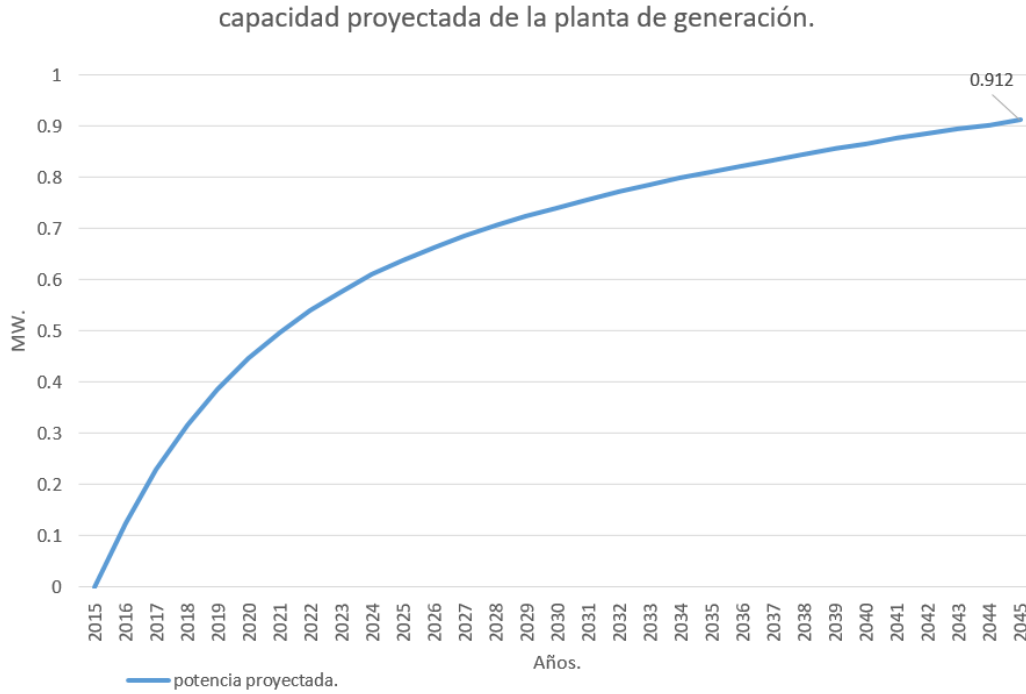


Figura 60. Proyección de energía relleno sanitario de San Miguel.

3.5.10 Relleno sanitario ASINORLU.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.052
2017	0.094
2018	0.129
2019	0.157
2020	0.181
2021	0.202
2022	0.219
2023	0.234
2024	0.247
2025	0.258
2026	0.268
2027	0.277
2028	0.286
2029	0.293
2030	0.3
2031	0.306
2032	0.312
2033	0.318

2034	0.323
2035	0.328
2036	0.333
2037	0.337
2038	0.342
2039	0.346
2040	0.35
2041	0.354
2042	0.358
2043	0.362
2044	0.365
2045	0.369

Tabla 35. Proyección de energía relleno sanitario ASINORLU.

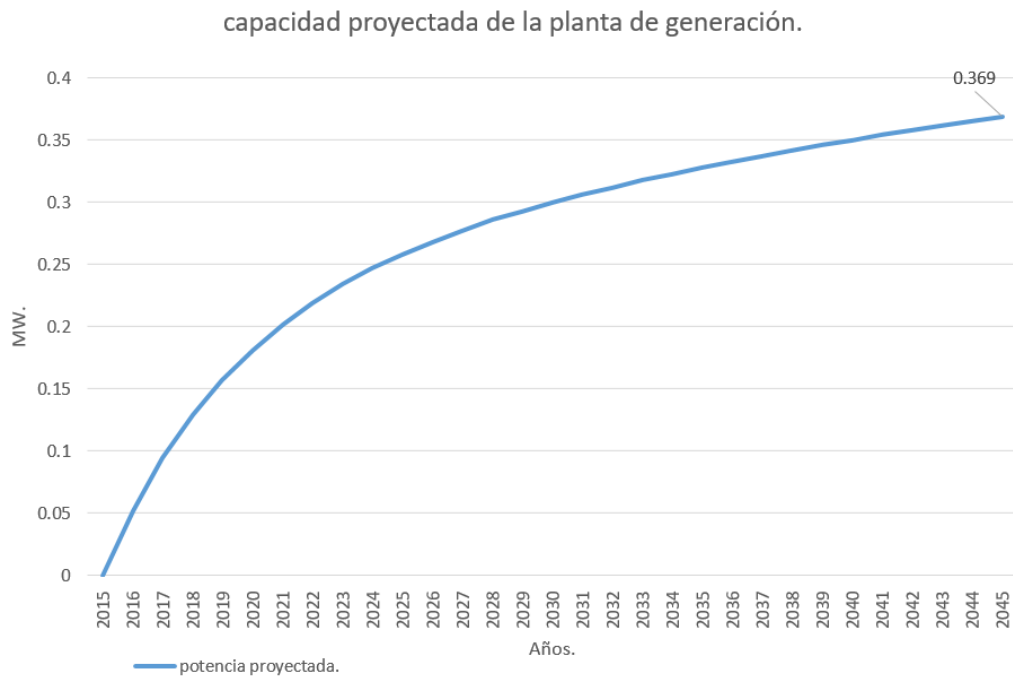


Figura 61. Proyección de energía relleno sanitario ASINORLU.

3.5.11 Relleno sanitario de Suchitoto.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.003
2017	0.005
2018	0.007
2019	0.008
2020	0.01

2021	0.011
2022	0.012
2023	0.012
2024	0.013
2025	0.014
2026	0.014
2027	0.015
2028	0.015
2029	0.015
2030	0.016
2031	0.016
2032	0.016
2033	0.017
2034	0.017
2035	0.017
2036	0.018
2037	0.018
2038	0.018
2039	0.018
2040	0.018
2041	0.019
2042	0.019
2043	0.019
2044	0.019
2045	0.019

Tabla 36. Proyección de energía relleno sanitario de Suchitoto.

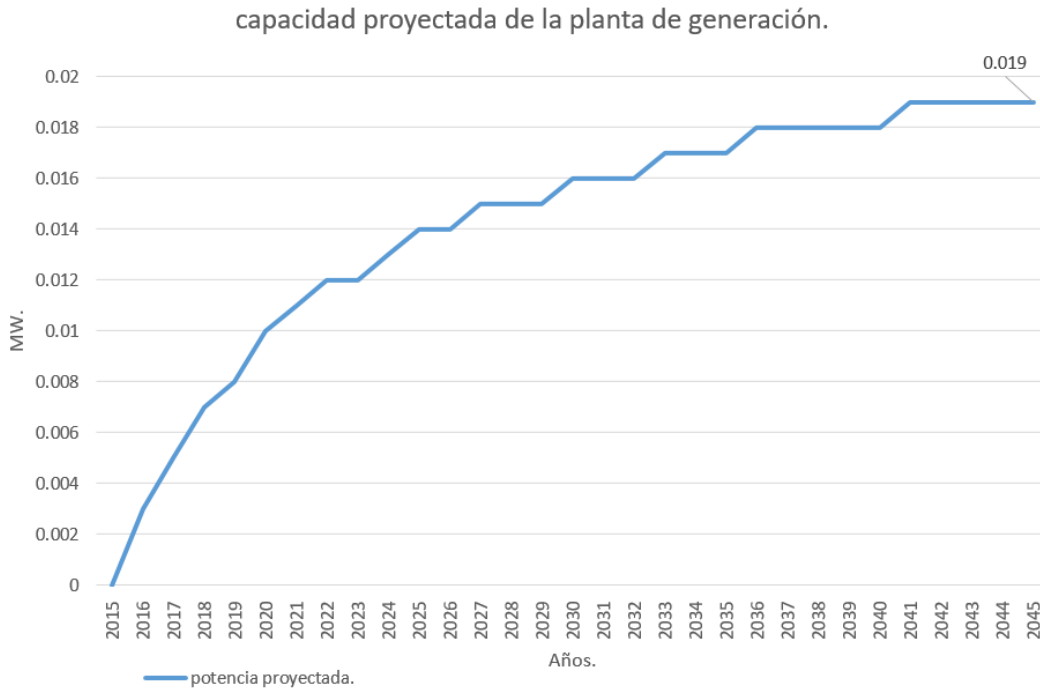


Figura 62. Proyección de energía relleno sanitario de Suchitoto.

3.5.12 Relleno sanitario AMUSNOR.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.038
2017	0.069
2018	0.094
2019	0.116
2020	0.133
2021	0.148
2022	0.161
2023	0.172
2024	0.182
2025	0.19
2026	0.198
2027	0.204
2028	0.21
2029	0.216
2030	0.221
2031	0.226
2032	0.23
2033	0.234
2034	0.238

2035	0.242
2036	0.245
2037	0.249
2038	0.252
2039	0.255
2040	0.258
2041	0.261
2042	0.264
2043	0.266
2044	0.269
2045	0.272

Tabla 37. Proyección de energía relleno sanitario AMUSNOR.

capacidad proyectada de la planta de generación.

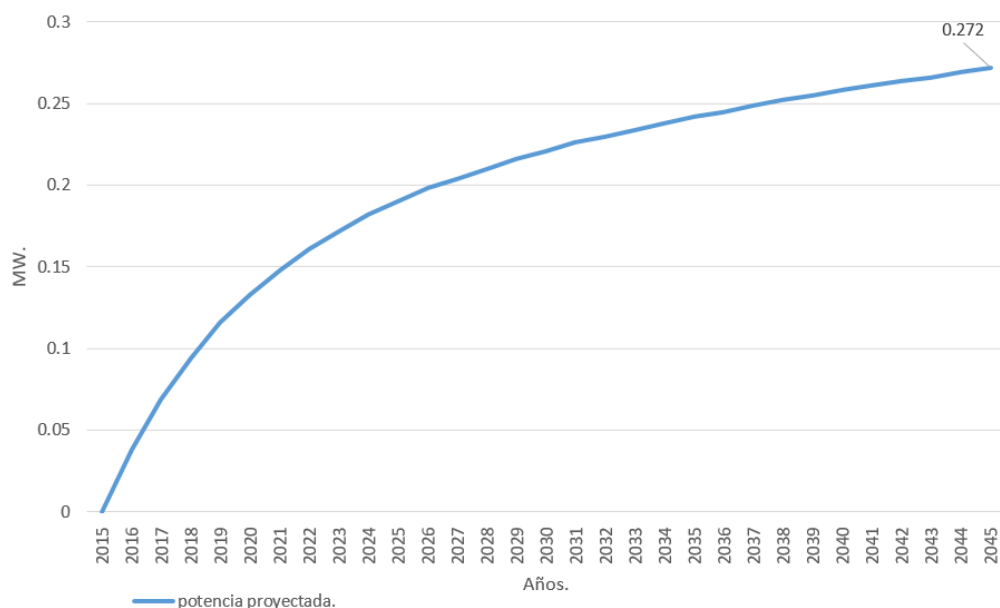


Figura 63. Proyección de energía relleno sanitario AMUSNOR.

3.5.13 Relleno sanitario AMUCHADES.

Año.	Capacidad máxima proyectada de la planta generadora (MW).
2015	0
2016	0.003
2017	0.006
2018	0.007
2019	0.009
2020	0.01
2021	0.011

2022	0.012
2023	0.013
2024	0.013
2025	0.014
2026	0.014
2027	0.015
2028	0.015
2029	0.016
2030	0.016
2031	0.016
2032	0.017
2033	0.017
2034	0.017
2035	0.017
2036	0.018
2037	0.018
2038	0.018
2039	0.018
2040	0.018
2041	0.019
2042	0.019
2043	0.019
2044	0.019
2045	0.019

Tabla 38. Proyección de energía relleno sanitario AMUCHADES.

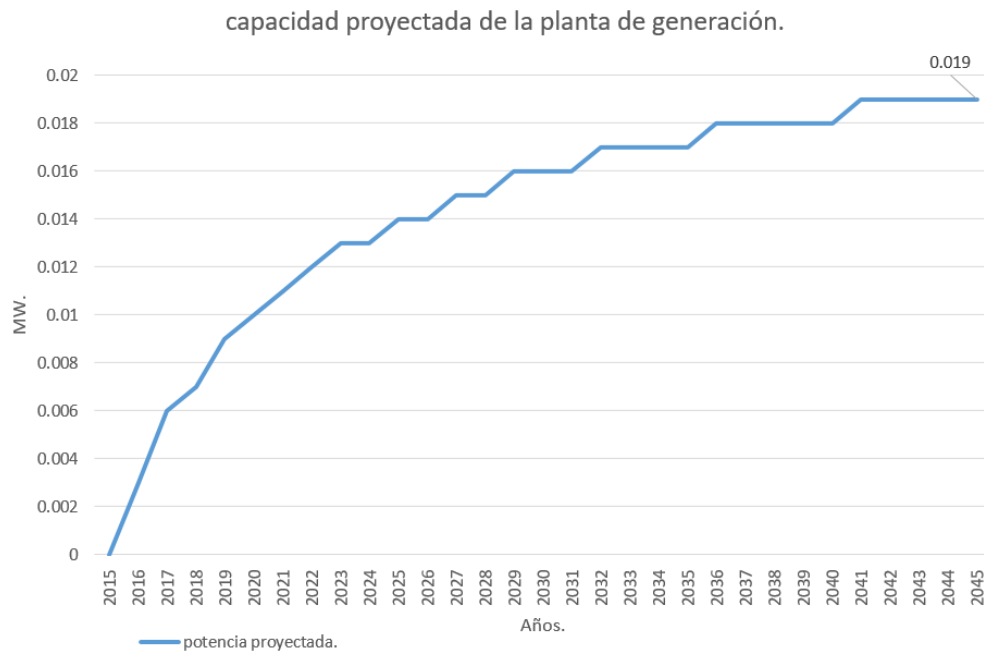


Figura 64. Proyección de energía relleno sanitario AMUCHADES.

Conclusiones.

A partir de los análisis realizados y los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que:

La explotación de energías renovables como métodos alternativos para producción de energía eléctrica se encuentra en vías de desarrollo; por lo que, el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos representa una alternativa en El Salvador no solo para disminuir el uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, sino que para mitigar el impacto ambiental que tienen los gases de efecto invernadero producidos por los desechos en los rellenos sanitarios.

El biogás posee ventaja como combustible para la generación de energía eléctrica al compararlo a otras fuentes de generación de energías renovables debido a que este no se ve afectado en gran medida por las condiciones climáticas, ya que la generación y la recuperación de biogás es constante dentro del sistema de captación de gases del relleno sanitario mientras la cantidad de desechos depositados en este sigan incrementando.

La proyección de la generación de energía eléctrica por medio de biogás posee una tendencia logarítmica, ya que la producción de energía eléctrica incrementa rápidamente al iniciar la operación de la planta con lo cual se puede llegar a producir 1 MW en los primeros 3 años de su apertura, pero esta disminuye gradualmente a medida que se estabiliza la producción de biogás dentro de la planta de captación, tardando 9 años para producir 2 MW y 23 años para poder alcanzar una producción de 3 MW dentro del intervalo de 30 años para el cual se ha realizado la proyección.

Aunque los motores de biogás posean eficiencia eléctrica baja hasta del 40% para la generación de energía eléctrica, la utilización de este como combustible es bastante favorable ya que permite generar electricidad de manera continua con lo cual se reduce la utilización de plantas generadoras tipo bunker y al mismo tiempo se reduce el impacto ambiental que producen las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los rellenos sanitarios con lo cual se puede reducir hasta 133,990 toneladas de CO₂/año y 6,380 toneladas de CH₄/año para la cantidad de desechos proyectados.

Bibliografía.

- ✚ Energy management magazine, el problema energético mundial.
<https://e-management.mx/el-problema-energetico-mundial-energias-renovables-y-cambio-climatico/>
- ✚ Colegio universitario patagónico, Crisis energética mundial.
<http://www2.ib.edu.ar/becaib/bib2006/trabajos/isgro.pdf>
- ✚ Economics for energy, sistema energético y cambio climático: prospectiva tecnológica y regulatoria, Xavier Lavandeira.
- ✚ SIGET, boletín de estadísticas eléctricas N°20 año 2018.
- ✚ Desarrollo de la energía hidroeléctrica
<https://sites.google.com/site/bmenergiahidroelectrica/desarrollo-de-la-energia-hidroelectrica>
- ✚ ERENOVABLE, energía geotérmica.
<https://erenovable.com/ventajas-e-inconvenientes-de-la-energia-geotermica/>
- ✚ Gana energía, energía eólica.
<https://ganaenergia.com/blog/ventajas-desventajas-energia-eolica/>
- ✚ ANTALA speciality chemicals, ventajas y desventajas de la energía eólica.
<https://www.antala.es/ventajas-y-desventajas-energia-eolica/>
- ✚ IPCC, fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático, 2011.
- ✚ CEPAL, istmo centroamericano: estadísticas del subsector eléctrico.
- ✚ Worldwatch Institute, The Way Forward for Renewable Energy in Central America, Adam Dolezal, Ana Maria Majano, Alexander Ochs, and Ramon Palencia, 2013.
- ✚ MARN, primer informe bienal de actualización, El Salvador 2018.
- ✚ Gestión de residuos sólidos.
https://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_residuos
- ✚ ONU, como la basura afecta el desarrollo de américa latina.
<https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

- ✚ Artículos científicos, consideraciones generales sobre la gestión de residuos sólidos en el salvador, Ing. MSc. Claudia Cecilia Leiva Bautista.
- ✚ HEURA, expertos en medio ambiente industrial.
<https://heuramedioambiente.wordpress.com/2012/04/23/que-es-la-biomasa/>
- ✚ Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles.
<http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf>
- ✚ Xavier Elías, “Reciclaje de residuos industriales, residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora”, ediciones Diaz de Santos, 2° edición, España 2009.
- ✚ Energías renovables, Biomasa, digestores anaerobios.
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf
- ✚ Energías renovables, Biomasa y digestores anaerobios.
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf
- ✚ Manual del biogás, conceptos básicos, beneficios y aplicación de sus sub productos.
https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas_01.pdf
- ✚ Manual del biogás, FAO Chile 2011.
<http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- ✚ Modelos matemáticos para la evaluación conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74687/Rodrigo%20-%20BIOLEACH%3A%20un%20modelo%20matem%C3%A1tico%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20conjunta%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20lixiviad...pdf?sequence=2>
- ✚ USEPA, manual de usuario del modelo centroamericano de biogás 2007.
https://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/lf_2007_manual_es.pdf
- ✚ USEPA, manual de usuario del modelo colombiano de biogás 2009.
<https://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/ManualdeUsuarioModeloColombiano.pdf>
- ✚ Turbinas de gas.
<http://www.cicloscombinados.com/index.php/turbinas-de-gas/las-turbinas-de-gas>

- ✚ Ciclos de trabajo y prediseño de turbomáquinas.
<https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/83058/TFG-2065-MORENO-VAQUERIZO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- ✚ Ciclo de trabajo para máquinas de vapor.
<http://www.iuntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/44/html/rankine.html>

- ✚ Motor de combustión de 4 tiempos.
<https://como-funciona.co/el-ciclo-otto/>

- ✚ Hoja de cálculo modelo centroamericano de generación de biogás,2007.
https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&act=8&ved=2ahUKewi6 Nv6w4HnAhUoq1kKHxVcAI0QFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.globalmethane.org%2Fdocuments%2Fmodels%2Fxls%2FCentralAmericaBiogasModelv2_7-4-07SPANISH.xls&usg=AOvVaw2RUyprKZbyrSYbJrNHISbt

- ✚ renewable energy, Bent Sørensen, elsevier science, third edition , 2004.

- ✚ Handbook of solid waste management, George Tchobanoglous, Frank Kreith, editorial McGRAW-HILL, second edition, 2002.

- ✚ Guía para implementación, operación y cierre de rellenos sanitarios, v.1 2010.

- ✚ USEPA, efficiency and reliability of theoretical models of biogas for landfills, 2019.
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962019000100032

- ✚ climate-data.org
<https://es.climate-data.org/america-del-norte/republica-de-el-salvador/departamento-de-san-salvador/san-salvador-1889/>

- ✚ Cambio climático y desarrollo.
<https://obccd.org/informacion-basica-2/gases-de-efecto-invernadero-co2e-co2-y-carbono/>

Anexos.

Especificaciones técnicas de generadores para biogás.



CAT® G3500

Series Gas Generator Sets



50HZ PRODUCT PERFORMANCE: BIOGAS

PHYSICAL DATA	UNITS		G3508A		G3512A	
Bore / Stroke	mm	in	170 / 190	6.7 / 7.5	170 / 190	6.7 / 7.5
Displacement	l	in ³	35.0	2105	52.0	3158
Engine Speed	rpm		1500		1500	
Length ¹⁾	mm	in	3674	145	4333	171
Width ¹⁾	mm	in	2156	85	2160	85
Height ¹⁾	mm	in	2126	84	2063	81
Dry weight genset	kg	lb	7,642	16,850	9,161	20,201
PERFORMANCE	UNITS		G3508A		G3512A	
Emission setting (NO _x) ²⁾	mg/m _a ³	g/bhp-h	500	1	500	1
Electrical power ²⁾	kW _e		457		777	
Mean effective pressure	bar	psi	12.4	180	12.4	180
Thermal output ³⁾	kW _{th}	Btu/m	716	40,726	1,310	74,480
Electrical efficiency ²⁾	%		30.1		30.8	
Thermal efficiency ³⁾	%		49.3		52.7	
Total efficiency	%		79.4		83.5	
Cat Ref. #			DTO / DM3166		DTO / DM0762	

60HZ PRODUCT PERFORMANCE: BIOGAS

PHYSICAL DATA	UNITS		G3508A		G3512A	
Bore / Stroke	mm	in	170 / 190	6.7 / 7.5	170 / 190	6.7 / 7.5
Displacement	l	in ³	35.0	2105	52.0	3158
Engine Speed	rpm		1200		1200	
Length ¹⁾	mm	in	3944	155	3944	155
Width ¹⁾	mm	in	1736	68	1736	68
Height ¹⁾	mm	in	2007	79	2126	84
Dry weight genset	kg	lb	7,619	16,800	9,161	20,201
PERFORMANCE	UNITS		G3508A		G3512A	
Emission setting (NO _x) ²⁾	mg/m _a ³	g/bhp-h	859	2	759	2
Electrical power ²⁾	kW _e		408		615	
Mean effective pressure	bar	psi	12.4	180	12.4	180
Thermal output ³⁾	kW _{th}	Btu/m	592	33,640	1,018	57,920
Electrical efficiency ²⁾	%		32.2		29.6	
Thermal efficiency ³⁾	%		45.8		48.1	
Total efficiency	%		78.0		77.7	
Cat Ref. #			DTO / DM8672		DTO / DM8651-00	

Notes

1) Transport dimensions of genset only. Accessory components must be taken into account separately.

2) Series (A, B, C-60Hz, C-50Hz-Biogas) include losses for engine-mounted JW & AC mechanical coolant pumps. Series (C-50Hz-Natural Gas, E, & H) exclude engine-mounted JW & AC pumps.

In accordance with ISO 3046/1 using standard low voltage (medium voltage for > 2000kW) generator at PF=1.0. Assumes methane number of MN80 for natural gas, MN 130 for biogas.

3) In accordance with nominal tolerances. Calculated as exhaust gas heat cooled (to 120°C) plus engine jacket water circuit heat.

^a NO_x emissions as NO_x dry exhaust gas @ 5% O₂ with 54°C (130°F) SCAC inlet temperature (48°C (118°F) for H Series). <500 mg/m³ (1.0g/bhp-h) NO_x performance available via engine setting for lean burn engines or via 3-way catalyst for rich burn engines. Ultra-low NO_x options available via SCR catalyst.

Biogas fuels (landfill gas, sewage gas, digester gas) assumed to meet published engine-in contaminant limits with minimum heating value (LHV) = 18.0 MJ/m³ (457 Btu/scf).

Natural gas fuels assumed to be mostly methane with a lower heating value (LHV) = 35.6 MJ/m³ (905 Btu/scf).

Specifications for special gases are available.

Data is representative and non-binding. Contact your Cat dealer for generator set, site and fuel-specific performance.

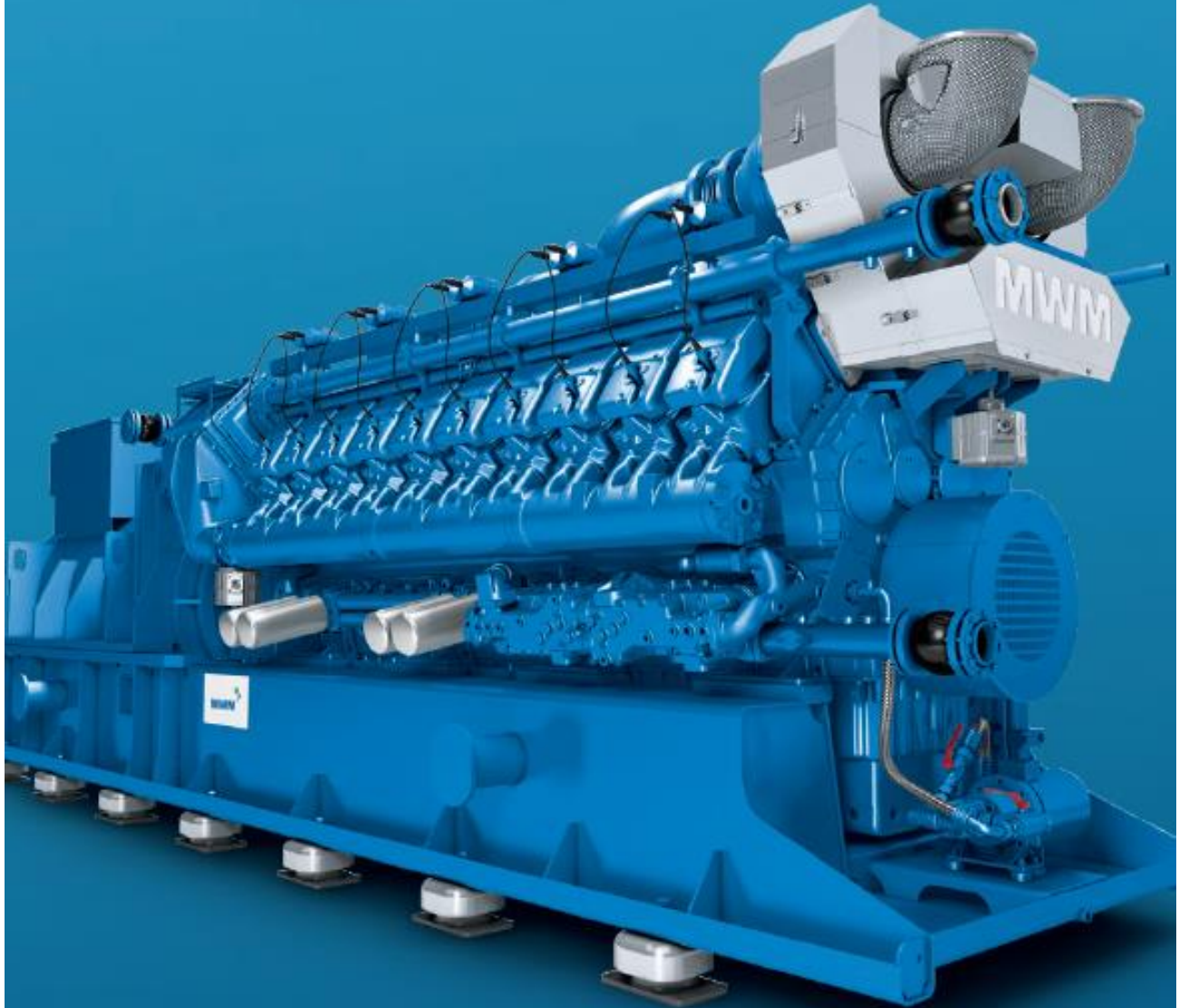
G3516A		G3516A+		G3520C	
170 / 190	6.7 / 7.5	170 / 190	6.7 / 7.5	170 / 190	6.7 / 7.5
69.0	4210	69.0	4210	86.0	5266
1500		1500		1500	
4906	193	4906	193	6316	249
2155	85	2155	85	1828	72
2051	81	2072	82	2254	89
17,824	39,303	17,778	39,200	17,826	39,306
G3516A		G3516A+		G3520C	
500	1	500	1	500	1
1041		1105		1991	
12.4	180	13.2	191	18.9	274
1,556	88,475	1,245	70,803	2,323	132,098
32.1		36.8		39.3	
47.0		41.5		44.7	
79.1		78.3		84.0	
516GE87 / DM0761-03		DT0 / S02-35-03		520GE37 / DM8647-03	

G3516A		G3516A+		G3520C		G3520C	
170 / 190	6.7 / 7.5	170 / 190	6.7 / 7.5	170 / 190	6.7 / 7.5	170 / 190	6.7 / 7.5
69.0	4210	69.0	4210	86.0	5266	86.0	5266
1200		1200		1200		1500	
4320	170	4913	193	6322	249	7557	298
2284	90	1736	68	1803	71	2170	85
1940	76	1940	76	2465	97	3212	126
12,549	27,670	12,549	27,670	17,339	38,232	22,425	49,447
G3516A		G3516A+		G3520C		G3520C	
787	2	500	1	439	1	500	1
824		1015		1622		1936	
12.4	180	15.2	221	19.4	281	18.9	274
1,266	71,985	1,145	65,125	1,665	94,704	2,322	132,049
31.0		36.1		39.8		38.7	
47.6		39.9		39.9		44.7	
78.6		76.0		79.7		83.4	
516GE71 / DM5480-00		DT0 / WG12-3500-9(02)		520GE38 / DM5859-05		520GE38 / DM8647-03	

TCG 2020

Alta calificación por la economía y el respeto al medioambiente.

Para gas natural y biogás con una generación eléctrica de 1.000 a 2.000 kW_e



MWM
Energy. Efficiency. Environment.

Datos Técnicos 60 Hz

Tipo de motor	TCG 2020	V12 K	V12	V16 K	V16	V20
Diámetro/carrera	mm	170/195	170/195	170/195	170/195	170/195
Cilindrada	dm ³	53,1	53,1	70,8	70,8	88,5
Revoluciones	rpm	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
Velocidad media del pistón	m/s	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
Largo ¹⁾	mm	5.970	5.970	6.640	6.640	7.470
Ancho ¹⁾	mm	1.790	1.790	1.790	1.790	1.710
Alto ¹⁾	mm	2.210	2.210	2.210	2.210	2.190
Peso en vacío del grupo	kg	13.000	13.000	14.900	14.900	19.800

Aplicaciones de gas natural

NO_x ≤ 500 mg/Nm³²⁾

Tipo de motor	TCG 2020	V12 K	V12	V16 K	V16	V20
Configuración		K ⁵⁾	R ⁶⁾	K ⁵⁾	R ⁶⁾	R ⁶⁾
Potencia eléctrica ³⁾	kW	1.125	1.200	1.500	1.560	2.000
Presión media efectiva	bar	17,4	18,7	17,6	18,3	18,7
Potencia térmica ⁴⁾	±8% kW	1.274	1.196	1.703	1.589	1.997
Rendimiento eléctrico ³⁾	%	40,4	43,4	40,4	43,0	43,4
Rendimiento térmico ³⁾	%	45,8	43,2	45,9	43,8	43,3
Rendimiento total ³⁾	%	86,2	86,6	86,3	86,8	86,7

Aplicaciones de biogás

NO_x ≤ 500 mg/Nm³²⁾

Gas de depuradora (65% CH₄ / 35% CO₂)

Biogás (60% CH₄ / 32% CO₂, resto de N₂)

Gas de vertedero (50% CH₄ / 27% CO₂, resto de N₂)

Valor calorífico mínimo H_U = 5,0 kWh/Nm³

Tipo de motor	TCG 2020	V12	V16	V20
Configuración		X ⁷⁾	X ⁷⁾	X ⁷⁾
Potencia eléctrica ³⁾	kW	1.200	1.560	2.000
Presión media efectiva	bar	18,7	18,3	18,7
Potencia térmica ⁴⁾	±8% kW	1.201	1.580	2.024
Rendimiento eléctrico ³⁾	%	42,7	42,3	42,7
Rendimiento térmico ³⁾	%	42,7	42,8	43,2
Rendimiento total ³⁾	%	85,4	85,1	85,9

1) Dimensiones de transporte para grupos motogeneradores, se han de tener en cuenta los auxiliares y partes sueltas correspondientes.

2) NO_x ≤ 500 mg/Nm³; gas de escape seco 5% O₂.

3) Según la norma ISO 3046-1 con U = 0,68kV, cósphi = 1,0 a 60 Hz, un número de metano de MN 80 (TCG 2020) o de MN 70 (TCG 2020K) para gas natural.

4) Refrigeración de los gases de escape a 120 °C para gas natural y a 150 °C para biogás.

5) K = Robustez. Optimizado para una mayor robustez y un menor CAPEX.

6) R = Mejor respuesta a escalones de carga. Optimizado para máximo rendimiento total.

7) X = Biogás. Optimizado para el funcionamiento con biogás.

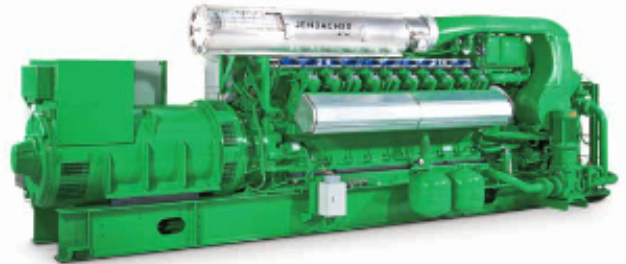
Datos para gases especiales y la operación con dos gases bajo solitud.

Los valores incluidos en estas hojas de datos tienen carácter informativo y no representan valores garantizados. Sólo serán vinculantes los datos de una oferta concreta.

Jenbacher type 4

An efficiency milestone

Based on the proven design concepts of types 3 and 6, the modern Jenbacher* type 4 engines in the 800 to 1,500 kW power range are characterized by a high-power density and outstanding efficiency. The enhanced control and monitoring provide easy preventive maintenance, high reliability and availability.



Reference installations

J420 St Bart's Hospital in London, United Kingdom

Fuel	Engine type	Electrical output	Thermal output	Commissioning
Natural gas	1 x J420	1,480 kW	1,624 kW	2015

Since 2015, one of the oldest hospitals in the UK has obtained cooling, heat and power from a single J420 unit. The 1.4 MW cogeneration unit includes a 250 kW absorption chiller that delivers cooling water to the hospital. The J420 engine is the cornerstone of a new energy center that has provided the facility with financial savings by boosting its energy efficiency, reliability and durability.



J420 Ashford Power Peaking Plant in Kent, United Kingdom

Fuel	Engine type	Electrical output	Commissioning
Natural gas	14 x J420	21 MW	2018

The electricity generating peaking plant at Ashford Power, Kings North Industrial Estate in Kent is operating 14 containerized Jenbacher J420 engines. When not in operation, the engines of this fully-automated plant wait on standby, prepared to be called upon and ramped up in less than 2 minutes.



J420 SV.CO Strijbisverbek Greenhouse in Maasdijk, the Netherlands

Fuel	Engine type	Electrical output	Thermal output	Commissioning
Natural gas	1 x J420	1,501 kW	1,996 kW	2018

The Strijbisverbek Greenhouse in Maasdijk, Netherlands, is relying on a total greenhouse CHP solution consisting of a Jenbacher J420, a complete exhaust gas system incl. catalytic reactor for CO₂ and acoustical enclosure. The energy generated in this greenhouse is used to operate its grow lights. Additionally, they are using the heat of the CHP to heat up their greenhouse in colder periods and at night.



J420 Biogas Plant in Nakornrachasima, Thailand

Fuel	Engine type	Electrical output	Commissioning
Biogas	5 x J420	7,105 kW	2012

The Chok Yuen Yong facility profits from its five J420 engines that provide reliable on-site power while also reducing electrical and energy costs. The excess electricity produced is supplied to the public grid.



JENBACHER

Technical features

Feature	Description	Advantages
Heat recovery	Flexible arrangement of heat exchanger, two stage oil plate heat exchanger on demand	- High thermal efficiency, even at high and fluctuating return temperatures
Gas dosing valve	Electronically controlled gas dosing valve with high degree of control accuracy	- Very quick response time - Rapid adjustment of air / gas ratio - Large adjustable calorific value range
Four-valve cylinder head	Enhanced swirl and channel geometry using advanced calculation and simulation methods (CFD)	- Reduced charge-exchange losses - Central spark-plug position resulting in optimal cooling and combustion conditions
Crack connecting rod	Applying a technology – tried and tested in the automotive industry – in our powerful stationary engines	- High dimensional stability and accuracy - Reduced connecting rod bearing wear - Easy to maintain

Technical data

Configuration	V 70°
Bore (mm)	145
Stroke (mm)	185
Displacement / cylinder (lit)	3.06
Speed (rpm)	1,800 / 1,200 (60 Hz) 1,500 (50 Hz)
Mean piston speed (m/s)	7.4 (1,200 1/min) 9.3 (1,500 1/min) 11.2 (1,800 1/min)
Scope of supply	Generator set, cogeneration system, generator set / cogeneration in container
Applicable gas types	Natural gas, flare gas, biogas, landfill gas, sewage gas. Special gases (e.g. coal mine gas, coke gas, wood gas, pyrolysis gas)
Engine type	J412 J416 J420
No. of cylinders	12 16 20
Total displacement (lit)	36.7 48.9 61.1

Dimensions l x w x h (mm)

Generator set	J412	5,400 x 1,800 x 2,200
	J416	6,200 x 1,800 x 2,200
	J420	7,100 x 1,900 x 2,200
Cogeneration system	J412	6,000 x 1,800 x 2,200
	J416	6,700 x 1,800 x 2,200
	J420	7,100 x 1,800 x 2,200
Container	J412	12,200 x 3,000 x 2,700
	J416	12,200 x 3,000 x 2,700
	J420	12,200 x 3,000 x 2,700
Weights empty (kg)		J412 J416 J420
Generator set	11,200	13,500 17,200
Cogeneration system	11,800	14,100 17,800

Outputs and efficiencies

Natural gas		1,500 1/min 50 Hz					1,800 1/min 60 Hz					1,200 1/min 60 Hz				
NOx ^c	Type	Pel (kW) ²	ηel (%)	Pt (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)	Pel (kW) ²	ηel (%)	Pt (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)	Pel (kW) ²	ηel (%)	(kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)
500 mg/m ³ _N	J412	901	42.9	945	45.0	88.0	851	41.2	980	47.4	88.8	634	43.0	618	41.9	84.9
	J416	1,202	43.0	1,252	44.8	87.8	1,141	41.4	1,307	47.4	88.9	845	43.0	824	41.9	84.9
	J416	1,000	42.6	1,053	44.9	87.5										
	J420	1,497	42.9	1,563	44.8	87.7	1,429	41.5	1,633	47.4	88.9	1,056	43.0	1,029	41.9	84.9
	J420	1,497	41.4	1,802	49.8	91.2										
250 mg/m ³ _N	J412	901	41.5	996	45.9	87.4	851	40.1	1,021	48.1	88.2	634	42.1	641	42.5	84.6
	J416	1,203	41.7	1,323	45.9	87.6	1,141	40.3	1,362	48.1	88.5	845	42.0	856	42.6	84.6
	J416	1,000	41.8	1,082	45.3	87.1										
	J420	1,497	41.6	1,652	45.9	87.5	1,429	40.4	1,702	48.1	88.5	1,056	41.7	1,085	42.8	84.5
	J420	1,497	40.4	1,867	50.4	90.7										

Biogas		1,500 1/min 50 Hz					1,800 1/min 60 Hz				
NOx ^c	Type	Pel (kW) ²	ηel (%)	Pt (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)	Pel (kW) ²	ηel (%)	Pt (kW) ²	ηth (%) ²	ηtot (%)
500 mg/m ³ _N	J412	749	41.8	763	42.6	84.4					
	J412	901	42.3	913	42.8	85.1	851	40.2	956	45.2	85.4
	J416	999	42.0	1,009	42.4	84.4					
	J416	1,202	42.4	1,214	42.8	85.2	1,141	40.4	1,274	45.1	85.6
	J420	1,497	42.3	1,515	42.8	85.1	1,429	40.5	1,594	45.2	85.7
250 mg/m ³ _N	J412	889	41.6	917	42.9	84.6	851	39.3	989	45.7	84.9
	J416	1,190	41.8	1,224	43.0	84.8	1,141	39.5	1,319	45.7	85.2
	J420	1,484	41.7	1,530	43.0	84.7	1,429	39.6	1,648	45.7	85.2

1) Technical data according to ISO 3046
2) Total heat output with a tolerance of +/- 8 %, exhaust gas outlet temperature 120°C, for biogas gas outlet temperature 180°C
All data according to full load and subject to technical development and modification.
Further engines versions available on request.

Datos de residuos sólidos urbanos del año 2,018 del departamento de Sonsonate.

Alcaldía Municipal de Sonsonate
Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: *Miércoles 31 Enero 2018*

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate <i>Sub total</i>	113.29	10,392.57	2.31	532.79	115.60	10925.38
2	Transferencia Lourdes						
3	Nahulingo						
4	Santa Catarina Masahuat						
5	Apaneca <i>NVO Cuscatlan</i>						
6	Teotepeque		30.82				30.82
7	San Julián <i>Hamos Biond</i>						
8	Tacuba <i>Terminos del Rio</i>		7.63				7.63
9	Juayúa		1.51				1.51
10	Sonzacate <i>Colon</i>						
11	Izalco <i>Alisal sado.</i>		175.02				175.02
12	San Pedro Puxtla		1.90				1.90
13	Santo Domingo de Guzman						
14	Cuisnahuat						
15	Acajutla						
16	Nahuizalco						
17	Chiltiupan						
18	Salcoatitan						
19	Caluco						
20	San Antonio del Monte						
21	Guaymango						
22	Jujutla						
23	Club de Playas Salinitas						
24	Lahun S.A. de C.V.						
25	Planta de Transf. Lourdes						
26	Avisali						
27	Multi inversiones ASIRA						
28	Almapac						
29	Puma						
30	Disagro						
31	Alcasa						
32	Duke Energy						
33	Aprisa						
34	Nestle						
35	Remasur						
36	Semprofes						
37	Iberplastic						
38	Daniel Bonilla						
39	Raul Edgardo Lopez						
40	Carlos Eduardo Martel						
OTROS:							
41							
42							
43		113.29	10,609.52	2.31	532.79	115.60	11,162.31

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Miércoles 28 de febrero 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate		1325.37		52.44		1377.81
2	Transferencia Lourdes		5978.89		322.30		6301.19
3	Nahulingo		68.24		4.56		72.80
4	Santa Catarina Masahuat		64.91		4.77		69.68
5	Apaneca		95.95		4.32		100.27
6	Teotepeque		29.64		2.33		31.97
7	San Julián		13.40				13.40
8	Tacuba		47.01		4.74		51.75
9	Juayúa		245.97		7.17		253.14
10	Sonzacate		470.23		22.31		492.54
11	Izalco		48.98	0.76	2.72		51.46
12	San Pedro Puxtla		5.12				5.12
13	Santo Domingo de Guzman						
14	Cuisnahuat		34.08				34.08
15	Acajutla		241.92		19.69		261.61
16	Nahuizalco		236.22		9.78		246.00
17	Chiltiupan						
18	Salcoatitan		63.10		3.43		66.53
19	Caluco						
20	San Antonio del Monte		270.82		9.75		280.57
21	Guaymango		39.08		1.86		40.94
22	Jujutla		71.12				71.12
23	Club de Playas Salinitas		126.11		3.22		129.33
24	Lahun S.A. de C.V.	0.35		0.32		0.67	
25	Planta de Transf. Lourdes		1.51				1.51
26	Avisali		11.32				11.32
27	Multi inversiones ASIRA	0.87	4.84		1.83	0.87	6.93
28	Almapac		10.23				10.23
29	Puma		0.35				0.35
30	Disagro						
31	Alcasa						
32	Duke Energy		10.78				10.78
33	Aprisa		20.65				20.65
34	Nestle	12.55				12.55	
35	Remasur		9.45				9.45
36	Semprofes		29.04		2.83		29.90
37	Iberplastic	47.49		5.87		47.36	
38	Daniel Bonilla		1.00				1.00
39	Raul Edgardo Lopez		0.41				0.41
40	Carlos Eduardo Martel		1.20				1.20
OTROS:							
41	Francisco Aguilar		15.18			15.18	
42	Rosario Chalchapa		1.51			1.51	
43	Luzio Ojeda		0.36				0.36

3785 9.636.35 6.95 481.94 94.30 10118.29

Firma: Isabel Salmeron
 Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Sabado 31 de marzo 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate						
2	Transferencia Lourdes		1,468.99		53.03		1,522.02
3	Nahulingo		6,478.42		1,541.78		6,633.26
4	Santa Catarina Masahuat		88.01				88.01
5	Apaneca		72.74				72.74
6	Teotepeque		98.28		5.21		103.49
7	San Julián		34.63				34.63
8	Tacuba						
9	Juayúa		52.65				52.65
10	Sonzacate		263.64		7.27		270.91
11	Izalco		189.69		14.07		503.76
12	San Pedro Puxtla	13.93	28.42			13.93	28.42
13	Santo Domingo de Guzman						
14	Cuisnahuat						
15	Acajutla		42.73				42.73
16	Nahuizalco		413.22		24.29		437.51
17	Chiltiupan		258.75		13.82		272.57
18	Salcoatitan						
19	Caluco ANA P. VASQUEZ		68.23				68.23
20	San Antonio del Monte		2.64				2.64
21	Guaymango		291.14		17.78		291.14
22	Jujutla		41.19				41.19
23	Club de Playas Salinitas		71.61		1.76		73.37
24	Lahun S.A. de C.V. AFAF, S.C.	0.09	115.46		10.32		125.78
25	Planta de Transf. Lourdes					0.09	
26	Avisali						
27	Multi inversiones ASIRA		11.09				11.09
28	Almapac	0.50	9.71			0.50	9.71
29	Puma		11.98				11.98
30	Disagro						
31	Alcasa LOIS Alvarado	13.71				13.71	
32	Duke Energy OIA 201	1.18				1.18	
33	Aprisa		6.36				6.36
34	Nestle		24.24				24.24
35	Remasur	14.62				14.62	
36	Semprofes		5.27				5.27
37	Iberplastic		31.67				31.67
38	Daniel Bonilla	45.01				45.01	
39	Raul Edgardo Lopez		0.45				0.45
40	Carlos Eduardo Martel		0.58				0.58
	OTROS:		3.75				3.75
41	Francis Aguilera		15.02				15.02
42	Rastro de Chakhuapa		4.45				4.45
43	Const. Acajutla		2.76				2.76
		111.27	10,467.82	302.33		111.27	10,770.15

Firma: Isabel Salmeron
Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Julio 30 1998

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate		1601.77		92.40		1694.17
2	Transferencia Lourdes		7041.01		121.87		7242.88
3	Nahulingo		92.95		9.71		103.66
4	Santa Catarina Masahuat		80.06		9.45		95.51
5	Apaneca		110.44		6.74		117.45
6	Teotepique		44.24		3.33		47.97
7	San Julián		6.50		-		6.50
8	Tacuba		58.77		5.00		63.77
9	Juayúa		288.04		13.44		305.48
10	Sonzacate		505.11		34.27		599.38
11	Izalco	13.23	75.96	0.50	3.40	13.73	79.36
12	San Pedro Puxtla ANAPINHA		0.91				0.91
13	Santo Domingo de Guzman						
14	Cuisnahuat		52.10		4.44		56.54
15	Acajutla		481.34		25.34		506.68
16	Nahuizalco		294.10		19.09		315.19
17	Chiltiupan ARMENIA	0.31				0.31	
18	Salcoatitan		81.74		5.91		87.90
19	Caluco						
20	San Antonio del Monte		295.86		16.50		312.38
21	Guaymango		115.09		1.57		416.66
22	Jujutla		103.80		5.83		109.63
23	Club de Playas Salinitas		123.16		10.08		143.24
24	Lahun S.A. de C.V. Toluca	4.04		0.77		4.81	
25	Planta de Transf. Lourdes						
26	Avisali		13.44				13.44
27	Multi inversiones ASIRA	2.63	13.62			2.63	13.62
28	Almapac		11.54				11.54
29	Puma		0.95				0.95
30	Disagro						
31	Alcasa						
32	Duke Energy ORIZABA		10.10				10.10
33	Aprisa		44.52		3.69		48.51
34	Nestle	27.98				27.98	
35	Remasur		5.78				5.78
36	Semprofes		38.24		6.01		44.25
37	Iberplastic	44.27				44.27	
38	Daniel Bonilla		1.26		0.48		2.24
39	Raul Edgardo Lopez		1.26				1.26
40	Carlos Eduardo Martel		6.50				6.50
OTROS:							
41	Francis Aguilera		20.46			20.46	
42	Asoc. Cruz Roja		15.24			15.24	
43	Miguel Ángel		0.38				0.38

128-16 19630.61 1.37 413.32, 129.43 12093.82

Firma: Asabel Salmeri
Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Junio 30 de mayo 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate		1363.72		60.44		1424.16
2	Transferencia Lourdes		10142.47		424.47		10566.94
3	Nahulingo		106.34		8.22		114.56
4	Santa Catarina Masahuat		86.66				86.66
5	Apaneca		123.75		4.78		128.53
6	Teotepetque		40.08				40.08
7	San Julián						
8	Tacuba		59.51				59.51
9	Juayúa		209.94		836		318.30
10	Sonzacate		603.08		15.33		618.41
11	Izalco	11.07	203.95		4.83	11.07	208.78
12	San Pedro Puxtla		23.94		4.25		28.19
13	Santo Domingo de Guzman		28.42				28.42
14	Cuisnahuat		43.92				43.92
15	Acajutla		486.57		19.54		506.11
16	Nahuizalco	7.61	346.14		12.27	7.61	358.41
17	Chiltiupan						
18	Salcoatitan		54.94		2.46		57.38
19	Caluco						
20	San Antonio del Monte		341.58		11.20		352.78
21	Guaymango		47.63				47.63
22	Jujutla		26.64		6.31		32.95
23	Club de Playas Salinitas		131.47		1.90		133.37
24	Lahun S.A. de C.V. (Nahuizalco)	3.50				3.50	
25	Planta de Transf. Lourdes						
26	Avisali		20.71				20.71
27	Multi inversiones ASIRA	1.07	8.02			1.07	8.02
28	Almapac		13.82				13.82
29	Puma						
30	Disagro	7.21				7.21	
31	Alcasa						
32	Duke Energy		7.99				7.99
33	Aprisa		39.78				39.78
34	Nestle	20.77				20.77	
35	Remasur		7.78				7.78
36	Semprofes		38.56		6.76		45.32
37	Iberplastic	43.53		7.00		50.53	
38	Daniel Bonilla		1.10				1.10
39	Raul Edgardo Lopez.		0.67				0.67
40	Carlos Eduardo Martel		7.14				7.14
OTROS:							
41	Francois Aguilera	21.64		1.24		22.88	
42	Coop. papuero	18.38		1.35		19.73	
43	Coop. SA de C.V.		1.82				1.82

13508 15258.76 9149 59150 144.57 15850.26

Firma: [Firma]
Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Sabado 30-Junio - 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate						
2	Transferencia Lourdes		1.783.13		627.74		1.860.87
3	Nahulingo		8.556.04		430.46		8986.50
4	Santa Catarina Masahuat		100.26				100.26
5	Apaneca		99.83				99.83
6	Teotepeque		124.84		2.98		127.82
7	San Julián		45.63				45.63
8	Tacuba		-				-
9	Juayúa		76.35				76.35
10	Sonzacate		332.15				332.15
11	Izalco		623.18		18.30		641.48
12	San Pedro Puxtla	13.51	364.48	1.31	14.71	14.82	379.19
13	Santo Domingo de Guzman		83.52				83.52
14	Cuisnahuat		36.55				36.55
15	Acajutla		49.90				49.90
16	Nahuizalco		478.02		10.63		488.65
17	Chiltiupan	5.95	339.47		12.39	5.95	351.86
18	Salcoatitan		-				-
19	Caluco <i>Armonio</i>		89.51				89.51
20	San Antonio del Monte	1.48				1.48	
21	Guaymango		325.05		11.61		336.66
22	Jujutla		50.62				50.62
23	Club de Playas Salinitas		92.43				92.43
24	Lahun S.A. de C.V. <i>Chalchicomula</i>		132.65		8.14		140.79
25	Planta de Transf. Lourdes <i>ATAF</i>	2.03		0.59		2.62	
26	Avisali	0.05	4.53			0.05	4.53
27	Multi inversiones ASIRA		14.21				14.21
28	Almapac	2.10	7.51			2.10	7.51
29	Puma		13.47				13.47
30	Disagro	8.68					
31	Alcasa					8.68	
32	Duke Energy <i>Orazul</i>		5.91				5.91
33	Apresa		38.55				38.55
34	Nestle	21.64					
35	Remasur					21.64	
36	Semprofes		4.35				4.35
37	Iberplastic		33.67				33.67
38	Daniel Bonilla	30.71				30.71	
39	Raul Edgardo Lopez		1.04				1.04
40	Carlos Eduardo Martel		0.73				0.73
	OTROS:		7.33				7.33
41	Francis Aguilar	21.63		2.60		24.23	
42	Coop. Pasquera	19.22				19.22	
43	El Cruz		8.37				8.37
		127.00	13,923.22	4.50	576.96	131.50	14500.18

Firma: Isabel Salmeron

Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: martes 31 de Julio 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate		1,780.53		59.95		1,780.48
2	Transferencia Lourdes		7,540.16		359.63		7,899.79
3	Nahulingo		116.99				116.99
4	Santa Catarina Masahuat		110.34		6.40		116.74
5	Apaneca		118.52		6.68		125.20
6	Teotepique		52.77				52.77
7	San Julián						
8	Tacuba		73.17				73.17
9	Juayúa		346.12		14.54		360.66
10	Sonzacate		631.23		26.35		657.58
11	Izalco	17.92	409.75	0.60	25.53	18.32	435.27
12	San Pedro Puxtla		51.83				51.83
13	Santo Domingo de Guzman		39.87				39.87
14	Cuisnahuat		52.61				52.61
15	Acajutla		505.84		23.10		528.94
16	Nahuizalco	1.57	341.46		13.95	1.57	355.41
17	Chiltiupan Chalchicomula	2.68				2.68	
18	Salcoatitan		96.69		6.27		102.96
19	Caluco Armonia	2.68				2.68	
20	San Antonio del Monte		337.24		17.91		352.15
21	Guaymango		50.92		2.27		53.19
22	Jujutla		100.48		5.71		106.19
23	Club de Playas Salinitas		107.94		8.16		172.60
24	Lahun S.A. de C.V.						
25	Planta de Transf. Lourdes						
26	Avisali		17.33		3.43		17.76
27	Multi inversiones ASIRA	1.62	15.75	0.13	1.06	1.75	16.91
28	Almapac						
29	Puma		2.00				2.00
30	Disagro						
31	Alcasa						
32	Duke Energy Orazul		9.70				9.70
33	Apresa		35.19				35.19
34	Nestle	16.12				16.12	
35	Remasur		3.25				3.25
36	Semprofes		38.42				38.42
37	Iberplastic	38.29				38.29	
38	Daniel Bonilla		0.79				0.79
39	Raul Edgardo Lopez		1.08				1.08
40	Carlos Eduardo Martel		5.34		6.30		5.64
OTROS:							
41	ASOC. P. S. Vera	15.93		1.22		17.15	
42	Francis Aguilar	22.86		1.75		24.61	
43	ATAF. SA. de CV.	0.10				0.10	
		119.57	12,988.91	3.70	576.29	123.27	13,565.15

Firma: Isabel Salazar
 Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Vie 21 Agosto 2015

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate		1707.43		25.19		1732.62
2	Transferencia Lourdes		8694.14		228.50		8922.64
3	Nahulingo		112.55				112.55
4	Santa Catarina Masahuat		100.57				100.57
5	Apaneca		145.03				145.03
6	Teotepeque		48.45		3.56		52.01
7	San Julián						
8	Tacuba						
9	Juayúa		86.26		4.17		90.43
10	Sonzacate		27.63				27.63
11	Izalco		619.50		13.62		633.12
12	San Pedro Puxtla	18.02	2114.62	0.26		18.28	2114.90
13	Santo Domingo de Guzman		27.13		3.89		31.02
14	Cuisnahuat		33.41		3.07		36.48
15	Acajutla		49.76				49.76
16	Nahuizalco		90.21		6.29		96.50
17	Chiltiupan	0.24	325.39		11.28	0.24	336.91
18	Salcoatitan					2.03	2.03
19	Caluco		108.76		3.60		112.36
20	San Antonio del Monte	1.69				1.69	1.69
21	Guaymango		344.62		11.08		355.70
22	Jujutla		45.10		1.97		47.07
23	Club de Playas Salinitas		49.34		4.73		54.07
24	Lahun S.A. de C.V.		150.54		3.44		153.98
25	Planta de Transf. Lourdes		1.13				1.13
26	Avisali					0.10	0.10
27	Multi inversiones ASIRA		15.00				15.00
28	Almapac	1.03	12.99			1.03	14.02
29	Puma		5.15				5.15
30	Disagro				0.68		0.68
31	Alcasa						
32	Duke Energy		3.25				3.25
33	Apresa		2198		2.98		2200.98
34	Nestle	11.49				11.49	11.49
35	Remasur		4.85				4.85
36	Semprofes		35.65				35.65
37	Iberplastic	25.80				25.80	25.80
38	Daniel Bonilla		1.62				1.62
39	Raul Edgardo Lopez		2.06				2.06
40	Carlos Eduardo Martel		0.66		0.32		0.98
OTROS:							
41							
42				0.69		18.50	19.19
43						21.54	21.54
						3.21	3.21

114.17 11406.00 1.25 339.47 115.42 114394.91

Firma: _____
 Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Sabado 29 de Septiembre 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate		1632.22		58.69		1690.91
2	Transferencia Lourdes		7427.61		237.75		7665.36
3	Nahulingo		95.98				95.98
4	Santa Catarina Masahuat		81.03				81.03
5	Apaneca		123.55				123.55
6	Teotepique		41.43				41.43
7	San Julián						
8	Tacuba		64.59				64.59
9	Juayúa		299.67		3.18		302.85
10	Sonzacate		545.15		18.84		563.99
11	Izalco	16.84	251.87	1.97	0.51	18.81	252.38
12	San Pedro Puxtla		22.74				22.74
13	Santo Domingo de Guzman		22.52				22.52
14	Cuisnahuat		40.13				40.13
15	Acajutla		490.73		10.85		501.58
16	Nahuizalco	1.99	301.31		12.55	1.99	313.86
17	Chiltiupan <i>Chiltiupan</i>	2.83		0.56		3.39	
18	Salcoatitan		81.52				81.52
19	Caluco <i>Caluco</i>	2.05				2.05	
20	San Antonio del Monte		274.72		9.99		304.71
21	Guaymango		40.26		1.55		41.81
22	Jujutla		86.83				86.83
23	Club de Playas Salinitas		139.94		6.67		146.61
24	Lahun S.A. de C.V.						
25	Planta de Transf. Lourdes <i>1736</i>	0.19				0.19	
26	Avisali		13.68				13.68
27	Multi inversiones ASIRA	1.23	12.91			1.23	12.91
28	Almapac						
29	Puma						
30	Disagro	25.42				25.42	
31	Alcasa						
32	Duke Energy <i>ORAZUL</i>		3.45				3.45
33	Apresa		22.04				22.04
34	Nestle	10.44				10.44	
35	Remasur		7.28				7.28
36	Semprofes		37.10				37.10
37	Iberplastic	23.58		6.43		33.58	
38	Daniel Bonilla		1.31				1.31
39	Raul Edgardo Lopez		0.35				0.35
40	Carlos Eduardo Martel		5.01				5.01
OTROS:							
41	Francis Aguilan	23.42		2.08		23.50	
42	ASOC. POSQUIVA	5.27				5.27	
43							

13213.52 11.04 360.55 125.84 13594.07

Firma: Isabel Salmeron
 Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Marzo 31 octubre 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate						
2	Transferencia Lourdes		1115.97		54.45		1850.42
3	Nahulingo		8204.07		251.19		5755.14
4	Santa Catarina Masahuat		105.22		0.93		107.16
5	Apaneca		54.21		9.45		64.76
6	Teotepique		102.39		5.77		119.16
7	San Julián		24.74		3.93		45.67
8	Tacuba						
9	Juayúa		71.11		6.12		77.23
10	Sonzacate		307.74		6.59		312.65
11	Izalco		641.60		2.16		643.80
12	San Pedro Puxtla	15.93	52.05		2.64	15.93	84.74
13	Santo Domingo de Guzman		32.00				32.00
14	Cuisnahuat		25.92		2.19		35.18
15	Acajutla		49.12		3.27		59.40
16	Nahuizalco		516.51		17.37		533.58
17	Chiltiupan (Chiltiupan N)	0.60	337.50		11.27	0.60	346.57
18	Salcoatitan	1.27		0.54		2.19	
19	Caluco (Chiltiupan N)		90.50		3.28		94.08
20	San Antonio del Monte	2.24				2.24	
21	Guaymango		223.68		10.76		341.41
22	Jujutla		47.62				47.62
23	Club de Playas Salinitas		42.74		2.16		44.15
24	Lahun S.A. de C.V. (Lahun S.A.)	0.20	151.70		3.71		155.70
25	Planta de Transf. Lourdes	0.20				0.20	
26	Avisali						
27	Multi inversiones ASIRA	0.29	21.45				21.45
28	Almapac		5.26			0.29	5.76
29	Puma		5.00				5.00
30	Disagro						
31	Alcasa						
32	Duke Energy (Duke Energy)		4.14				4.14
33	Aprisa		33.62				33.62
34	Nestle	15.27				15.27	
35	Remasur		5.39				5.39
36	Semprofes		34.32				34.32
37	Iberplastic	2.094				2.094	
38	Daniel Bonilla		1.80				1.80
39	Raúl Edgardo Lopez		0.61				0.61
40	Carlos Eduardo Martel		5.32				5.32
OTROS:							
41	(Lahun S.A.)	24.35				24.35	
42	(Lahun S.A.)	0.14				0.14	
43	(Lahun S.A.)	11.65		1.32		13.97	

99.58 13553.38 2.16 468.46 161.74 13833.84

Firma: Bernardo...
 Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Resumen de Desechos Recibidos

Fecha: Vieves 20 Noviembre 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate		1,555.16		60.17		1,615.33
2	Transferencia Lourdes		2,347.30		384.71		2,732.01
3	Nahulingo		43.51				43.51
4	Santa Catarina Masahuat		84.49		6.36		90.85
5	Apaneca		13.59				13.59
6	Teotepeque		14.77		2.53		17.30
7	San Julián						
8	Tacuba		66.15		4.58		70.73
9	Juayúa		224.60				224.60
10	Sonzacate		717.12		22.53		739.65
11	Izalco	15.50	47.77	0.36	3.74	11.16	127.53
12	San Pedro Puxtla		29.29		2.44		31.73
13	Santo Domingo de Guzman		29.91		1.99		31.90
14	Cuisnahuat		62.11		3.42		65.53
15	Acajutla		452.86		15.69		468.55
16	Nahuizalco	0.91	309.20		9.58	0.91	319.68
17	Chiltiupan	1.63				1.63	
18	Salcoatitan		31.41				31.41
19	Caluco	2.30				2.30	
20	San Antonio del Monte		511.10		7.33		518.43
21	Guaymango		45.96		2.5		48.46
22	Jujutla		84.72		11.41		96.13
23	Club de Playas Salinitas		160.56		4.11		164.67
24	Lahun S.A. de C.V.						
25	Planta de Transf. Lourdes						
26	Avisali		12.14				12.14
27	Multi inversiones ASIRA	1.14	5.79	0.31		1.45	7.99
28	Almapac		5.73				5.73
29	Puma		0.54				0.54
30	Disagro						
31	Alcasa						
32	Duke Energy		4.53				4.53
33	Aprisa		31.06		2.67		33.73
34	Nestle	5.54				5.54	
35	Remasur		2.98				2.98
36	Semprofes		25.06		3.18		28.24
37	Iberplastic	35.18				35.18	
38	Daniel Bonilla		1.51				1.51
39	Raul Edgardo Lopez		0.03		0.53		0.56
40	Carlos Eduardo Martel		6.17		0.44		6.61
OTROS:							
41	Francois Hernandez	26.41				26.41	
42	COOP. BENEFICIA S. CO.			6.45		6.45	
43							

92.96 15532.62 772 550.48 99.23 12083.1

Firma: [Firma]
Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate

Fecha: Quinto 31 de Diciembre 2018

N°	PROCEDENCIA	Toneladas métricas ACUMULADO ANTERIOR		Toneladas métricas DIARIO		Total General Acumulado	
		Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes	Desechos Especiales	Desechos Comunes
1	Sonsonate						
2	Transferencia Lourdes		1586.18		69.14		1655.32
3	Nahulingo		295.97		190.10		486.07
4	Santa Catarina Masahuat		84.62				84.62
5	Apaneca		72.24		596		668.24
6	Teotepeque		108.32		3.81		112.13
7	San Julián		34.34				34.34
8	Tacuba						
9	Juayúa		62.07		4.87		66.94
10	Sonzacate		297.22		15.54		312.76
11	Izalco		543.47		23.10		566.57
12	San Pedro Puxtla	21.51	71.21	3.42	6.00	23.93	83.21
13	Santo Domingo de Guzman		10.44				10.44
14	Cuisnahuat		19.78		1.93		21.71
15	Acajutla		33.66		4.00		37.66
16	Nahuizalco		427.57		19.06		446.63
17	Chiltiupan <i>Orizables</i>	1.52	298.14	0.22	21.24	1.74	319.12
18	Salcoatitan	2.15				2.15	
19	Caluco <i>Orizables</i>	2.65	74.98				77.63
20	San Antonio del Monte		236.37		13.25		249.62
21	Guaymango		29.44		2.05		31.49
22	Jujutla		71.71		3.15		74.86
23	Club de Playas Salinitas		172.97		10.59		183.56
24	Lahun S.A. de C.V.						
25	Planta de Transf. Lourdes						
26	Avisali		12.03				12.03
27	Multi inversiones ASIRA	0.23	10.22			0.23	10.45
28	Almapac		7.14				7.14
29	Puma						
30	Disagro						
31	Alcasa						
32	Duke Energy <i>ORAZUL</i>		8.13				8.13
33	Aprasa		25.47		4.22		29.69
34	Nestle	31.26	13.94			31.26	45.20
35	Remasur		5.21				5.21
36	Semprofes		25.49				25.49
37	Iberplastic	38.31				38.31	
38	Daniel Bonilla		0.52				0.52
39	Raul Edgardo Lopez		0.44				0.44
40	Carlos Eduardo Martel		3.07				3.07
OTROS:							
41	FRANCIS PEVILAR	20.46				20.46	
42	ALICIA STANA	5.07				5.07	
43							

115.16 1443.70 2.64 40.41 105.80 15878.61

Firma: Balmar 27/12/18
 Nombre y Firma del Delegado, Alcaldía Municipal de Sonsonate