



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Ampliación Del Relleno Sanitario

En La Comunidad De El Chile, Puerto Cortés

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERÍA CIVIL

PRESENTADO POR:

21341240 DAVID ELISEO NAVARRO MÉNDEZ

21111105 LILIAN MARGINY MALDONADO BARAHONA

21611146 VERÓNICA JISSEL REYES

ASESOR: ING. HECTÓR WILDREDO PADILLA SIERRA

CAMPUS SAN PEDRO SULA

OCTUBRE, 2019

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE CENTROAMÉRICA

UNITEC

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVE REYES

VICERRECTOR ACADÉMICO

DESIRÉE TEJADA CALVO

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICEPRESIDENTA CAMPUS SAN PEDRO SULA

CARLA MARÍA PANTOJA ORTEGA

JEFE ACADÉMICO CARRERA INGENIERÍA CIVIL

HÉCTOR WILFREDO PADILLA SIERRA

TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS

EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO

INGENIERO CIVIL

ASESOR METODOLÓGICO FASE I

MICHAEL JOB PINEDA CANALES

ASESOR METODOLÓGICO FASE II

HÉCTOR WILFREDO PADILLA SIERRA

ASESOR TEMÁTICO

OSCAR RENÉ CASTRO GARCÍA

MIEMBROS DE LA TERNA

DERECHOS DE AUTOR

©Copyright 2019

DAVID ELISEO NAVARRO MÉNDEZ

LILIAN MARGINY MALDONADO BARAHONA

VERÓNICA JISSEL REYES

Todos los derechos son reservados

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.

Señores:

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN (CRAI)

San Pedro Sula, Cortés, Honduras

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Nosotros, David Eliseo Navarro Méndez, Lilian Marginy Maldonado Barahona, Verónica Jissel Reyes, de San Pedro Sula autores del trabajo de grado titulado: AMPLIACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN LA COMUNIDAD DE EL CHILE, PUERTO CORTÉS), presentado y aprobado en el año 2019, como requisito previo para optar al título de Profesional de Ingeniería Civil, autorizamos a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los 07 días del mes de octubre del dos mil diecinueve.

Octubre, 2019

David Eliseo Navarro

21341240

Lilian Marginy Maldonado

21111105

Verónica Jissel Reyes

21611146

HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o Jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.

Ing. Michael Job Pineda

Asesor Metodológico UNITEC

Ing. Oscar René Castro

Asesor Temático UNITEC

Ing. Otto Flores

Coordinador de Terna

Ing. Sergio Paredes

Miembro de Terna

Ing. Edwin Turcios

Miembro de Terna

Ing. Héctor Wilfredo Padilla Sierra

Jefe Académico de Ingeniería Civil UNITEC SPS

DEDICATORIA

Dedico primeramente a Dios por permitirme alcanzar este logro. Él ha ido delante de mí día a día, en los momentos de renuncia, me ha levantado y me ha fortalecido. Dedicado a mis padres, Miguel y Luisa, los cuales han sido mi apoyo incondicional en todo momento, soportando cada idea y proyecto que se ha presentado en esta etapa formativa, y amándome a pesar de mis errores. A mi novia Mónica por siempre respaldar cada uno de mis proyectos, apoyándome en todo momento de crisis, haciéndome creer que todo es posible para el que cree. Por último, al ingeniero Michael Pineda, por dar lo mejor de sí como catedrático e ingeniero, impulsando al alumno a siempre dar lo mejor de sí mismo para poder llegar a ser un buen profesional.

David E. Navarro

En primer lugar, quiero dedicarle a Dios este proyecto por haber sido mi guía, mi soporte y mi fuerza a lo largo de la carrera. Le dedico mi tesis a mis padres Jorge Esteban Maldonado y Teresa Barahona por apoyarme en todo y por alentarme siempre a seguir adelante y estar allí para mí, también a mi hermana Stephanie Maldonado que es mi cómplice y confidente en todo, sin ellos llegar a este punto no sería posible. A mis amigos que de una u otra forma también aportaron.

Lilian M. Maldonado

Dedico este proyecto primero a Dios, por ser mi guía en todo momento y que gracias a él he podido concluir con éxito mi carrera. A mis padres, María Elena Reyes y Merling Paz por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de la carrera y por ser mi ejemplo a seguir. A mi hermana Maleny, por sus palabras de ánimo y siempre estar para mí. Sin dejar de mencionar a mis amigas Paulette y Victoria que junto a ellas viví experiencias lindas dentro y fuera del salón de clases.

Verónica J. Reyes

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de todo corazón a Dios por habernos dado la sabiduría para llegar a la etapa final de nuestra carrera universitaria, por darnos la fuerza de seguir luchando para alcanzar nuestros objetivos.

A cada uno de nuestros padres que fueron un pilar fundamental para llegar hasta aquí.

También agradecemos a la Municipalidad de Puerto Cortés por brindar su apoyo para que este proyecto se llevara a cabo, al Ing. Daniel Ortega por el tiempo que nos dedicó y por brindarnos información necesaria para realizar esta tesis.

A nuestro asesor temático, Ing. Oscar Castro, que a lo largo de la ejecución de este proyecto compartió su tiempo y también su conocimiento.

Agradecemos inmensamente la ayuda del Ing. Otto Flores que se mantuvo al tanto en el diseño de este proyecto, por compartir sus conocimientos con cada uno de nosotros.

De manera especial a nuestro asesor metodológico Ing. Michael Pineda, por habernos guiado, no solo en la elaboración de esta tesis, sino a lo largo de toda la carrera universitaria y habernos brindado el apoyo para desarrollarnos profesionalmente.

RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente informe presenta la descripción y el diseño de la ampliación del relleno sanitario para el tratamiento y manejo de los residuos sólidos de Puerto Cortés. Dicho proyecto es posible mediante un acuerdo establecido entre la Universidad Tecnológica Centroamericana, UNITEC, junto con la Municipalidad de Puerto Cortés, la cual se verá beneficiada a través del estudio y diseño preliminar.

Dentro de la descripción del relleno sanitario se encontrará el tipo de método a utilizar y las características del relleno sanitario, además de las utilidades, manejo y medidas de control que se deben de tomar en cuenta al operar un relleno sanitario.

Al mencionar la parte del diseño de la ampliación, se harán cálculos en donde se encontrará la cantidad de desechos sólidos, el volumen de desechos sólidos compactados, material de cobertura, pruebas de suelos para conocer las propiedades físicas del suelo asignado.

En este informe podrá encontrar una serie de definiciones con el propósito de lograr entender de una mejor manera lo que implica el manejo de un relleno sanitario. Así mismo, se mostrarán los criterios de calidad para un suelo impermeable con su respectivo esquema que indica como realizar una compactación correcta y elaboración de todos los planos detallados y otros trabajos para realizar el diseño. Para ello se tomó como base el manual de construcción de Jorge Jaramillo y el Manual de Construcción y Operación de Rellenos Sanitario en Honduras, elaborado por SERNA con la colaboración del gobierno de Chile.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema.....	2
	2.1 Precedentes del Problema	2
	2.2 Definición del Problema	3
	2.2.1 Enunciado del Problema	3
	2.2.2 Formulación del Problema	3
	2.3 Justificación.....	3
	2.4 Preguntas de Investigación	4
	2.5 Objetivos.....	4
	2.5.1 Objetivo General.....	4
	2.5.2 Objetivos Específicos	5
III.	Marco Teórico	6
	3.1 Análisis de la situación actual.....	6
	3.1.1 Análisis del Macro Entorno	8
	3.1.1.1 Central Breakwater, Japón	11
	3.1.1.2 Laogang, Shanghai, China	13
	3.1.1.3 Bombay, India.....	14
	3.1.2 Análisis del Micro Entorno.....	14
	3.1.2.1 Comayagua.....	15
	3.1.2.2 Gracias, Lempira.....	15
	3.1.2.3 Tela.....	16
	3.1.3 Análisis Interno.....	16

3.2 Teorías de Sustento	17
3.2.1 Gestión de Residuos Sólidos a Base del Método Fukuoka	17
3.2.2 Evaporación del Metano por Medio de Chimeneas.....	21
3.2.3. Diseño de un Relleno Sanitario	24
3.2.3.1 Métodos de construcción de un relleno sanitario	24
3.2.3.2. Método de trinchera o zanja	24
3.2.3.3. Método de área	25
3.2.4. Determinación del Análisis Granulométrico	25
3.3. Marco Conceptual.....	26
3.4. Marco Legal	28
IV. Metodología	29
4.1 Operacionalización	29
4.1.1 Diagrama de Las Variables de Operacionalización.....	31
4.1.2 Diagrama de las Variables de Operacionalización.....	33
4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	34
4.3.1 Instrumentos.....	34
4.3.2 Técnicas.....	36
4.4 Metodología de Estudio.....	37
4.8 Cronograma de Actividades.....	38
V. Resultados y Análisis	40
5.1. Ubicación del Sitio	40
5.2. Datos Generales de Diseño	40
5.3. Cantidad de Desechos sólidos	41
5.4. Volumen y Área Requerida para Desechos Sólidos.....	42

5.5. Capacidad de Volumen del Terreno Asignado.....	43
5.6. Formato Utilizado para Cálculos	43
5.7. Análisis de Cálculos	44
5.8. Funcionalidad del Relleno Sanitario.....	45
5.8.1. Preparación del Terreno	45
5.8.2. Sistema de Multicapas	45
5.9. Lixiviado y aguas de lluvia	46
5.9.1 Sistema de drenaje de lixiviados y aguas lluvias	46
5.9.2 Diseño de canal perimetral para aguas de lluvia	47
5.9.3 Cálculo de la generación de lixiviado	50
5.9.3.1 Volumen de lixiviado	51
5.9.3.2 Cálculo de tirante para lixiviados	52
53	
5.10. Sistema de Chimeneas.....	53
5.11. Pruebas de Laboratorio	56
5.12. Tanque Séptico	58
5.12.1. Volumen del Tanque Séptico.....	58
5.12.2. Dimensionamiento del Tanque Séptico	58
5.12.3. Dimensiones Reales de Tanque Séptico.....	60
5.13. Presupuesto y cantidades de obra.....	62
5.13.1. PCO	¡Error! Marcador no definido.
5.13.2. Fichas de Costo	¡Error! Marcador no definido.
Conclusiones.....	63
Recomendaciones	64

Bibliografía.....	65
Anexos.....	68

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Gráfico sobre el análisis de la situación actual.....	7
Ilustración 2- Porcentajes aportes por regiones producción mundial de RS año 2012.....	9
Ilustración 3- Proyección de la producción mundial per cápita y total de RS por regiones para los años 2012 y 2025.....	10
Ilustración 4- Relleno Sanitario Central Breakwater, ubicado en Tokio, Japón.	11
Ilustración 5- Vertedero de Laogang, Shanghai.	13
Ilustración 6- Vertedero de Deonar en Bombay, India.....	14
Ilustración 7- Relleno Sanitario de Puerto Cortés.	17
Ilustración 8- Demostración del Método Fukuoka.....	18
Ilustración 9- Traslape en la unión de impermeabilización con arcilla.	20
Ilustración 10- Chimeneas para la captación de gas.....	23
Ilustración 11- Variables de operacionalización.....	32
Ilustración 12- Estación total	34
Ilustración 13- Prisma	34
Ilustración 14- Cinta métrica.....	34
Ilustración 15- Horno.....	35
Ilustración 16- Taras metálicas.....	35
Ilustración 17- Balanza	35
Ilustración 18- Tamices	35
Ilustración 19- Dron.....	36
Ilustración 20- Reconocimiento del lugar.....	36
Ilustración 21- Uso de la estación total	36
Ilustración 22- Puntos de referencia para la topografía	37
Ilustración 23- Tamizador mecánico.....	37

Ilustración 24- Foto satelital del relleno sanitario.	40
Ilustración 25- Formato utilizado para cálculos del relleno sanitario.....	44
Ilustración 26- Sistema de multicapas.	46
Ilustración 27- Coeficiente de escorrentía.....	48
Ilustración 28 - Demostración de profundidades del tanque séptico.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 29- Relleno sanitario actual.....	68
Ilustración 30- Vista panorámica del relleno sanitario actual.....	68
Ilustración 31- Categorización ambiental del proyecto.	69
Ilustración 32- Integrantes del proyecto junto al ingeniero Ortega.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Tabla de operacionalización.....	31
Tabla 2- Diagrama de las variables de Operacionalización.....	33
Tabla 3- Metodología de estudio	38
Tabla 4- Datos Generales	41
Tabla 5- Cantidad de desechos sólidos.....	42
Tabla 6- Volumen y área requerida de desechos sólidos	42
Tabla 7- Datos de diseño de la cuenca asignada	43
Tabla 8- Datos para calcular el caudal del canal perimetral.....	47
Tabla 9- Datos para calcular el caudal para lixiviado.....	51
Tabla 10- Datos para calcular el volumen para lixiviado	52
Tabla 11 - Dimensionamiento real de tanque séptico.....	61
Tabla 12 - PCO.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 13 - Item 1.1.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 14 - Item 1.2.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 15 - Item 1.3.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16 - Item 2.1.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 17 - Item 2.2.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18 - Item 2.3.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19 - Item 2.4.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 20 - Item 3.1.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 21 - Item 3.2.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 22 - Item 3.3.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 23 - Item 4.1.....	¡Error! Marcador no definido.

Tabla 24 - Item 4.2..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 25 - Item 4.3..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 26 - Item 4.4..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 27 - Item 4.5..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 28 - Item 5.1..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 29 - Item 5.2..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 30 - Item 5.3..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 31 - Item 5.3..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 32 - Costos Indirectos..... ¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1- Cálculo de población futura.....	41
Ecuación 2-Cálculo de caudal para canal perimetral.	47
Ecuación 3- Calculo de intensidad de lluvia	48
Ecuación 4- Cálculo de caudal para lixiviado.	51
Ecuación 5- Cálculo de volumen para lixiviado.....	51
Ecuación 6 – Volumen de sedimentación.....	58
Ecuación 7 - Volumen de digestión y almacenamiento de lodos.....	58
Ecuación 8 - Área del tanque séptico.....	58
Ecuación 9 - Ancho del tanque séptico.	59
Ecuación 10 - Largo del tanque séptico.....	59
Ecuación 11 - Profundidad máxima de espuma sumergida.....	59
Ecuación 12 - Profundidad libre de lodo.	59
Ecuación 13 - Profundidad mínima requerida para la sedimentación.....	60

I. INTRODUCCIÓN

En el siguiente informe se presentará de manera formal el estudio técnico realizado para solventar la problemática que presenta actualmente el relleno sanitario de Puerto Cortés, debido a que este estaría llegando a su vida útil dentro de pocos años.

El terreno en el cual se encuentra el relleno sanitario tiene una extensión aproximadamente de diecisiete manzanas. Estas, están conformadas por múltiples cuencas que se encuentran en el sitio, cada cuenca fue diseñada para poder tener una vida útil de cuatro a ocho años de vida.

Este proyecto nace debido a la demanda de basura que ha ido aumentando a lo largo de los años consecuente del incremento poblacional, por lo que se hará el diseño geométrico y estructural a una de las cuencas que se encuentra libre de desechos.

Durante el proceso de estudio se evaluará las decisiones a tomar para llevar a cabo la ampliación del relleno sanitario. Así mismo, en el proceso constructivo se verán los movimientos de tierra que se realizaría para crear una superficie idónea para el trabajo, desde la colocación de la geomembrana, geotextil y de las diferentes capas de tierra a realizar para la compactación de la basura, el tratado de los lixiviados y los ductos para la liberación de los gases provocados por la descomposición de la basura.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ya una vez conocida la introducción del presente informe, se pretende dar a conocer la información base para plantear la problemática del proyecto y su mismo objetivo. Constando del capítulo dos, el cual incluye: precedentes del problema, definición del problema, justificación, preguntas de investigación y los objetivos. Todos estos elementos ayudan a lo largo del proyecto a no perder el enfoque de lo que establece dicho capítulo.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Dada la situación en la que se encontraba, en el 2004, el botadero a cielo abierto de la ciudad de Puerto Cortés y los problemas ambiental y de salud que este generaba, la Corporación en Pleno presidida por el alcalde municipal en ese momento, Doctor Austin Beamont, decidieron aprobar la contratación de un consultor para realizar el diseño del relleno sanitario de la ciudad.

La municipalidad de Puerto Cortés inició el proceso de mejoramiento del sistema de aseo urbano y disposición final de desechos sólidos con la asistencia técnica-económica de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo internacional USAID y para tal fin adquirieron un terreno para ubicar el relleno sanitario con el objeto de dar una solución a la disposición final de la basura generada en la ciudad por lo menos durante los próximos quince años. (Municipalidad de Puerto Cortes, 2004)

Dicho terreno fue ubicado en la comunidad de El Chile, Puerto Cortés, la cual se encuentra a las afuera de Puerto Cortés debido a la extensión que tiene este. El terreno contaba en su momento con un área de doce manzanas, las cuales todas estaban destinadas para el uso exclusivo del relleno sanitario. El diseño hecho en el 2004 contemplaba el uso de múltiples cuencas para un solo propósito. Cada cuenca tendría una vida útil aproximadamente de cinco años cada una.

La municipalidad de Puerto Cortés estaba determinada a tener un relleno sanitario ejemplar y no controlado por antisociales como lo son otros rellenos sanitarios alrededor del país. A partir de la inauguración se estableció un personal que iba a estar en control. A lo largo de los años la alcaldía ha invertido en mandar a su personal a recibir capacitaciones acerca de métodos utilizados en rellenos sanitario alrededor del mundo, de manera que pudieran aplicar uno de ellos.

El encargado del relleno sanitario ha sido el ingeniero Daniel Ortega, quien a través de los años ha sido capacitado para lograr mantener y extender la vida útil del relleno sanitario. Ha sido él quien ha tenido una visión más panorámica del relleno, viendo de qué manera este podría tener un uso óptimo sin afectar la vida útil con el cual fue diseñado.

Fue el mismo ingeniero Daniel Ortega quien propuso utilizar el método Fukuoka, del cual recibió información en una de sus capacitaciones en el lugar origen del método. Formando así el relleno sanitario de Puerto Cortes, como el primer relleno biodegradable, ya que la estructura de las capas permite que los desechos se desintegren sin ser expuestos al aire libre.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

“No se cuenta con un relleno sanitario lo suficientemente amplio que albergue la producción de desechos sólidos que se están generando actualmente, por lo que este muy pronto dejará de suplir las necesidades de las personas de ese sitio debido al incremento poblacional”.

2.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles serán las características del suelo y la capacidad máxima que deberá tener la ampliación del relleno sanitario en la comunidad del El Chile, Puerto Cortés?

2.3 JUSTIFICACIÓN

La vida útil de cualquier proyecto de ingeniería civil es una categoría de diseño que mide los parámetros de funcionalidad de este en determinado periodo de tiempo considerado. En el caso específico del proyecto de relleno sanitario ubicado en la comunidad de El Chile, Puerto Cortés se encuentra a un 75% de su capacidad, lo que obliga a las autoridades correspondientes a tomar previsiones necesarias para el diseño y posterior ejecución de las nuevas ampliaciones del mismo, que permitan continuar haciendo uso del sistema con toda su capacidad ampliada y mejorada a fin de que los beneficiarios del proyecto no se vean obligados a usar botaderos clandestinos con

los evidentes problemas ambientales que acarrearán. Esto constituye la principal razón de este trabajo técnico y el enfoque del estudio propuesto.

El diseño de estas nuevas etapas bajo la mejor práctica de ingeniería y dentro de los parámetros de economía y funcionalidad, lo que es un reto profesional.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Qué tipología de diseño se realizará para la ampliación del relleno sanitario en la comunidad de El Chile, Puerto Cortés?
- 2) ¿Qué características topográficas tendrá el nuevo terreno?
- 3) ¿Cuál será la capacidad máxima en toneladas que podrá albergar la ampliación del relleno sanitario?
- 4) ¿Cómo se deberá manejar la producción de lixiviados?
- 5) ¿Qué método se utilizará adecuadamente para el control del gas metano?
- 6) ¿A cuánto asciende el monto en lempiras del proyecto de ampliación de dicho relleno sanitario?
- 7) Según la tabla de categorización vigente en la ley general del ambiente, este proyecto tiene un licenciamiento ambiental. ¿A qué categoría pertenece?

2.5 OBJETIVOS

En este proyecto se definieron los objetivos, los cuales se dividen en objetivo general y objetivos específicos. El objetivo general es un enunciado que resume la idea central y totalidad de un trabajo y los objetivos específicos detallan los procesos necesarios para la completa realización y deben llevarse a cabo para cumplir el objetivo general.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta de diseño a través de la metodología Fukuoka para la ampliación del relleno sanitario ubicado en la comunidad de El Chile, para contribuir de esta forma al desarrollo social y ambiental de Puerto Cortés.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Definir la tipología de diseño de relleno sanitario que se realizará en la comunidad de El Chile, Puerto Cortes.
- 2) Investigar las características topográficas del nuevo diseño
- 3) Determinar la capacidad máxima en toneladas que podrá recibir la extensión del relleno sanitario a lo largo de su vida útil
- 4) Recomendar la mejor manera para el tratamiento de los lixiviados.
- 5) Proponer un eficiente manejo del metano que se habrá de producir en la ampliación del relleno sanitario.
- 6) Estimar la inversión total para la elaboración de la ampliación del relleno sanitario.
- 7) Definir la categoría ambiental del proyecto.

III. MARCO TEÓRICO

En vista de que se ha conocido el planteamiento del problema, que constituye los presentes del problema, el enunciado del problema, las preguntas de investigación, los objetivos específico, el objetivo general y la justificación, a continuación, se pretende a dar un sustento teórico a la temática en estudio. Es por ello por lo que el capítulo tres del marco teórico procura enfatizar en tres aspectos principales en un Marco de Teoría, un Marco Conceptual y un Marco Legal. La finalidad de este capítulo es enfocar la investigación con una perspectiva novedosa, presentar conceptos que serán empleados con los distintos análisis relacionados a nuestra investigación y dar credibilidad a la selección de metodología empleado para el proceso de recopilación de datos y la evaluación de datos.

3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El análisis de la situación actual se divide en tres categorías: macro entorno, micro entorno y el análisis interno. El macro entorno abarcando información a nivel mundial acerca de los rellenos sanitarios y el desarrollo que estos mismo han tenido. Luego tenemos el micro entorno, con la intención de dar a conocer el desarrollo nacional que ha tenido Honduras con el tema de la salud ambiental. Por último, el análisis interno (o en sitio), el cual brinda conocimiento general y técnico acerca del relleno sanitario existente de Puerto Cortés.



Ilustración 1- Gráfico sobre el análisis de la situación actual.

Fuente: Propia.

Desde, aproximadamente, el año 2005, existe en la sociedad la pregunta recurrente de si el relleno sanitario es una técnica vigente en la gestión moderna de los residuos sólidos urbanos. Esta cuestión ha sido tratada hasta el día de hoy en diferentes seminarios talleres y conferencias. En todos los casos, la respuesta continúa siendo la misma, y es afirmativa. Aun actualmente, cualquier sistema que se precie de realizar una adecuada gestión integral de los residuos sólidos debe contar, inexorablemente, con un relleno sanitario, dado que, independientemente del tratamiento que se le realice a los RSU, siempre queda una fracción de residuos que debe ser dispuesta y para ello se requiere de un relleno sanitario. (Rosso, 2007)

Aclarado este punto, no de menor importancia, para aquellos políticos a cargo de la toma de decisiones, cabe realizar algunas consideraciones entre las que podemos mencionar la tendencia internacional cada vez más vigente hacia la regionalización, es decir, que varios municipios se agrupen para llevar a cabo una de las gestiones más importantes que lleva adelante toda comuna. A partir de la unión de varios municipios, logrando de esta forma un tratamiento del tema, en la región se logra la reducción de la cantidad de lugares destinados a la disposición de residuos, desarrollando al mismo tiempo rellenos sanitarios de mayor envergadura, lo que conlleva a una

economía de escala. De esta forma, Estados Unidos de América ha reducido la cantidad de rellenos sanitarios de 7924 en el año 1988 a 1654 en el año 2004. (Rosso, 2007)

De esta manera, a través de los casos concretos dados de países altamente industrializados y de altos PBI, se pretende desmitificar el hecho de que la técnica de relleno sanitario es algo obsoleto o fuera de uso; por el contrario, se trata de una técnica totalmente vigente y con una excelente relación costo beneficio, en particular, para países como el nuestro, en los cuales se dispone de tierras aptas para el desarrollo de rellenos sanitarios. (Rosso, 2007)

3.1.1 ANÁLISIS DEL MACRO ENTORNO

En la actualidad, existe una tendencia mundial que propone el fortalecimiento de la conciencia ambiental de la sociedad; así pues, se plantea una búsqueda permanente de mecanismos, estrategias y tecnologías capaces de mitigar la pérdida acelerada de los recursos naturales del planeta como alternativa de solución al agotamiento de los recursos naturales, la pérdida de ecosistemas y diversidad ecológica. Entre los problemas que se presentan a nivel mundial, se destacan los grandes inconvenientes relacionados con la generación y disposición final de los RS, ya que el crecimiento demográfico e industrial hace que diariamente se arrojen millones de toneladas a las superficies terrestre y acuática, sin ningún tipo de tratamiento ni manejo previo, produciéndose una grave polución que implica consecuencias irreversibles. (Avendaño, 2015, p. 20)

Aunque teóricamente el cálculo de la producción de residuos sólidos obedece a una fórmula sencilla donde intervienen una tasa de generación per cápita y la variable poblacional de la zona a caracterizar, al momento de realizar la cuantificación se encuentran dificultades relacionadas con el comportamiento socioeconómico de las comunidades, hábitos de consumo de los individuos y la clasificación de los RS. Según los investigadores del Banco Mundial, Hoornweg y Bhada-Tata (2012), para el año 2025 se espera que la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) tienda a duplicarse debido a que la producción per cápita pasará de 1,2 a 1,42 Kg/habitante en los próximos 15 años; es así como la producción actual de 1.300 millones Tn/año será de 2.200 millones para el año 2025. Entre las causas de este incremento, se mencionan el alto crecimiento poblacional, los

hábitos de consumo en países industrializados, así como los cambios en las costumbres de consumidores que habitan los países en vía de desarrollo. (Avendaño, 2015, p. 21)

El siguiente gráfico pretende dar a entender el porcentaje de producción de RS por regiones a través del mundo. Cabe mencionar que dicha ilustración se actualizó el año 2012.

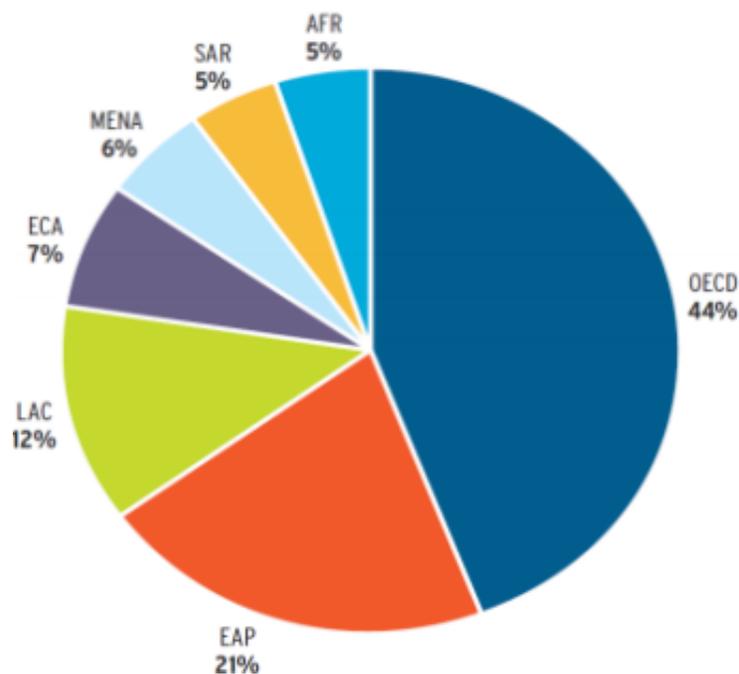


Ilustración 2- Porcentajes aportes por regiones producción mundial de RS año 2012.

Fuente: (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012)

Se puede observar que el mayor porcentaje es de los Países de la Organización para la cooperación Económica y el Desarrollo (OECD), con un 44% siendo mayor que la suma de los porcentajes que abarcan Asia oriental, central y del sur.

Así mismo, la ilustración no. 3, da a conocer la proyección mundial de RS por regiones a través del mundo, calculada al año 2025.

Región	AÑO 2012			AÑO 2025		
	Producción Promedio (Kg/habitante/día)	Población Urbana (millones habitantes)	Producción Total (Ton/día)	Producción Promedio (Kg/habitante/día)	Población Urbana (millones habitantes)	Producción Total (Ton/día)
AFR	0,65	261	169.120	0,85	518	441.840
EAP	0,95	777	739.959	1,52	1.230	1.865.380
ECA	1,12	227	254.389	1,48	240	354.811
LAC	1,09	400	437.545	1,56	466	728.392
MENA	1,07	162	173.545	1,43	257	369.320
OECD	2,15	729	1.566.286	2,07	842	1.742.417
SAR	0,45	426	192.411	0,77	734	567.545
TOTAL	1,19	2.982	3.532.255	1,42	4.287	6.069.705

AFR: África; EAP: Asia Oriental y el Pacífico; ECA: Europa y Asia Central; LAC: Latinoamérica y El Caribe; MENA: Medio Oriente y África del Norte; OECD: Países de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo; SAR: Asia del Sur.

Ilustración 3- Proyección de la producción mundial per cápita y total de RS por regiones para los años 2012 y 2025.

Fuente: (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012)

Como se puede observar, los valores más altos de producción total al año 2025 se encuentra en la región de Asia Oriental y el Pacífico (EAP) y en la OECD.

Es debido a dicha información, que nos ha despertado el interés de investigar acerca de rellenos sanitarios que se encuentren en estas dos regiones y que al mismo tiempo utilicen el mecanismo del método de Fukuoka. Dentro de lo investigado, se encontraron diez rellenos sanitarios reconocidos a nivel mundial. De estos diez, destacan tres, debido a la localización y el manejo de los RS a pesar de tener una producción promedio alta.

A continuación, se presentará información acerca de estos tres rellenos sanitarios escogidos:

3.1.1.1 Central Breakwater, Japón



Ilustración 4- Relleno Sanitario Central Breakwater, ubicado en Tokio, Japón.

Fuente: listindiario.com

Ubicado en una isla artificial, hace 47 años recibe residuos sólidos de los 23 distritos que conforman la ciudad de Tokio. Una porción de la cima que se observa al sureste de la capital de Japón, en las aguas de la bahía de Tokio, se convertirá dentro de unos 70 o 100 años en un centro recreacional, con áreas verdes aptas para apreciar el ambiente acuático. (López, 2019)

Actualmente, es el vertedero y relleno sanitario de la capital más grande del mundo, en ese lugar terminan los desperdicios sólidos de 13 millones de personas. Los residentes que conforman la ciudad de Tokio querían construir un relleno sanitario. No encontraron suficiente espacio en la urbe lo que los obligo construirlo en el mar.

Tomaron consideración de la profundidad del mar de la zona y hundieron 5.8 kilómetros de paredes de hormigón de 40 metros. Les fue necesario bombear el agua que quedó estancada durante seis años y al finalizar el drenaje rellenaron el espacio con arena, tierra y grava hasta alcanzar el nivel del agua. En una porción de la isla fueron construidos edificios para oficinas y plantas de tratamiento y reciclaje.

Las 199 hectáreas que forman parte Central Breakwater se usan para depositar los desechos sólidos y administrado por la oficina de Medio Ambiente del Gobierno Metropolitano de Tokio, donde llegan anualmente 485,000 toneladas de residuos que genera la ciudad. En ese mismo lugar se manejan tres tipos de desechos: combustibles, incombustibles y piezas de gran tamaño como armarios, mesas, escritorios y camas.

Los desechos pasan por un proceso de trituración o incineración antes de eliminarse pues ningún tipo de desecho se sepulta instantemente. Se utiliza una máquina que registra entre 500 y 600 revoluciones por minuto para triturar los desechos de gran magnitud, a la maquina se le echa agua para disminuir su temperatura y para que el desecho no provoque un levantamiento de polvo. Esas partículas se llevan a una planta incineradora y sus cenizas son las que se entierran. El gobierno vende los desechos triturados de los metales aptos para el reciclaje y obtiene ganancias de 300 millones de yenes al año. Los desechos incombustibles como los vidrios y cerámicas son llevados directamente al relleno después de triturados.

Los plásticos (que son desechos combustibles) se pueden quemar a altas temperatura sin que lleguen a producir gases tóxicos. Las bolsas de plástico en que llegan envueltos muchos desechos combustibles se separan manualmente. Existen casetas donde se reciben los desperdicios, donde hay trabajadores encargados en observar si hay algún desecho dañino que haya que separar, como fuegos artificiales. En la fosa, los residuos son movilizados por una banda transportadora hasta la máquina trituradora. (López, 2019)

Se utiliza el método Fukuoka o de sandwich para el levantamiento del relleno, alternando las cenizas con tierra hasta alcanzar los 30 metros. El método sándwich evita que los residuos se dispersen y que ardan, previene la propagación de hedores e impide la incubación de huevos de insectos. La duración del relleno solo puede usarse por unos años más, actualmente se construye otra zona también en el mar para amortiguar esta situación.

3.1.1.2 Laogang, Shanghai, China

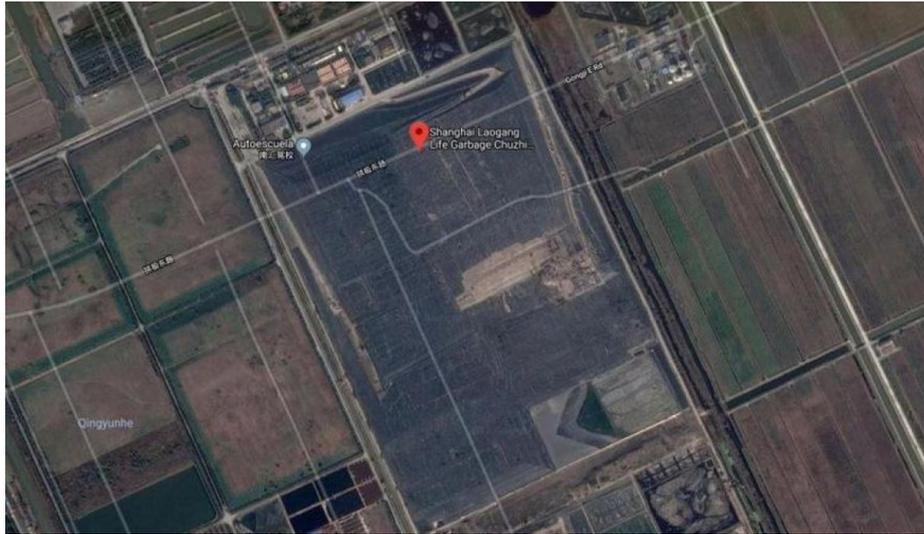


Ilustración 5- Vertedero de Laogang, Shanghai.

Fuente: elcomercio.pe

El vertedero de Laogang en la ciudad de Shanghai es uno de los más grandes de Asia. Con una extensión de 892 hectáreas y una altura de basura depositada de 20 metros. Recibe hasta 10,000 toneladas de residuos sólidos municipales a diario, la mitad del total de residuos de la ciudad, de acuerdo con el gobierno municipal de Shanghai. El gas metano del vertedero se ha convertido para generar anualmente 102, 189 MW-horas de energía verde que sirve para alimentar 100,000 casas. (EC, 2017)

Veolia, la compañía francesa a cargo de la generación de energía en el vertedero de Laogang, también informo en 2014 que las emisiones de metano del vertedero se habían reducido a 25,800 toneladas métricas y evitaban 542,000 toneladas métricas de emisiones de CO2. En un año, China genera 189,000,000 toneladas de desechos según un informe de 2012 World Bank sobre gestión de residuos sólidos en todo el mundo.

El vertedero de Laogang, inició como un basurero a cielo abierto, pero debido a la alta contaminación al medio ambiente que producía la gran cantidad de residuos diarios, se decidió hacer algo al respecto. Proponiendo así el uso de un relleno sanitario para poder generar un plus a la ciudad entera.

3.1.1.3 Bombay, India

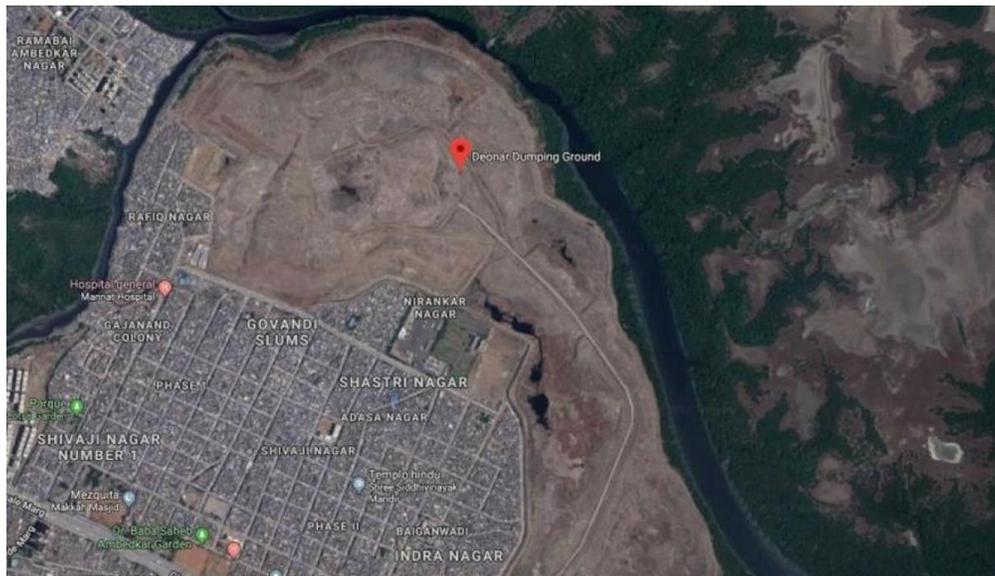


Ilustración 6- Vertedero de Deonar en Bombay, India.

Fuente: elcomercio.pe

Más de 8.500 toneladas de basura. Esa es la cantidad que se genera cada día en la ciudad india de Bombay, que con unos 21 millones de habitantes es una de las urbes del mundo que más desechos produce. Buena parte de los residuos se acumulan en vertederos abiertos, donde las montañas de basura pasan la mayor parte del día bajo un sol de justicia y con temperaturas que superan los 30 grados. (EC, 2017)

Fue creado en 1927 y tiene una dimensión de 132 hectáreas. Deonar recibe más de 5.500 toneladas de residuos producidos por los 21 millones de habitantes del lugar y del total de desechos que llegan al relleno sanitario, 25 toneladas corresponden a residuos biomédicos.

3.1.2 ANÁLISIS DEL MICRO ENTORNO

En Honduras se generan más de 4 mil 800 toneladas diarias de residuos sólidos, de estas, Tegucigalpa y San Pedro Sula generan más del 50 por ciento, y un buen porcentaje de estos residuos llega a los ríos y quebradas produciendo desbordamiento e inundaciones. (Organización Panamericana de la Salud, s. f.)

La mayoría de los municipios no cuentan con rellenos sanitarios para la disposición final de los residuos sólidos, con lo que se cuenta es con botaderos a cielo abierto, incluso algunos queman los residuos, lo cual esto provoca una contaminación ambiental, contaminación de los suelos, trae consecuencias como la proliferación de vectores, generación de enfermedades y otras relacionadas.

El país cuenta con aproximadamente 10 rellenos sanitarios, ubicados en algunos puntos estratégicos. Se darán a conocer los rellenos sanitarios más relevantes.

3.1.2.1 Comayagua

Hasta la fecha es el relleno sanitario mejor manejado en Honduras. Fue construido en 2012, tiene una vida útil de 30 años, pero se construyen celdas cada 5 años. Se construyó a un costo de 80 millones de lempiras con un aporte de la Cooperación Danesa de 60 millones y 20 millones que aportó la alcaldía. (Panting, 2013)

Éste relleno está ubicado al sureste de la ciudad, cuenta con un terreno de 30 manzanas, con dos celdas, una para el depósito de desechos sólidos comunes y otro para desechos hospitalarios de los centros de salud y clínicas de salud por donde pasa el servicio de recolección.

Este relleno cuenta con casetas para resguardo de operarios y equipo de recolección para vigilancia, área administrativa, oficina de supervisión, cerco perimetral y bascula de pesa computarizada para pesar la cantidad de basura que entra diariamente.

Cuenta con una laguna de lixiviados para el tratamiento del líquido que derraman los desechos sólidos para evitar los malos olores y la contaminación ambiental. Se reciben anualmente un promedio de 15 mil toneladas de basura, pero va en aumento lo que es lógico que se puede limitar la vida útil. Poseen 7 camiones, estos con un sistema hidráulico.

3.1.2.2 Gracias, Lempira

Fue construido en 2017, en la comunidad de El Pinalito, su inversión de 68.7 millones de lempiras del programa de Conversión de Deuda de Honduras Frente a España, administrado por el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE).

En este proyecto se benefician directamente unos 66,000 habitantes de los municipios de Gracias y Belén e indirectamente a más de 31,000 habitantes de los otros municipios de la comunidad Colosuca.

El proyecto comprende la construcción de un relleno sanitario, incluyendo una planta de tratamiento de lixiviados. Se cuenta con dos volquetas para recolección de la basura, cestas que están ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad para que la gente deposite la basura. (BCIE, 2018)

3.1.2.3 Tela

Fue construido en 2014, en la aldea el Jute muy próximo a Tela, esta obra valorada en 46 millones de lempiras. El relleno se construyó en un terreno de 15 manzanas, propiedad de la Municipalidad de Tela, con una vida útil de 20 años aproximadamente, ya que su diseño cuenta con tres celdas completamente impermeabilizadas que pueden operar hasta ocho años cada una.

El proyecto incluye también la construcción de la calle de acceso, así como las internas del sitio, canalización y sistema de drenaje de este, sistema de energía eléctrica con un componente de proyecto y otro de carácter social, agua potable, área de oficina y caseta de vigilancia. (Molina, 2016)

3.1.3 ANÁLISIS INTERNO

Puerto Cortés fue el primer municipio de Honduras en contar con un relleno sanitario, esta experiencia se ha compartido a varias municipalidades ya que este relleno ha sido certificado por la Agencia de Cooperación del Japón (JICA) gracias a su modelo de ejecución. Cabe destacar que utilizan el método Fukuoka, este es un método menos agresivo que el que usan los estadounidenses o los europeos, ya que es semi aeróbico y le inyecta oxígeno a los residuos de una manera pasiva para que se descompongan eficientemente y no produzcan tanto gas metano y tanto lixiviado y aparte de eso se encarga de capturar en una estructura como un esqueleto de un pescado las aguas negras y darle el tratamiento adecuado.



Ilustración 7- Relleno Sanitario de Puerto Cortés.

Fuente: (Municipalidad de Puerto Cortes, 2004)

El relleno sanitario de Puerto Cortes fue puesto en operación en el año 2004, proyectado para una vida útil de 20 años. Actualmente se reciben un promedio diario de 100 toneladas de desechos. Tiene una capacidad de diseño 849,909 toneladas. Actualmente el 74% de los desechos es doméstico y el 26% industrial. El área del terreno del relleno es aproximadamente de 17.64 manzanas, sin embargo, sólo es posible operar la disposición de desechos sólidos en un área aproximada de 12.37 manzanas. El perímetro es de 1997.47 ml. La cantidad de residuos sólidos recolectados por los seis Camiones en seis rutas es de un promedio de estimación entre 40 a 60 Toneladas diarias. (Municipalidad de Puerto Cortes, 2004)

Las descargas que realizan los recolectores privados hacen un promedio total de 40 Toneladas diarias. Para un total de cien toneladas por día. Dicha cantidad de basura es llevada al lugar de disposición final por medio de volquetas. Una vez los encargados de la volqueta han terminado su trabajo, la basura es clasificada para luego poder ser compactada con la excavadora.

3.2 TEORÍAS DE SUSTENTO

3.2.1 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A BASE DEL MÉTODO FUKUOKA

La clasificación de rellenos sanitarios semi-aeróbicos y anaeróbicos obedece a la presencia de oxígeno en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos una vez depositados,

compactados y cubiertos; dando como resultado una composición diferente en el biogás resultante de dicho proceso.

En el primer caso, rellenos sanitarios semi-aeróbicos, se crean las condiciones para la entrada de oxígeno en la masa de residuos y por lo tanto el gas resultante está formado principalmente por dióxido de carbono. Este método fue desarrollado por los japoneses y se conoce como el método Fukuoka.

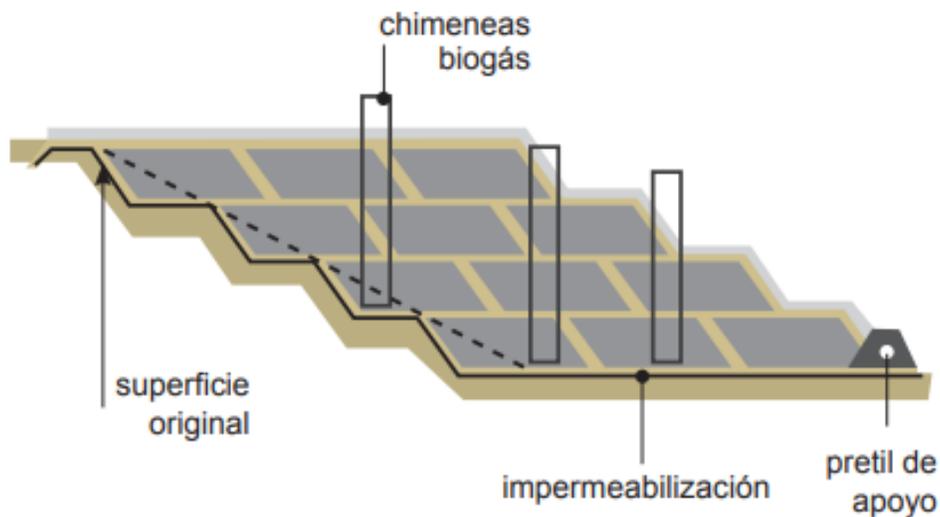


Ilustración 8- Demostración del Método Fukuoka.

Fuente: (Klein & Jiménez, 2014, p. 17)

El método Fukuoka considera el control de la contaminación de aguas y suelos por acción de los lixiviados generados al interior del relleno, dado su potencial contaminante. Por otra parte, la generación de biogás puede dar origen a migraciones laterales de gases combustibles a través de las paredes del relleno, los que pueden alcanzar zonas pobladas o cultivos aledaños o dar origen a la acumulación de mezclas explosivas en zonas bajas o en recintos cerrados. Todo lo anterior hace necesario, al menos en el caso de rellenos mecanizados, prever obras de impermeabilización del fondo y de las paredes del relleno.

El objetivo de la impermeabilización es reducir la infiltración de los lixiviados generados en la masa del relleno a tasas compatibles con la preservación de la calidad de las aguas subterráneas de

forma de asegurar sus usos actuales o futuros, y evitar la migración incontrolada de biogás a través del terreno hacia puntos y zonas sensibles.

De acuerdo con lo anterior, todo proyecto de relleno sanitario mecanizado debe incorporar una estimación de la generación de líquidos lixiviados y biogás y el diseño de un sistema de impermeabilización lateral y de fondo si el terreno sobre el cual se asienta el relleno no es lo suficiente impermeable, de acuerdo con estudios de conductividad hidráulica, como para asegurar la protección de las aguas subterráneas y evitar la migración lateral de biogás. La reglamentación vigente, la calidad del terreno en que se construye el relleno sanitario, la profundidad de las aguas subterráneas, la existencia de áreas pobladas y de cultivos en los alrededores y el tamaño del relleno permitirán decidir respecto de la necesidad impermeabilizar y, de ser ese el caso, respecto del tipo y características de la impermeabilización que sea necesario proyectar y construir.

Criterios corrientemente aplicados para determinar el tipo y características de la impermeabilización lateral y de fondo de un relleno sanitario son los siguientes:

- a) Si la población servida es superior a 100.000 habitantes el sistema de impermeabilización recomendado consiste en al menos una membrana sintética con un espesor mínimo de 0,75 mm, salvo en el caso de polietileno de alta densidad, en que dicho espesor no debe ser inferior a 1,52 mm, colocado sobre una capa de arcilla de 60 cm de espesor y coeficiente de conductividad hidráulica (permeabilidad) máxima de 10^{-7} cm/seg o, alternativamente, un sistema de impermeabilización de doble capa separadas por geotextil que garantice condiciones iguales o superiores de impermeabilidad. La distancia desde el fondo del relleno hasta el nivel freático más alto no debe ser inferior a 3 m, debiendo existir entre ambos una capa de suelo con un coeficiente de conductividad hidráulica equivalente no superior a 10^{-5} cm/seg.

Las membranas más utilizadas para impermeabilización son el polietileno de alta densidad, el polietileno cloro sulfonado (Hypalon) y el cloruro de polivinilo (PVC). En todo caso, las membranas una vez colocadas deben ser protegidas en su sección horizontal con una capa de tierra exenta de piedras y materiales cortopunzantes, o bien con geotextiles sintéticos con el

fin de evitar daños producto del paso de la maquinaria al momento de construir las celdas sanitarias.

- b) Si la población servida es igual o inferior a 100.000 habitantes, el sistema de impermeabilización mínimo recomendado consiste en una capa de arcilla de 60 cm de espesor y coeficiente de conductividad hidráulica máxima de 10^{-7} cm/seg o, alternativamente, una capa de suelo o de otro material que garantice condiciones iguales o superiores de impermeabilidad. La distancia desde el fondo del relleno hasta el nivel freático más alto no debe ser inferior a 3 m, debiendo existir entre ambos una capa de tierra con un coeficiente de conductividad hidráulica equivalente no superior a 10^{-5} cm/s.

El uso de arcilla como medio impermeabilizante es bastante común y su desempeño es excelente siempre que se utilicen los espesores adecuados y que su colocación se haga en la forma correcta. La capa de arcilla compactada debe mantenerse permanentemente húmeda hasta que se cubra con residuos, para evitar su agrietamiento, por lo que se recomienda construir esta impermeabilización en forma progresiva extendiéndola solo lo necesario para avanzar en la ejecución del relleno sanitario. La unión entre el sector ya impermeabilizado con arcilla y el que se va a impermeabilizar a continuación debe hacerse traslapando en forma escalonada la capa impermeabilizante, según se ilustra en la figura siguiente.

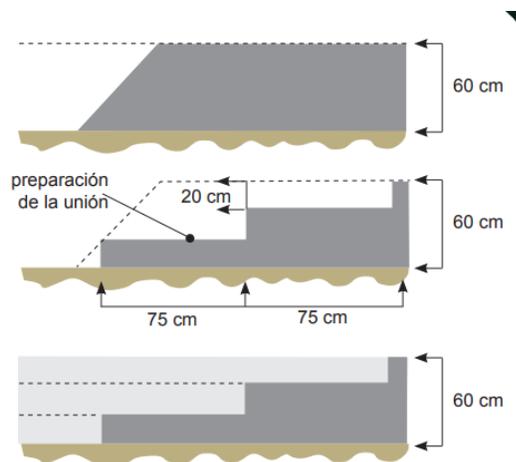


Ilustración 9- Traslape en la unión de impermeabilización con arcilla.

Fuente: (Klein & Jiménez, 2014, p. 51)

c) Para instalaciones que sirven a 20.000 habitantes o menos, es aceptable como impermeabilización la existencia de una capa de suelo natural de al menos 5 metros de espesor con una conductividad hidráulica no superior a 10^{-5} cm/s o una capa equivalente de menor permeabilidad, la que en todo caso debe tener un espesor de al menos 3 m medidos entre el fondo del relleno sanitario y el nivel freático más alto.

(Klein & Jiménez, 2014)

3.2.2 EVAPORACIÓN DEL METANO POR MEDIO DE CHIMENEAS

Una fracción importante de los residuos que llegan a los rellenos sanitarios corresponde a materia orgánica biodegradable, la que entra rápidamente en un proceso de descomposición por la acción de los microorganismos presentes en los residuos y en la tierra de cobertura-, que utilizan esta materia orgánica como nutriente.

La descomposición de los residuos es un fenómeno complejo en el cual los microorganismos, mediante un proceso enzimático, rompen los enlaces de las moléculas orgánicas, descomponiéndolas en sustancias más simples, desprendiendo energía en forma de calor. Al interior de un relleno sanitario este proceso se desarrolla en cuatro fases, de las cuales, la primera corresponde a una etapa esencialmente aeróbica, en tanto que las tres fases siguientes configuran la etapa anaeróbica. (Klein & Jiménez, 2014)

La descomposición aeróbica es un proceso que se desarrolla en presencia de oxígeno y dentro de la celda sanitaria este tipo de descomposición tiene una duración relativamente corta, de solo algunos días. En los rellenos sanitarios esta fase se sustenta con el aire que queda atrapado en la celda luego de poner el material de cobertura y se extiende hasta que el oxígeno atmosférico atrapado al interior de la celda es totalmente consumido. En este proceso se generan algunos ácidos orgánicos, dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua. Al finalizar esta fase aeróbica resta aún una cantidad importante de materia orgánica sin descomponer.

Una vez que se agota el oxígeno atmosférico presente al interior de la celda sanitaria comienza la etapa anaeróbica. La degradación anaeróbica es un proceso que se desarrolla en ausencia de oxígeno y, en la celda sanitaria, tiene una duración que puede extenderse por años y décadas. En

esta etapa es posible diferenciar tres fases adicionales distintas. Luego de la primera fase aeróbica ya mencionada comienza una fase anaeróbica no metanogénica, cuya duración se extiende por algunas semanas, seguida de una fase metanogénica inestable, de algunos meses de duración, para luego dar paso a la fase metanogénica estable que se extiende por años. Estas dos últimas fases son anaeróbicas estrictas. En la fase metanogénica inestable, la proporción de metano en el biogás se incrementa progresivamente hasta alcanzar porcentajes algo superiores al 50%. Por su parte, la fase metanogénica estable deriva su nombre del hecho que la composición del biogás se mantiene relativamente constante con porcentajes superiores al 50% de metano y porcentajes algo menores al 50% de dióxido de carbono, si bien durante toda esta fase la tasa de generación de biogás al interior la celda sanitaria decrece exponencialmente.

El biogás tiene un valor como recurso energético, sin embargo, cuando éste no es aprovechado, el biogás generado al interior de un relleno sanitario debe ser adecuadamente eliminado mediante dispositivos e instalaciones apropiadas que permitan evitar riesgos de explosiones y migraciones a través del subsuelo. El manejo adecuado del biogás producido al interior del relleno se logra mediante la instalación de drenes o chimeneas que permitan su salida controlada y su captación para su quema o aprovechamiento. Para evacuar en forma adecuada y segura el biogás desde el interior del relleno se requiere disponer chimeneas de evacuación a distancias no mayores del doble de su radio de influencia, de forma de cubrir la totalidad de la superficie del relleno.

En el caso de rellenos sanitarios de una altura total inferior a seis metros se puede omitir la colocación de chimeneas de evacuación de biogás dado que en estos casos la alta relación superficie volumen hace que los procesos normales de escape superficial adquieran especial relevancia, evitando la acumulación de cantidades significativas de biogás al interior de la masa del relleno.

La extracción del biogás desde el interior del relleno mediante chimeneas puede hacerse en forma pasiva o forzada. En la extracción pasiva el biogás fluye naturalmente hacia las chimeneas debido a la diferencia de presiones entre el interior del relleno y el exterior. En la extracción forzada se aplica una succión mediante bombas de extracción. Cuando se utiliza la extracción pasiva el radio de influencia de las chimeneas es del orden de los 15 m a 30 m, por lo que el proyecto del relleno

debe contemplar la colocación de chimeneas de extracción a distancias dentro de un rango de 30 a 60 metros. (Klein & Jiménez, 2014)

Cuando se utiliza extracción forzada el radio de influencia debe ser obtenido en terreno midiendo la distancia entre los pozos de extracción y los correspondientes puntos en los cuales se mide en forma estable una presión negativa cercana a cero.

Existen diversos tipos y diseños de drenes o chimeneas para extraer el gas desde el interior de un relleno sanitario. Un diseño muy utilizado por su buen desempeño y bajo costo es la chimenea tipo gavión, que consiste en una estructura de madera o metálica rodeada exteriormente de una malla de alambre y rellena en su interior con material pétreo de canto rodado de 2 a 8 pulgadas de diámetro. Las secciones de la estructura metálica o de madera oscilan entre 0,6 m² y 1 m².

Otro diseño también utilizado con frecuencia consiste en tambores metálicos perforados unidos por medio de anillos metálicos y rellenos con material pétreo similar al anterior, si bien este diseño en ocasiones presenta problemas por obstrucción de las perforaciones con los plásticos presentes en los residuos. En rellenos de alta compactación se utilizan fundas metálicas que se rellenan con material pétreo y se elevan mediante equipo mecanizado en la medida que el relleno crece en altura. Las fundas están provistas de asas que permiten su elevación. La chimenea de piedra mantiene su continuidad y se sustenta estructuralmente gracias a la alta compactación que se les da a los residuos en este tipo de rellenos.

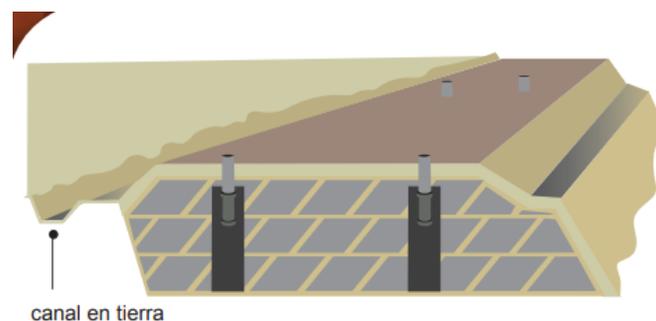


Ilustración 10- Chimeneas para la captación de gas.

Fuente: (Klein & Jiménez, 2014, p. 74)

3.2.3. DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Hace poco menos de un siglo, en Estados Unidos, surgió el relleno sanitario como resultado de las experiencias, de compactación y cobertura de los residuos con equipo pesado; desde entonces, se emplea este término para aludir al sitio en el cual los residuos son primero depositados y luego cubiertos al final de cada día de operación.

En la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control. (Jaramillo, 1991)

3.2.3.1 Métodos de construcción de un relleno sanitario

El método constructivo y la operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario.

3.2.3.2. Método de trinchera o zanja

Este método suele utilizarse en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugar. Los residuos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada.

3.2.3.3. Método de área

En área relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevar algunos metros previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

Sirve también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno, o en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo.

3.2.4. DETERMINACIÓN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

La variedad en el tamaño de las partículas de suelos casi es ilimitada; por definición, los granos mayores son los que se pueden mover con la mano, mientras que los más finos son tan pequeños que no se pueden apreciar con un microscopio corriente. Debido a ello es que se realiza el Análisis Granulométrico que tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene. (Milla, s. f.)

La manera de hacer esta determinación es por medio de tamices de abertura cuadrada. El procedimiento de ejecución del ensayo es simple y consiste en tomar una muestra de suelo de peso conocido, colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz. Esta separación física de la muestra en dos o más fracciones que contiene cada una de las partículas de un solo tamaño, es lo que se conoce como "Fraccionamiento".

La determinación del peso de cada fracción que contiene partículas de un solo tamaño es llamada "Análisis Mecánico". Este es uno de los análisis de suelo más antiguo y común, brindando la información básica por revelar la uniformidad o graduación de un material dentro de rangos establecidos, y para la clasificación por textura de un suelo.

Sin embargo, debido a que el menor tamaño de tamiz que se utiliza corrientemente es el 0.074 mm (Malla No. 200), el análisis mecánico está restringido a partículas mayores que ese tamaño que corresponde a arenas limpias finas. Por lo tanto, si el suelo contiene partículas menores que ese tamaño la muestra de suelo analizada debe ser separada en dos partes, para análisis mecánico y por vía húmeda (hidrometría).

Por medio de lavado por el tamiz No. 200 y lo que pase por este tamiz será sometido a un análisis granulométrico por vía húmeda, basado en la sedimentación. El análisis por vía húmeda se efectúa por medio del hidrómetro que mide la densidad de una suspensión del suelo a cierto nivel y se basa en el principio de la ley de Stokes.

Cabe mencionar que el ensayo se basa en la norma ASTM D422 y AASHTO T27.

3.3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se pretende dar a conocer los conceptos claves para el entendimiento del análisis del presente diseño.

- 1) Relleno Sanitario: el relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. (Roben, 2002)
- 2) Celdas: conformación geométrica que se les da a los residuos sólidos y al material de cubierta debidamente compactado mediante equipo mecánico o por los trabajadores de un relleno sanitario. (Secretaria de Medio Ambiente, 2009)
- 3) Aguas de escorrentía: aguas que no penetran en el suelo o que lo hacen lentamente y que corren sobre la superficie del terreno después de la lluvia. (Jaramillo, 1991)
- 4) Aerobio: relativo a la vida o a procesos que pueden ocurrir únicamente en presencia de oxígeno. (Jaramillo, 1991)
- 5) Anaerobio: relativo a la ausencia de oxígeno libre. Requerimiento de ausencia de aire o de oxígeno para la degradación de la materia orgánica. (Jaramillo, 1991)
- 6) Biogás: mezcla de gases de bajo peso molecular (metano, bióxido de carbono, etc.), producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. (Jaramillo, 1991)

- 7) Compactación: acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él. El propósito de la compactación en el relleno sanitario es disminuir el volumen que ocuparán los residuos sólidos a fin de lograr una mayor estabilidad y vida útil. (Ullca, 2006)
- 8) Cota: marca que indica la elevación de un banco de nivel del terreno. (Jaramillo, 1991)
- 9) Densidad: masa o cantidad de materia de un determinado RSM contenida en una unidad de volumen. (Jaramillo, 1991)
- 10) Dren: estructura que sirve para el saneamiento y la eliminación del exceso de humedad en los suelos. (Jaramillo, 1991)
- 11) Lixiviado o percolado: líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura y atraviesa las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes. Otros factores que contribuyen a la generación de lixiviado son el contenido de humedad propio de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas. (Noguera, s. f.)
- 12) Material de cobertura: capa superficial de tierra en cada celda que tiene como finalidad aislar los residuos del ambiente externo, controlar infiltraciones y la presencia de fauna nociva. (Jaramillo, 1991)
- 13) Nivel freático: profundidad a la que se encuentran las aguas freáticas. Este nivel baja en tiempo de estiaje y sube en etapa de lluvias. (Jaramillo, 1991)
- 14) Permeabilidad: es la capacidad del suelo para conducir o transportar un fluido cuando se encuentra bajo un gradiente. Varía según la densidad del suelo, el grado de saturación y el tamaño de las partículas. (Weihs, 2011)
- 15) Precipitación pluvial: agua atmosférica que cae al suelo en estado líquido o sólido. (Jaramillo, 1991)
- 16) Terrazas: ordenamiento de las pendientes muy inclinadas con el fin de crear parcelas horizontales. (Rivera, s. f.)
- 17) Vida útil: periodo durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir basura de manera continua. (Jaramillo, 1991)

3.4. MARCO LEGAL

Este proyecto está respaldado por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, con acuerdo ejecutivo número 1567-2012, capítulo dos, refiriéndose a los aspectos institucionales:

- Artículo 7: "Corresponde a las municipalidades, organizar, contratar y asumir la responsabilidad de los servicios de limpieza, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. En uso de sus atribuciones, las municipalidades deberán adoptar las medidas específicas de prevención y control de la contaminación por residuos sólidos contenidas en este Reglamento, así como las tecnologías adecuadas a los intereses locales, condiciones naturales, sociales y económicas imperantes."

IV. METODOLOGÍA

Luego del capítulo del marco teórico el cual, básicamente, resume la información que respalda este proyecto, se presenta el capítulo cuatro el cual abarca la operacionalización del proyecto, siguiendo con su diagrama de las variables, los instrumentos junto con técnicas utilizadas y finalmente la metodología escogida para dicho proyecto.

4.1 OPERACIONALIZACIÓN

La siguiente tabla resume la operacionalización del proyecto y tiene como contenido la problemática del proyecto, los objetivos generales y específicos, preguntas de investigación y las variables dependientes e independientes.

Problema	Objetivo General	Preguntas de Investigación	Objetivos Específicos	Variables Independientes	Variables Dependientes
¿Cuáles serán las características técnicas y la capacidad máxima con la que deberá contar la ampliación del relleno sanitario en la comunidad de El Chile, Puerto Cortés?	Generar una propuesta de diseño a través de la metodología Fukuoka para la ampliación del relleno sanitario ubicado en la comunidad de El Chile, para contribuir de esta forma al desarrollo social y ambiental de Puerto Cortés.	<p>1) ¿Qué tipo de diseño se realizará para la ampliación del relleno sanitario en la comunidad de El Chile, Puerto Cortés?</p> <p>2) ¿Con qué características topográficas y geométricas cuenta el relleno sanitario ya existente?</p> <p>3) ¿Cuáles serán las características topográficas del nuevo terreno?</p> <p>4) ¿Cuál será la capacidad máxima en toneladas que podrá albergar la ampliación del relleno sanitario?</p>	<p>1) Definir el tipo de diseño del relleno sanitario que se realizará en la comunidad de El Chile, Puerto Cortés.</p> <p>2) Evaluar las características topográficas ya existentes en el relleno sanitario actual.</p> <p>3) Investigar las características topográficas del nuevo diseño.</p>	<p>Topografía</p> <p>Clasificación de suelos</p> <p>Terrazas</p> <p>Lixiviados</p> <p>Chimeneas</p>	Diseño de la Ampliación del relleno sanitario, tomando en cuenta las características y la capacidad en toneladas que será capaz de albergar dicho relleno

Tabla Operacionalización

Continuación tabla de Operacionalización

Tabla 1- Tabla de operacionalización

Problema	Objetivo General	Preguntas de Investigación	Objetivos Específicos	Variables Independientes	Variables Dependientes
		<p>5) ¿Cómo se deberá manejar la producción de lixiviados?</p> <p>6) ¿Cómo se manejará adecuadamente el gas metano a producir?</p> <p>8) Según la tabla de categorización vigente en la ley general del ambiente, este proyecto tiene un licenciamiento ambiental. ¿A qué categoría pertenece?</p>	<p>4) Determinar la capacidad máxima en toneladas que podrá recibir la extensión del relleno sanitario a lo largo de su vida útil.</p> <p>5) Recomendar la mejor manera para el tratamiento de los lixiviados.</p> <p>6) Proponer un eficiente manejo del metano que se habrá de producir en la ampliación del relleno sanitario.</p> <p>7) Definir la categoría ambiental del proyecto</p>		

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1 DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

El diseño de la ampliación del relleno sanitario será la variable dependiente tomando en cuenta la topografía, clasificación de suelos, método de terrazas, lixiviados y chimeneas las variables independientes y como resultado de esas variables se generan las dimensiones que son estación total, georreferencia y granulometría, descritos mejor en la siguiente representación gráfica.

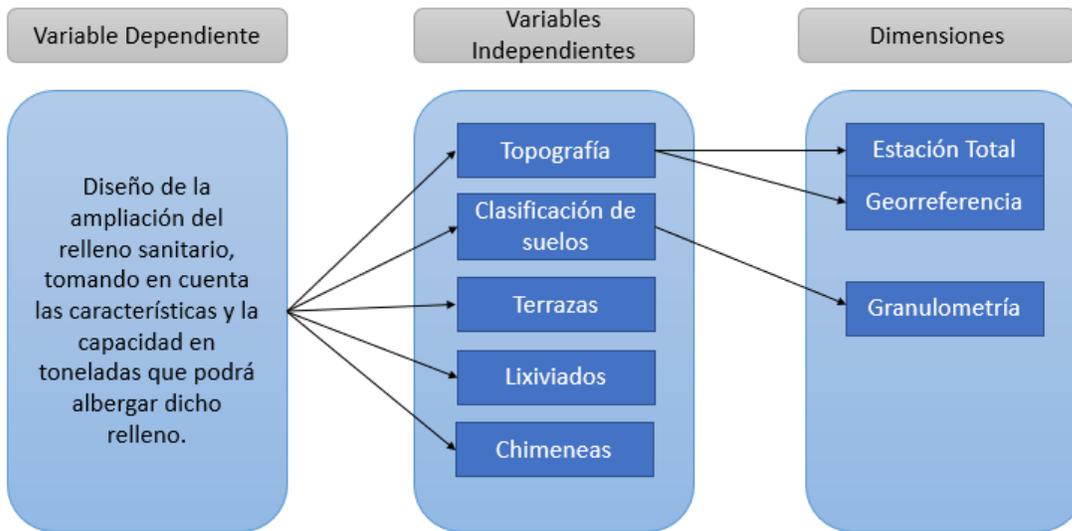


Ilustración 11- Variables de operacionalización

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 DIAGRAMA DE LAS VARIABLES DE OPERACIONALIZACIÓN

Variables Independientes	Definición		Dimensiones	Indicadores	Ítem	Unidades
	Conceptual	Operacional				
Topografía	Disciplina técnica que se encarga de describir de manera detallada la superficie de un determinado terreno.	Podemos conocer el nivel de terreno al que estaremos trabajando y el volumen de excavación permisible del terreno	Elevación	Altura de la coordenada Z	Altura a la que se encontrar los puntos de la coordenada Z	Metros
			Posición	Coordenadas X, Y	Cuál es la posición de los puntos encontrados	Metros
Clasificación de suelos	Se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo.	A través de la prueba de la prueba de granulometría podremos determinar el tipo de suelo con el que se estará trabajando.	Granulometría	Contenido de agua	¿Cuál es el límite líquido del suelo?	Contenido de humedad
Terrazas	Unidad básica de construcción del relleno sanitario y está constituida por la cantidad de basura que se entierra en un día y por la tierra necesaria para cubrirla.	Mediante este método de terrazas iremos almacenando los Residuos Sólidos recolectados en el relleno.	Celdas o Terrazas	Capacidad de almacenamiento	¿Cuál es la capacidad máxima de cada celda?	Grado de compactación
Lixiviados	Líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido.	Recolección de los lixiviados generados por los residuos sólidos municipales.	Tubería PVC de 6 pulgadas	Cantidad de producción de lixiviados por celda	Drenaje de las tuberías de lixiviados hacia la fosa séptica	Global
Chimeneas	Sistema para eliminación de gases de un lugar en específico	Utilizado con el fin de expulsar el gas metano producido por los lixiviados.	Tubería Perforada	Producción de gas metano	Eliminación de gas para evitar complicaciones como incendios	Global

Tabla 2- Diagrama de las variables de Operacionalización

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Las técnicas e instrumentos aplicados tienen como función ayudar en la recolección de los datos para poder llevar a cabo los procesos que este requiera, como ser topografía y pruebas de laboratorio.

4.3.1 INSTRUMENTOS

- 1) Estación Total: Trimble M3: permiten medir a gran distancia y con una gran precisión a la vez que captan imágenes.



Ilustración 12- Estación total

- 2) Prisma: Se utiliza para poder captar la señal de una Estación Total el cual regresa la información a la misma, el soporte está fabricado en metal resistente.



Ilustración 13- Prisma

- 3) Cinta métrica 3.00 Mts: Instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada y se puede enrollar, haciendo que el transporte sea más fácil.



Ilustración 14- Cinta métrica

4) Horno: utilizado para secar la muestra del suelo.



Ilustración 15- Horno

5) Taras metálicas: Utilizado para pesar las muestras.



Ilustración 16- Taras metálicas

6) Balanza: sistema por el cual se mide en gramos la cantidad de suelo que estamos usando como muestra de suelo.



Ilustración 17- Balanza

7) Tamices: Utilizado para hacer la prueba de granulometría y determinar el tipo de suelo.



Ilustración 18- Tamices

Dron: Instrumento el cual se utilizó para llevar a cabo la topografía del proyecto, tomando como referencia puntos geodésicos.



Ilustración 19- Dron

4.3.2 TÉCNICAS

- 1) Visitas de campo para reconocimiento del lugar.



Ilustración 20- Reconocimiento del lugar

- 2) Levantamiento topográfico primero con la estación total para tomar algunos puntos de referencia.



Ilustración 21- Uso de la estación total



Ilustración 22- Puntos de referencia para la topografía

3) Pruebas de laboratorio para la obtención del tipo de suelo.



Ilustración 23- Tamizador mecánico

4.4 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En el proyecto de ampliación de relleno sanitario se consideran los valores numéricos por lo cual se define un enfoque cuantitativo apoyándonos de resultados de pruebas de laboratorio para la obtención de datos más sólidos.



Tabla 3- Metodología de estudio

Fuente: Elaboración Propia

Enfoque Cuantitativo: Porque se cuantificó los residuos sólidos municipales.

Tipo de Estudio Experimental: Porque se está basado en un método científico.

Tipo de Diseño Transversal: Porque es descriptivo y analítico.

Alcance: La captación de los residuos sólidos municipales.

Metodo Análisis Técnico: Elaboracion de pruebas para obtención de resultados.

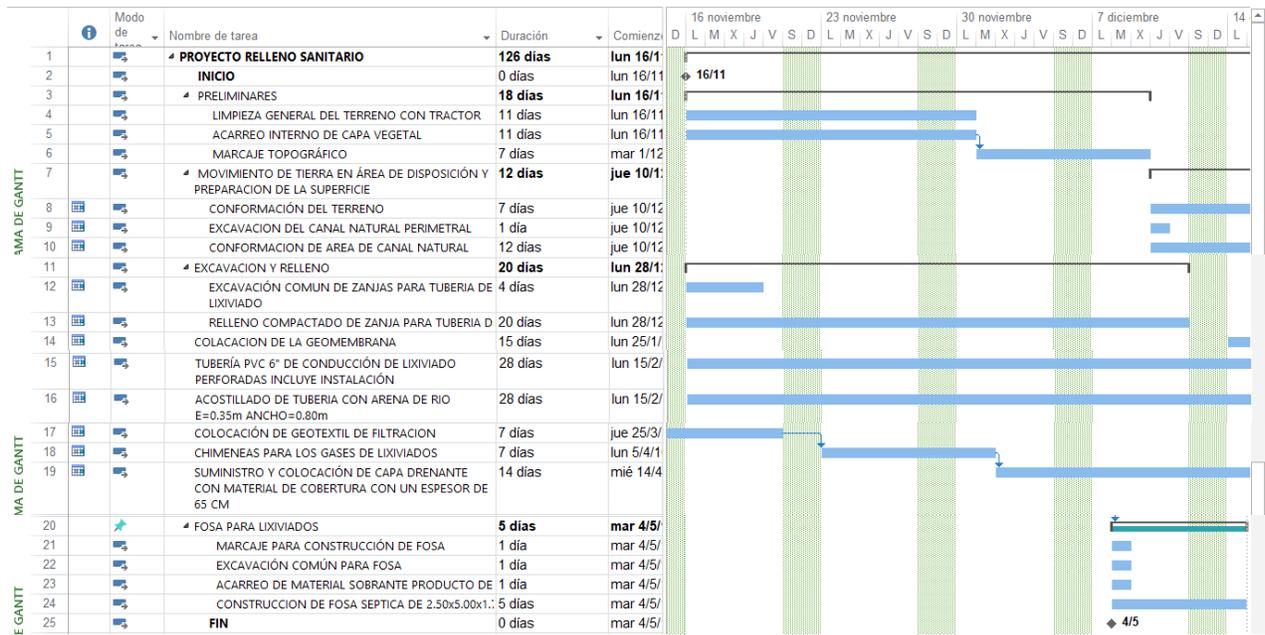
Tipo de Muestra: No probabilística, puesto que se conoce el proceso y el resultado.

Técnicas: 1) Levantamiento Topográfico: Utilizado para obtención de la referenciación del terreno.

2) Pruebas de Suelos: Obtener el tipo de suelo se estará trabajando.

4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación se presenta el diagrama de gantt con todas las actividades que se llevarán a cabo para la construcción de la ampliación del relleno sanitario, el cual sirve como una herramienta para planificar y programar las tareas a lo largo de su duración.



Fuente: Elaboración Propia

Este proyecto tendrá una duración de 126 días que equivale a 4 meses aproximadamente, donde se puede ver con detalle la duración de cada actividad del proceso constructivo del relleno sanitario.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. UBICACIÓN DEL SITIO



Ilustración 24- Foto satelital del relleno sanitario.

Fuente: GoogleEarth

El relleno sanitario se encuentra ubicado en la aldea denominada El Chile, aproximadamente a 7 kms. del centro de la ciudad de Puerto Cortés, en la carretera pavimentada que conduce a San Pedro Sula. Ubicado geodésicamente $15^{\circ}49'37''$ de latitud norte y $87^{\circ}53'16''$ de longitud oeste.

5.2. DATOS GENERALES DE DISEÑO

A continuación, se presenta una tabla reflejando los valores con los que se harán los cálculos para el diseño del relleno sanitario.

Tabla 4- Datos Generales

Población actual	121,457	hab
Tasa de crecimiento poblacional	1.4	%
Residuos por habitante	0.85	Kg/hab/día
Tasa de incremento residual	1	%
Densidad residual compactada	700	Kg/m3
Densidad residual estabilizada	900	Kg/m3
Material de Cobertura	20	%

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de la tabla 4 en cuanto a la población y los residuos fueron otorgados por la municipalidad.

Para el cálculo de la población futura se utilizó el método geométrico con la siguiente fórmula:

$$Pf = Pa(1 + t)^n$$

Ecuación 1- Cálculo de población futura.

5.3. CANTIDAD DE DESECHOS SÓLIDOS

Para el cálculo de los desechos sólidos se realizaron tabulaciones en Excel obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 5- Cantidad de desechos sólidos

Año	Población	Residuos por hab	Cantidad Residuos Diario (Kg)	Cantidad Residuos Anual TM	Residuos Acumulado TM
1	121,457	0.85	103,238.45	37,682.03	37,682.03
2	123,157	0.85	104,683.79	38,209.58	75,891.62
3	124,882	0.85	106,149.36	38,744.52	114,636.13
4	126,630	0.85	107,635.45	39,286.94	153,923.07

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 5 muestra la cantidad de desechos sólidos calculados para 4 años desde su población actual.

5.4. VOLUMEN Y ÁREA REQUERIDA PARA DESECHOS SÓLIDOS

La siguiente tabla muestra el volumen y área requerida para el crecimiento poblacional.

Tabla 6- Volumen y área requerida de desechos sólidos

Vol Res. compactados		Vol Material cobertura		Vol Residuos	Volumen relleno		Área Relleno	
Diario	Anual	Diario	Anual	Estabilizados	Relleno	Acumulad	Área Rell.	Área total
m3	m3	m3	m3	m3	m3	m3	m2	m2 acumulado
147.48	53,831.48	29.50	10,766.30	41,868.93	52,635.22	52,635.22	10,527.04	10,527.04
149.55	54,585.12	29.91	10,917.02	42,455.09	53,372.12	106,007.34	21,201.47	31,728.51
151.64	55,349.31	30.33	11,069.86	43,049.46	54,119.33	160,126.66	32,025.33	63,753.84

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de los resultados es conocer los datos claves para el diseño de la cuenca, ya que indican el volumen y el área total requerida para lograr una vida útil.

5.5. CAPACIDAD DE VOLUMEN DEL TERRENO ASIGNADO

A continuación, se desglosan los datos para el volumen total que aporta el terreno asignado para este proyecto.

Tabla 7- Datos de diseño de la cuenca asignada

Área de terraza #1	10,132.04	m2	Volumen de terraza #1	50,660.20	m3
Área de terraza #2	9,010.57	m2	Volumen de terraza #2	45,052.85	m3
Área de terraza #3	8,363.83	m2	Volumen de terraza #3	41,819.15	m3
Área de terraza #4	7,736.83	m2	Volumen de terraza #4	38,684.15	m3
Área total	35,243.27	m2	Volumen total	176,216.35	m3

Fuente: Elaboración Propia.

Tomando como conclusión de la tabla 7, que la capacidad de volumen total de la cuenca asignada es de 176,216.35 metros cúbicos. Cabe mencionar que dicho volumen es calculado entre las cotas de nivel 35-55 metros. Siendo la altura de las terrazas 5 metros cada una para poder trabajar con un talud de 3 a 1.

5.6. FORMATO UTILIZADO PARA CÁLCULOS

A continuación, se pretende dar a conocer el formato de Excel utilizado para los cálculos mostrados anteriormente, de manera que se logre entender el origen de cada uno de los resultados.

Año	Población (hab)	ppc kg/hab/día	Cantidad de residuos sólidos			Volumen (m ³)							Área requerida (m ²)	
			Diaria (kg/día)	Anual t/año	Acumulado (t)	Residuos sólidos compactados		Material de cobertura m ³		Residuos sólidos estabilizados (m ³ /año)	Relleno sanitario		Relleno A _R	Total A _T
						Diaria (m ³)	Anual (m ³)	Diaria (m ³)	Anual (m ³)		(m ³)	Acumulada (m ³)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
0														
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

(3) = (1) x (2) Población x ppc.

(6) = [(3) x 7/6] / D_c Los residuos sólidos producidos en una semana son llevados al relleno durante los días de recolección. Normalmente entre el lunes y sábado (7 días de producción/ 6 días de recolección).

(8) = (6) x 0.2 Material de cobertura = entre 20 y 25% del volumen de residuos compactados.

(11) = (9) + (10) El volumen del relleno sanitario V_{RS} = material de cobertura + volumen de residuos estabilizados.

(13) = (12) / H Área por rellenar A_R = volumen acumulado del relleno / H
H = altura del relleno estimada

(14) = (13) x F Área total A_T = área por rellenar x F
F = Factor para estimar el área adicional (entre 20 y 30%)

Ilustración 25- Formato utilizado para cálculos del relleno sanitario.

Fuente: (Jaramillo, 1991)

5.7. ANÁLISIS DE CÁLCULOS

La vida útil de la cuenca a diseñar será de 3 años solamente, debido a que el terreno asignado no permite suplir la demanda de residuos sólidos producidos al 3er año. El cálculo de la demanda de residuos sólidos al 3er año, medido en metros cúbicos, dio un total de 160,126.66. Por lo tanto, se diseñó la cuenca para poder suplir esta demanda, sin embargo, para la funcionalidad de la cuenca es importante saber que se necesitará material de cobertura. El total de material de cobertura que se necesitaría para suplir la demanda al 3er año es de 11,069.86 metros cúbicos. Es aquí donde nace la necesidad de comprar nuevos lotes aledaños, los cuales cuentan con las características de suelos adecuadas para poder sacar material de cobertura.

Al hacer los cálculos en el diseño de la nueva cuenca, se decidió hacer uso de 4 terrazas con volúmenes variables cada una, utilizando una altura de 5 metros para cada terraza. Calculando los

volúmenes de cada terraza obtenemos un resultado total de 176,216.35 metros cúbicos. Comparándolo con los 160,126.66 metros cúbicos de residuos sólidos que se producen al 3er año se comprende la razón de la corta vida útil de la cuenca. Con el terreno asignado, no se podría suplir la demanda del 4to año, solamente hasta el 3ero.

5.8. FUNCIONALIDAD DEL RELLENO SANITARIO

5.8.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO

En la nivelación del suelo de soporte o base de los terraplenes y en la apertura de las trincheras o zanjas se debe emplear equipo pesado, ya sea tractor de orugas y/o retroexcavadora. El mismo equipo servirá para la construcción del camino de acceso y las vías internas o la extracción y el almacenamiento de material de cobertura; es preferible que esta última actividad se realice solo en periodos secos. A continuación, se mencionan las maquinarias a utilizar para el funcionamiento del relleno:

Cargadora (Bulldozer): tiene como función realizar la preparación del sitio, suministrar la cubierta diaria y final y trabajos generales de movimiento de tierra. Así mismo, ayuda a distribuir y compactar los residuos sólidos. El grado de compactación de los residuos depende de la presión ejercida, a menor espesor de capa de residuos, mayor compactación.

Retroexcavadora: extrae el material de cobertura que se coloca a los residuos al final del día.

Camión recolector: se encarga de recolectar todos los desechos sólidos localizados en los diferentes puntos del municipio.

Volqueta: se encarga de transportar el material de cobertura.

5.8.2. SISTEMA DE MULTICAPAS

La siguiente ilustración muestra el sistema a utilizar para la colocación de las capas de material orgánico junto con los residuos sólidos. Como se puede observar, se coloca 35 cms de arena compactada encima del suelo natural, luego se coloca una tubería perforada de PVC 6" cubierta por grava tamaño $\frac{3}{4}$, la cual se sostiene sobre una geomembrana HDPE (polietileno de alta densidad) de 1.5mm de espesor. La capa drenante se conformará por material in situ, ya que este

mismo es utilizado para material de cobertura. El geotextil se coloca con función de evitar la filtración de los lixiviados hacia las aguas subterráneas y superficiales.

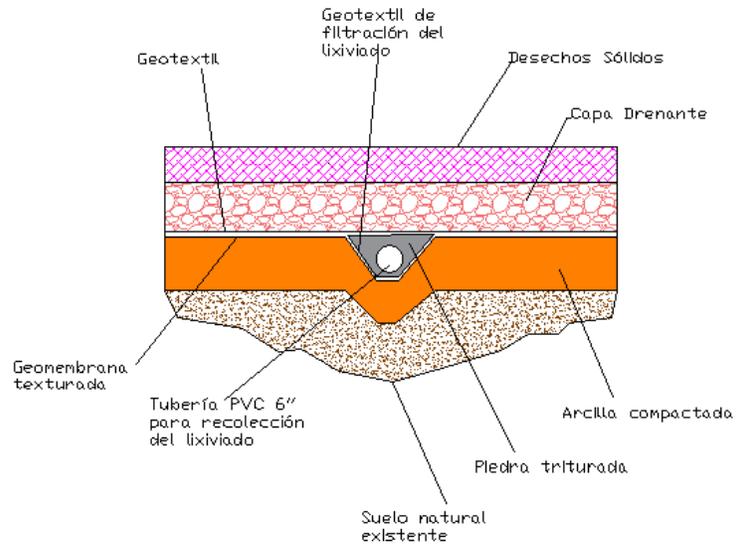


Ilustración 26- Sistema de multicapas.

La capa que se coloca sobre el geotextil, es de 65 cms de espesor, se utiliza material del sitio, luego la capa de desechos sólidos, y se repiten las capas a excepción de la tubería y el geotextil.

5.9. LIXIVIADO Y AGUAS DE LLUVIA

Se hace un control de escurrimiento el cual se refiere a los sistemas para desviar el agua de lluvia fuera del relleno sanitario (áreas que no son parte del relleno sanitario) debido que si no se hace estas aguas llegarían a inundar el área. A continuación, se presenta el diseño para lixiviado y aguas de lluvia.

5.9.1 SISTEMA DE DRENAJE DE LIXIVIADOS Y AGUAS LLUVIAS

Para construir un sistema de drenaje para lixiviado se hará uso del método Fukuoka, se colocará la tubería en forma de espina de pescado al interior del relleno.

5.9.2 DISEÑO DE CANAL PERIMETRAL PARA AGUAS DE LLUVIA

Es importante estudiar la precipitación pluvial del lugar, con el fin de establecer las características de los drenajes perimetrales y las obras necesarias. Así se minimizará la producción del líquido lixiviado y se evitará la contaminación de las aguas. (Jaramillo, 2002, p. 112)

Para las aguas de lluvia que caen alrededor del relleno sanitario suelen escurrirse hasta él, lo que dificulta la operación del relleno. Lo más recomendable es hacer uso de un canal perimetral para desviar el escurrimiento de aguas de lluvia, ya que contribuirá a reducir el volumen del lixiviado y a mejorar las condiciones de operación.

Se puede calcular el caudal que aporta la cuenca mediante el método racional y las dimensiones del canal según la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Ecuación 2-Cálculo de caudal para canal perimetral.

Donde:

Q = Caudal que ingresa o máximo escurrimiento [m³/seg]

C = Coeficiente de escurrimiento.

I = Intensidad de la lluvia para una duración igual [mm/hora]

A = Área tributaria [Ha].

Tabla 8- Datos para calcular el caudal del canal perimetral.

C	0.42	
I	205.117	mm/hora
A	10	Ha

Fuente: Elaboración Propia

$$Q = 2.393 \frac{m^3}{s}$$

Donde C se obtuvo de la tabla de coeficiente de escorrentía del Manual de referencias hidrológicas FHIS.

TABLA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE ESCORRENTIA DE ACUERDO AL USO, SUELO Y PENDIENTE

Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	Tipo de Suelo	Pendiente de Terreno			
		Pronunciada	Alta	Media	Suave
		>50%	>20%	>5%	<1%
Sin Vegetación o Suelos desnudos	A	0.70	0.65	60.00	55.00
	B	0.73	0.68	60.03	55.03
	C	0.77	0.72	60.07	55.07
	D	0.80	0.75	70.00	65.00
Cultivos anuales Maíz Frijol Arroz Melón Hortalizas	A	0.50	0.45	0.40	0.35
	B	0.60	0.50	0.50	0.45
	C	0.65	0.55	0.55	0.50
	D	0.70	0.65	0.60	0.55
Vegetación Ligera y Pastos Plantíos nuevos de café, Caña, banano, plátano Cítricos.	A	0.40	0.35	0.30	0.25
	B	0.55	0.50	0.45	0.40
	C	0.60	0.55	0.47	0.45
	D	0.65	0.60	0.50	0.50
Hierba, Grama	A	0.35	0.30	0.55	0.20
	B	0.50	0.45	0.25	0.35
	C	0.55	0.50	0.40	0.40
	D	0.60	0.55	0.45	0.45
Bosques coníferas y desiduos, con cobertura entre el 50-75%	A	0.30	0.25	0.50	0.15
	B	0.38	0.33	0.20	0.23
	C	0.47	0.42	0.28	0.32
	D	0.55	0.50	0.37	0.40
Vegetación Densa Bosques preñifolio Latifoliados o coníferas con cobertura > 75%	A	0.25	0.20	0.45	0.10
	B	0.32	0.27	0.15	0.17
	C	0.38	0.33	0.22	0.23
	D	0.45	0.40	0.35	0.30

Ilustración 27- Coeficiente de escorrentía

Fuente: Manual de referencias hidrológicas FHIS

Considerando una cobertura vegetal tipo bosques coníferas y desiduos, con cobertura entre el 50-75% y una pendiente del terreno alta.

La intensidad de la lluvia se calcula usando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{a}{(b + d)^n}$$

Ecuación 3- Calculo de intensidad de lluvia

Donde:

a, b, d son constantes que dependen del tipo de suelo.

t_r = tiempo de retención de la lluvia en minutos.

Se tomará como referencia hidrológica Puerto Barrios, para calcular la intensidad de lluvia en Puerto Cortés.

Se tienen los siguientes datos:

a	11380
b	30
d	15
n	1.054

$$I = 205.117 \frac{mm}{hr}$$

Tomando en consideración el caudal de $2.393 \text{ m}^3/\text{s}$ para definir el diseño geométrico del canal se hará uso de Hcanales (Programa para el diseño de canales y estructuras hidráulicas) bajo ciertos criterios. Para efecto de diseño este programa solicita los siguientes datos: caudal, ancho de solera, talud, rugosidad del material y la pendiente. Siendo b (ancho de solera) asumiendo que es igual a 0.3.

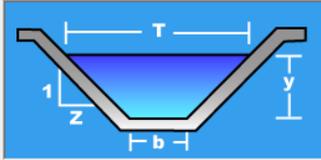
Nota: El canal perimetral de aguas de lluvia del relleno sanitario de Puerto Cortés presenta un rango de pendientes que oscilan entre 0.05 a 0.005, por lo tanto, la pendiente se consideró de 0.05 m/m.

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Puerto Cortés** Proyecto: **Ampliación Relleno Sanitario**
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m3/s
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m



Resultados:

Tirante normal (y): m Perímetro (p): m
Área hidráulica (A): m2 Radio hidráulico (R): m
Espejo de agua (T): m Velocidad (v): m/s
Número de Froude (F): Energía específica (E): m-Kg/Kg
Tipo de flujo:

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ilustración 28- Calculo de tirante para canal perimetral

Fuente: Elaboración Propia

5.9.3 CÁLCULO DE LA GENERACIÓN DE LIXIVIADO

Para este cálculo se toman a consideración varios factores como:

- 1) Precipitación pluvial en el área del relleno.
- 2) Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- 3) Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).

Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido.

Se calculará de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado a través del método suizo mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K$$

Ecuación 4- Cálculo de caudal para lixiviado.

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviado (L/seg)

P= Precipitación media anual (mm/año) – Dato obtenido de Clima de Puerto Cortés.

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura

Tabla 9- Datos para calcular el caudal para lixiviado.

P	2405	MM/AÑO
A	10,132.04	M ²
T	31,536,000.00	seg/año
K	0.2	constante

Fuente: Elaboración Propia.

$$Q = 0.1545L/seg$$

5.9.3.1 Volumen de lixiviado

Se estimará con la siguiente ecuación:

$$V = Q \times t$$

Ecuación 5- Cálculo de volumen para lixiviado.

Donde:

V = Volumen de lixiviado que será almacenado (m³)

Q = Caudal medio de lixiviado(m³/mes)

t = número máximo de meses con lluvias consecutivas (mes)

Tabla 10- Datos para calcular el volumen para lixiviado.

Q	400.464	m3/mes
t	3	meses

Fuente: Elaboración Propia

$$V = 1201.4 \text{ m}^3$$

5.9.3.2 Cálculo de tirante para lixiviados

En la siguiente ilustración se muestra el cálculo del tirante para la tubería de lixiviado, se utilizó el sistema de almacenamiento en forma de espina de pescado. Utilizando un diámetro de tubería perforada de 6" (0.15 m), también se consideró una rugosidad de 0.001 por el tipo de material que es PVC, con una pendiente mínima de 0.005 m/m.

Calculador del tirante normal, sección circular

Lugar: Proyecto:

Tramo: Revestimiento:

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Diámetro (d): m

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m



Resultados:

Tirante normal (y): m

Perímetro mojado (p): m

Área hidráulica (A): m²

Radio hidráulico (R): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Número de Froude (F):

Energía específica (E): m-Kg/Kg

Tipo de flujo:

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ilustración 29- Cálculo de tirante para tubería de lixiviado.

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos de Hcanales, se puede decir que para este proyecto se puede usar tubería de 6".

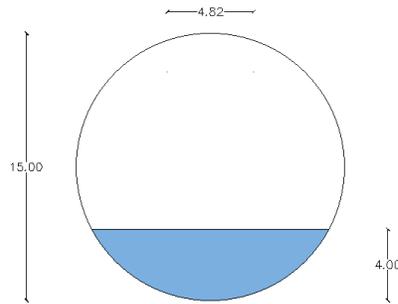


Ilustración 30- Diagrama de tubería

Fuente: Elaboración Propia

5.10. SISTEMA DE CHIMENEAS

El drenaje de gases está constituido por un sistema de ventilación de piedra o tubería perforada de concreto (revestida con piedra) que funciona a manera de chimeneas o tubos de ventilación que atraviesan en sentido vertical todo el relleno. Estas se construyen conectándolas a los drenajes de lixiviado que se encuentran en el fondo y se las proyecta hasta la superficie, a fin de lograr una mejor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases. (Montejo, 2010)

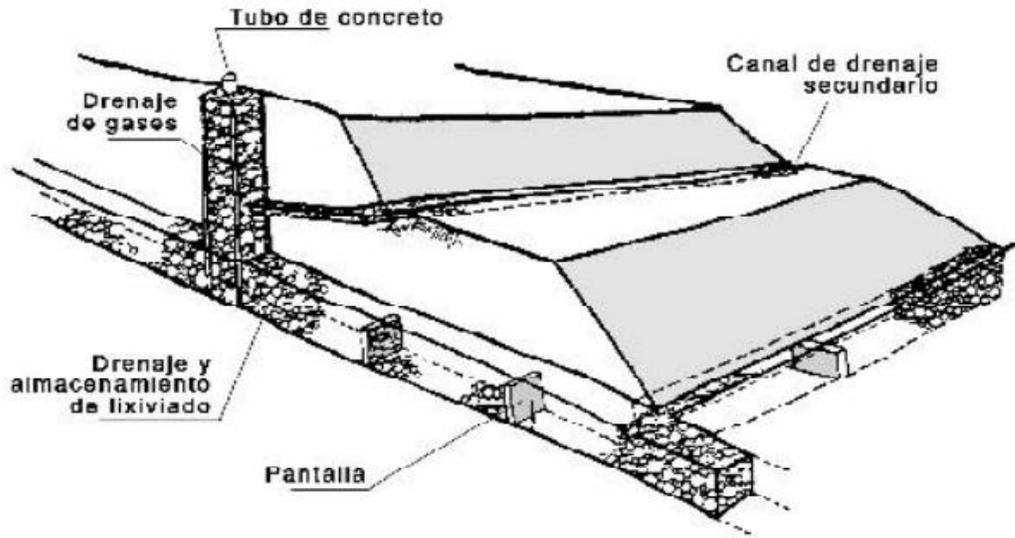


Ilustración 31- Conexión de drenaje de gases.

Fuente: (Jaramillo, 1991)

Porcentaje de gas de relleno que se puede captar (%)	Tipo de relleno
0	Relleno sin ningún sistema de drenaje de gas
10 – 20	Relleno con drenaje puntual pasivo (chimeneas u orificios), mal compactado y sin cobertura suficiente.
25 – 50	Relleno con drenaje activo (soplador), mal compactado y sin cobertura suficiente
30 – 60	Relleno con drenaje pasivo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente
40 - 70	Relleno con drenaje activo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente
70 - 100	Relleno cerrado con taludes y capa final impermeable y bien compactada, drenaje pasivo o activo

Ilustración 32- Porcentaje de gases.

Fuente: (Jaramillo, 1991)

Estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando que su entorno esté bien compactado. Se recomienda que sean instaladas cada 20 o 50 metros, según el criterio del técnico.

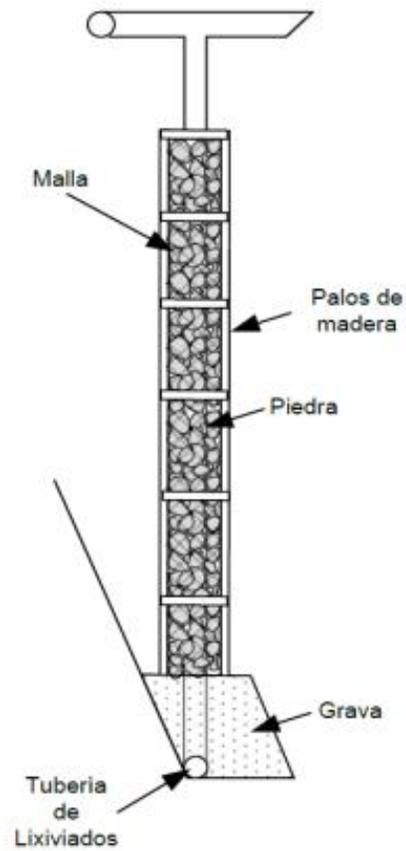


Ilustración 33- Detalle de chimenea.

Fuente: (Jaramillo, 1991)

5.11. PRUEBAS DE LABORATORIO

Ensayo de granulometría

Tamiz No.	Tamaño Tamiz (mm)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	% Retenido Acumulado	% que pasa por el Tamiz
¾"	19	253.56	253.56	25	74.64
½"	12.5	89.56	343.12	34	66
⅜"	9.5	98.56	441.68	44	55.83
No. 4	4.75	76.35	518.03	52	48.20
No. 10	2	150.56	668.59	67	33.14
No. 40	0.425	189.19	857.89	86	14.21
No. 200	0.075	141.6	999.77	100	0.02
Pasa No. 200 (Fondo)		0.62			
Total		1000			

D10 (mm) = 0.131

D30 (mm) = 1.11

D10 (mm) = 0.62

Cu = 12.37

Cz = 5.81

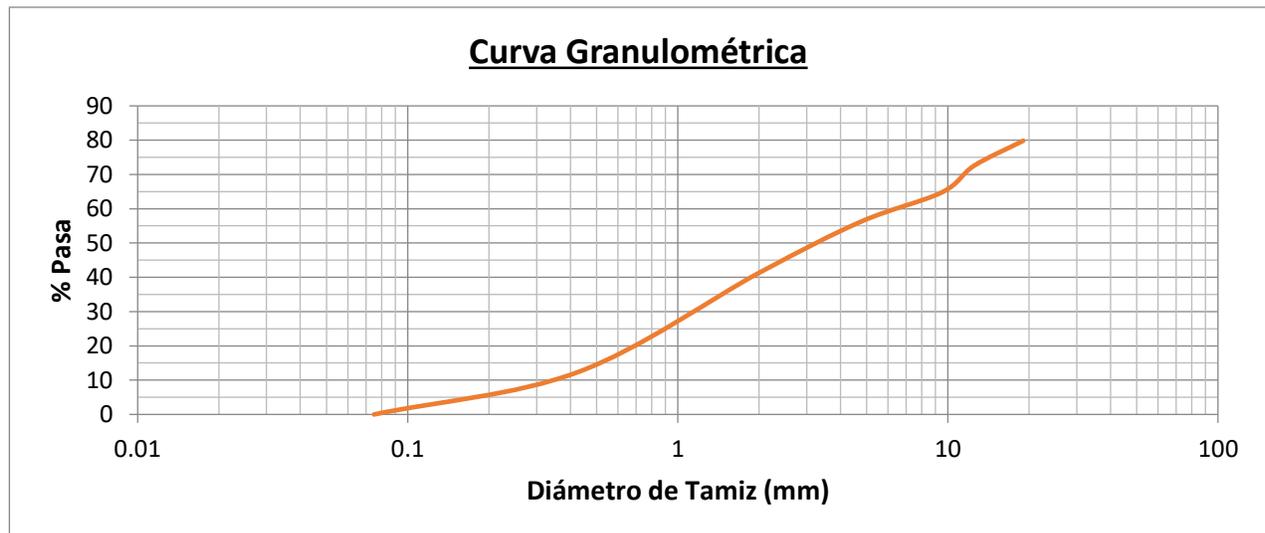
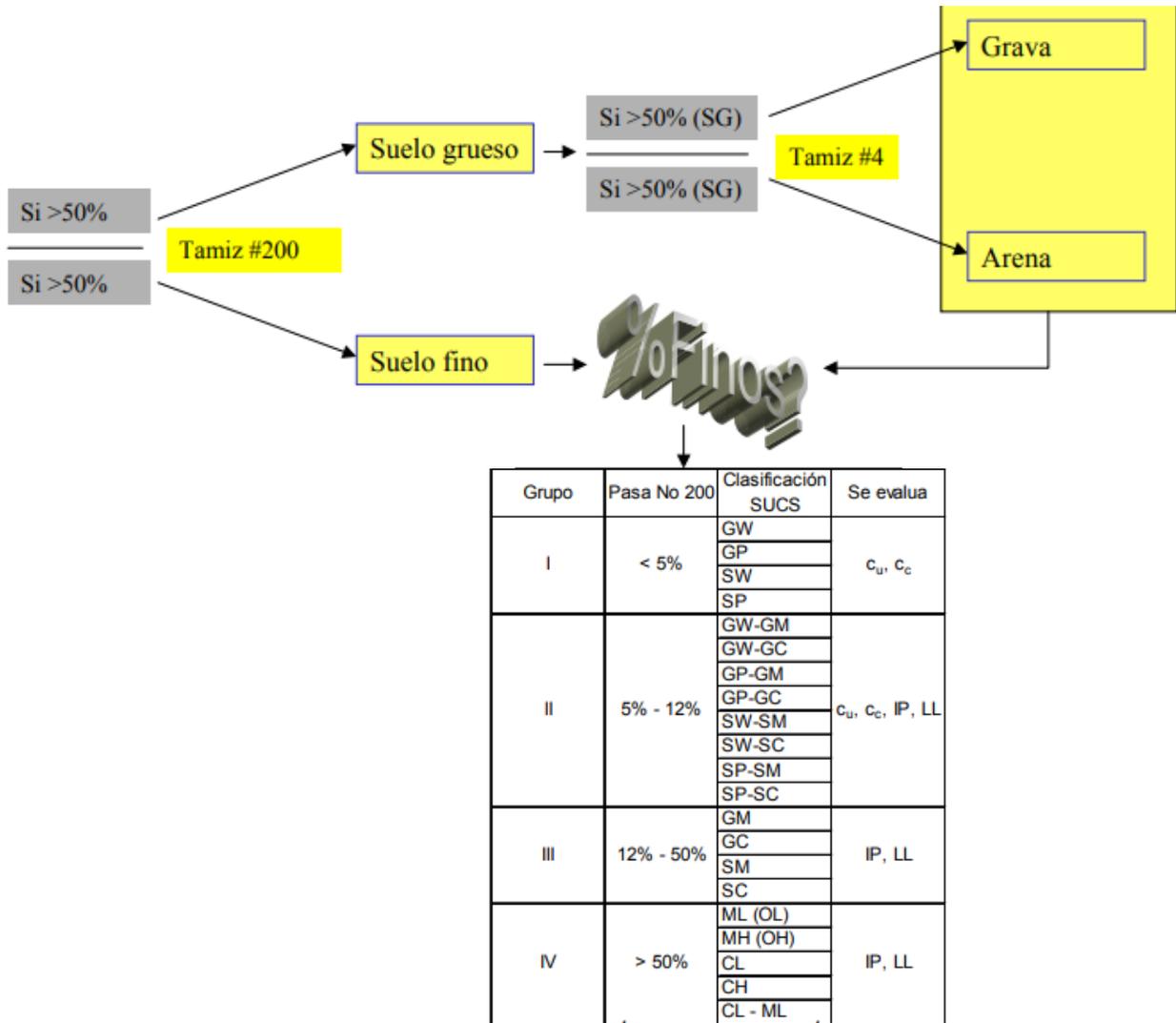


Ilustración 34- Clasificación del suelo

Fuente: Propia

Método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)



Tipo de Suelo: Grava bien graduada.

5.12. TANQUE SÉPTICO

Debido a los lixiviados producidos del relleno sanitario se necesitará el uso de un tanque séptico. A continuación, se presentan los cálculos hechos para la dimensión del tanque séptico.

5.12.1. VOLUMEN DEL TANQUE SÉPTICO

$$V_s = 0.001 * (P * q) * PR$$

Ecuación 6 – Volumen de sedimentación.

Donde:

P= 185 habitantes.

Q= 0.1545 lt/seg

PR (periodo de retención) = 30 días.

$$V_s = 0.9435 \text{ m}^3$$

Luego se calcula el volumen de lodos.

$$V_d = 40 * 0.001 * 185 * N$$

Ecuación 7 – Volumen de digestión y almacenamiento de lodos.

Donde:

N= intervalo en años de remoción de lodos.

$$V_d = 7.4 \text{ m}^3$$

Dando un volumen total del tanque séptico de 8.3435 m³.

5.12.2. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE SÉPTICO

Se estableció por norma la profundidad mínima útil de un tanque séptico es de 1.20 metros. Por lo que el área se calcula de la siguiente manera:

$$A = V_t / \text{profundidad}$$

Ecuación 8 – Área del tanque séptico.

Donde:

Vt= 8.3435 m3

Profundidad= 1.20 metros

$$A= 6.95 \text{ m}^2 \approx 7\text{m}^2.$$

Al obtener el área del tanque séptico, se puede calcular su largo y ancho de la siguiente manera:

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Ecuación 9 – Ancho del tanque séptico.

Lo que da como resultado:

$$a= 1.87 \text{ metros.}$$

Y el largo multiplicando el ancho por dos:

$$b = 2 * a$$

Ecuación 10 – Largo del tanque séptico.

Lo que resulta:

$$b= 3.74 \text{ metros.}$$

Al tener el área y volumen del tanque séptico, se calcula la profundidad máxima de espuma sumergida (He), la profundidad libre de lodo (Ho) y la profundidad mínima requerida para la sedimentación (Hs).

$$He = 0.7/A$$

Ecuación 11 – Profundidad máxima de espuma sumergida.

Dando como resultado:

$$He= 0.1.$$

Luego:

$$Ho = 0.82 - 0.26 * A$$

Ecuación 12 – Profundidad libre de lodo.

Dando como resultado:

$$H_o = 1 \text{ metro.}$$

Por último:

$$H_s = V_s/A$$

Ecuación 13 – Profundidad mínima requerida para la sedimentación.

Dando como resultado:

$$H_s = 0.13 \text{ metros.}$$

A continuación, se presenta una imagen con el fin de poder ver en detalle los cálculos obtenidos.

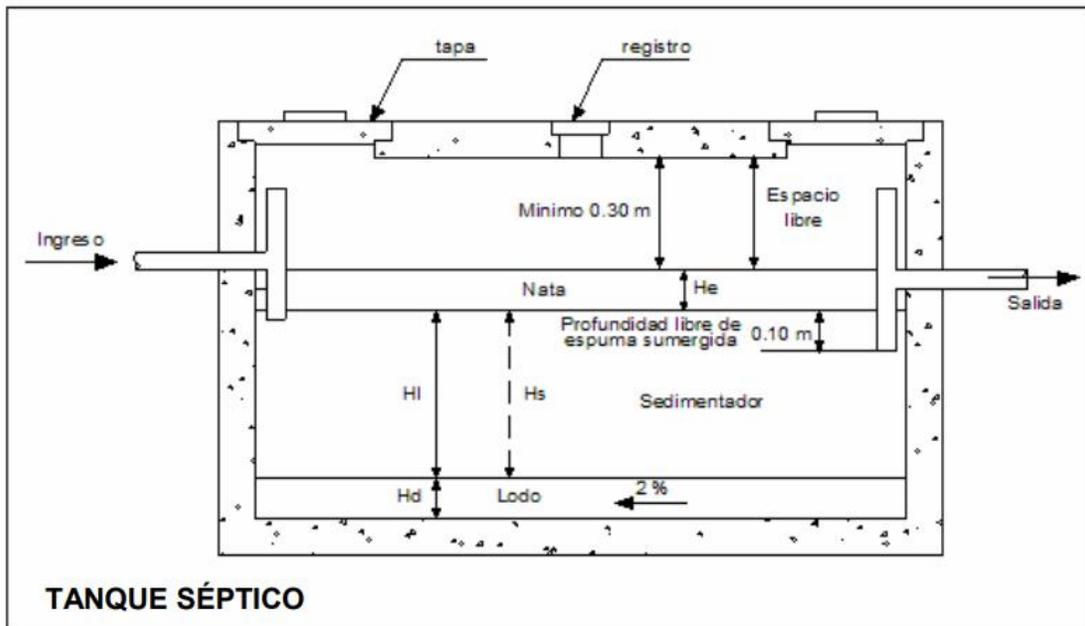


Ilustración 28- Demostración de profundidades del tanque séptico.

En conclusión, se tomó la decisión de diseñar un tanque séptico que cumpla con los cálculos e incluso hacerlo un poco más grande para que pueda funcionar para futuros proyectos.

5.12.3. DIMENSIONES REALES DE TANQUE SÉPTICO

Las siguientes dimensiones son las reales del diseño realizado para el tanque séptico:

Tabla 11 – Dimensionamiento real de tanque séptico.

Ancho	2.5 metros
Largo	5 metros
Htotal	1.75 metros
Vt	15.625

Fuente: Propia.

5.13. PCO

 unitec <small>LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES</small>		PRESUPUESTO			
PROYECTO: AMPLIACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN LA COMUNIDAD EL CHILE, PUERTO CORTÉS					
ELABORADO POR: VERÓNICA REYES/ DAVID NAVARRO/ LILIAN MALDONADO					
PROPIETARIO: MUNICIPALIDAD DE PUERTO CORTÉS					
FECHA: 24/10/2019		*El presente PCO toma en cuenta el presupuesto para la realización de la primera terraza solamente, debido a falta de material de cobertura.			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	P.U.	VALOR LPS.
1	PRELIMINARES				
1.1	LIMPIEZA GENERAL DEL TERRENO CON TRACTOR	M2	10,132.04	L 7.80	L 79,029.91
1.2	ACARREO INTERNO DE CAPA VEGETAL	M3	506.60	L 42.20	L 21,378.60
1.3	MARCAJE TOPOGRÁFICO	M2	10,132.04	L 6.49	L 65,765.92
SUBTOTAL LPS.					L 166,174.44
2	MOVIMIENTO DE TIERRA EN ÁREA DE DISPOSICIÓN Y PREPARACION DE LA SUPERFICIE				
2.1	CONFORMACIÓN DEL TERRENO	M2	10,132.04	L 7.10	L 71,937.48
2.2	COLOCACION DE GEOTEXTIL DE FILTRACION	M2	10,132.04	L 59.60	L 603,829.06
2.3	COLOCACION DE CAPA DE GEOMEMBRANA HDPE (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD) DE 1.5 mm	M2	10,993.35	L 318.67	L 3503,197.89
2.4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAPA DRENANTE CON MATERIAL DE COBERTURA CON UN ESPESOR DE 65 CM	M3	538.31	L 451.50	L 243,048.95
SUBTOTAL LPS.					L 4422,013.38
3	SISTEMA PLUVIAL				
3.1	EXCAVACION DEL CANAL NATURAL PERIMETRAL	M3	74.85	L 50.25	L 3,761.21
3.2	CONFORMACION DE AREA DE CANAL NATURAL	ML	499.00	L 42.50	L 21,207.50
SUBTOTAL LPS.					L 24,968.71
4	SISTEMA DE CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS				
4.1	EXCAVACIÓN COMUN DE ZANJAS PARA TUBERIA DE LIXIVIADO	M3	828.18	L 34.50	L 28,572.07
4.2	ACOSTILLADO DE TUBERIA CON ARENA DE RIO Y MATERIAL DE SITIO E=0.35m ANCHO=0.80m	M3	289.86	L 336.53	L 97,545.67
4.3	RELLENO CON MATERIAL DE SITIO Y COMPACTACIÓN DE ZANJAS PARA TUBERIA DE LIXIVIADOS	M3	828.18	L 42.50	L 35,197.48
4.4	TUBERÍA PVC 6" SDR 41 DE CONDUCCIÓN DE LIXIVIADO PERFORADAS INCLUYE INSTALACIÓN	ML	1,035.22	L 210.38	L 217,788.81
4.5	CHIMENEAS PARA LOS GASES DE LIXIVIADOS	ML	380.00	L 251.17	L 95,443.29
SUBTOTAL LPS.					L 474,547.33
5	FOSA PARA LIXIVIADOS				
5.1	MARCAJE PARA CONSTRUCCIÓN DE FOSA	ML	23.00	L 15.90	L 365.77
5.2	EXCAVACIÓN COMÚN PARA FOSA	M3	77.175	L 50.25	L 3,878.04
5.3	ACARREO DE MATERIAL SOBRANTE PRODUCTO DE LA EXCAVACION	M3	77.175	L 57.00	L 4,398.98
5.4	CONSTRUCCION DE FOSA SEPTICA DE 2.50x5.00x1.70m, PISO DE FOSA e=15cm varilla #4 @25 A/S, PAREDES DE BLOQUE 6 FUNDIDAS CON REFUERZO VERTICAL #4@0.40m Y REFUERZO HORIZONTAL 2#3 @ 1 HILADA, LOSA SUPERIOR DE 10 CM REFUERZO VARILLA #3@0.20m A/S. ACABADO REPELLO Y PULIDO TIPO PILA E IMPERMEABILIZANTE TIPO CEMENTICIO IM-1 ADMIX.	GBL	1	L 65,061.04	L 65,061.04
SUBTOTAL LPS.					L 73,338.06
SUBTOTAL.....					L 5161,041.92
COSTOS INDIRECTOS Y ADMINISTRATIVOS		2.87%			L 148,121.90
UTILIDAD NETA		20%			L 1061,832.77
GRAN TOTAL EN LEMPIRAS LPS.					L 6370,996.59

CONCLUSIONES

- 1) El tipo de diseño a realizarse será por el método de terrazas debido a la variación de nivel del terreno, por lo tanto, se considera que este es el mejor método para el diseño.
- 2) El nuevo terreno oscila entre las curvas de nivel 35-55 metros sobre el nivel del mar. Mediante las pruebas de laboratorio con el ensayo de granulometría se pudo concretar que el tipo de suelo encontrado en la zona es Grava bien graduada.
- 3) Tomando en consideración los resultados obtenidos mediante el diseño y la revisión hecha en función de los 0.85kg/hab/día que brinda cada persona se logró abarcar 153,923.07 toneladas, esto supone un incremento en la capacidad de albergue de residuos sólidos de 3 años.
- 4) La producción de lixiviados se manejará con un sistema de drenaje por el método de espigas de pescado, el cual consiste en una estructura de una tubería central perforada de PVC con un diámetro de 6", que contiene tuberías, con mismas características, conectadas a cada 6 metros con el propósito de recolectar los lixiviados a lo largo y ancho de la cuenca, y ser llevados a la fosa séptica.
- 5) El gas metano se controlará a través de tuberías perforadas cubiertas de rocas hasta 6" de grosor, con el fin de evitar el ingreso de material orgánico y residuos sólidos dentro de la tubería. Estas mismas irán conectadas a la tubería central de drenaje de lixiviados, con una separación mínima de 20 metros. Este sistema es conocido como el método de chimeneas.
- 6) El monto de inversión total del proyecto será de Lps. 6,370,996.59.
- 7) Según la tabla de categorización otorgada por la Ley General del Ambiente, declara que para los rellenos sanitarios municipales que reciben entre 50 a 250 ton/día es denominado un proyecto ambiental de categoría 3.

RECOMENDACIONES

- 1) Considerar el diseño de una Laguna de Estabilización para tratar los lixiviados, producto de la descomposición de la basura, ya que el uso de una fosa séptica no es lo más recomendable para fluidos con un alto porcentaje de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).
- 2) Al ingresar los desechos sólidos al relleno sanitario, se sugiere controlar las características de éstos, específicamente en lo que a peso o volumen se refiere, y cuando se superen las 100 toneladas por día, adquirir un tractor de oruga con un cargador frontal de 1.5 a 3.0 m³.
- 3) Considerar la compra de lotes aledaños al sitio para obtener material de cobertura apto para el relleno sanitario. La funcionalidad de la nueva cuenca depende de la obtención del material de cobertura.
- 4) Programar el movimiento de tierra o la extracción del material de cobertura para los periodos secos, dejando para la época de lluvia sólo el enterramiento de los desechos sólidos.
- 5) Realizar un pozo de absorción como complemento del tanque séptico, para el tratamiento secundario de los lixiviados.

BIBLIOGRAFÍA

- Avendaño, E. (2015). *Panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos*. Colombia.
- BCIE. (2018). *Inauguran relleno sanitario en Honduras*. Recuperado de https://www.bcie.org/novedades/noticias/articulo/inauguran-relleno-sanitario-en-honduras/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=6&cHash=b5d72a967ee62e26b2f59e0104e1b498
- Castro, E. A. V. (2015). Germina un nuevo orden de conocimiento para gestionar la formación de ingenieros civiles. *Uni-pluri/versidad; Medellín, 15(2)*, 85-96.
- EC, R. (2017). *Los 10 rellenos sanitarios más grandes del mundo*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/mundo/actualidad/10-rellenos-sanitarios-grandes-mundo-fotos-noticia-476486>
- Jaramillo, J. (1991). *GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACION DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES*.
- Klein, F., & Jiménez, M. (2014). *Manual de Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios en Honduras* (p. 146).
- López, Y. (2019). *Así es el relleno sanitario de la metrópolis más grande del mundo*. Recuperado de <https://listindiario.com/la-vida/2019/04/04/559946/asi-es-el-relleno-sanitario-de-la-metropolis-mas-grande-del-mundo>
- Milla, P. (s. f.). *Guías de Laboratorio Mecánica de Suelo I*. Recuperado de <https://unitec.blackboard.com/bbcswebdav/pid-1113905-dt-content-rid->

2697468_1/courses/HNTC01.UNITEC.898LCI303201712SPS/MANUAL_DE_LABORATORIO_UNITEC.pdf

Molina, E. (2016). *En septiembre habilitan relleno sanitario construido por España*. Recuperado de <https://www.laprensa.hn/honduras/976802-410/en-septiembre-habilitan-relleno-sanitario-construido-por-esp%C3%B1a>

Montejo, J. (2010). *Elaboración de una herramienta en excel que permita el cálculo de la cantidad de gas metano y lixiviados producido en un relleno sanitario*. Universidad Industrial de Santander.

Municipalidad de Puerto Cortes. (2004). *Manual sobre el manejo del relleno sanitario de Puerto Cortes*.

Noguera, K. (s. f.). *Los Rellenos Sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/301799194_Los_rellenos_sanitarios_en_latinoamerica_Caso_colombiano

Organizacion Panamericana de la Salud. (s. f.). *Serna y OPS lanzan primera fase de Campaña Honduras Sin Basura*. Recuperado de https://www.paho.org/hon/index.php?option=com_content&view=article&id=1069:residuos-solidos-basura&Itemid=225

Panting, C. (2013). *Relleno sanitario, otra gran obra en Comayagua*. Recuperado de <https://www.laprensa.hn/honduras/apertura/327903-98/relleno-sanitario-otra-gran-obra-en-comayagua>

Rivera, S. (s. f.). *Visita al Relleno Sanitario Terrazas El Provenir*. Recuperado de https://www.academia.edu/35061582/Informe_Visita_AI_Relleno_Sanitario_Terrazas_El_Porvenir_Del_Municipio_De_Sogamoso._DESCRIPCION_DE_LA_PROBLEMÁTICA_DE_RESIDUOS_SÓLIDOS

Roben, E. (2002). *Diseño, construcción, operación, y cierre de rellenos sanitarios municipales*.

Rosso, M. (2007). *EXPERIENCIA INTERNACIONAL DE RELLENO SANITARIO, RECICLADO Y EXPERIENCIA NACIONAL DEL PROGRAMA DE RECICLAJE DE RESIDUOS*. Recuperado de <http://www.acadning.org.ar/anales/2007/08-Rosso.pdf>

Secretaria de Medio Ambiente. (2009). *Manual de especificaciones técnicas para la construcción de rellenos sanitarios para residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial*. México.

Ullca, J. (2006). *Los Rellenos Sanitarios*. 4. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

Weih, J. (2011). *Fundamentos sobre los Rellenos Sanitarios*. Presentado en Argentina. Recuperado de https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20110627_weih.pdf

ANEXOS



Ilustración 29- Relleno sanitario actual.



Ilustración 30- Vista panorámica del relleno sanitario actual.

SECTOR 11. SANEAMIENTO									
SECTOR 11. SANEAMIENTO, SUBSECTOR A. GESTIÓN DE RESIDUOS									
SECTOR	SUBSECTOR	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	CIBU-3	CÓDIGO	Categoría			
						1	2	3	4
SECTOR 11. SANEAMIENTO	A. Gestión de Residuos	001. Incineración de residuos sólidos	Incineración de residuos domésticos	SC	11A001		≥1 Tn / día		
		002. tratamiento de residuos especiales.	Residuos hospitalarios o similares, Incineración u otros	SC	11A002			Todos	
		003. Tratamiento y Disposición final de residuos sólidos ordinarios.	Rellenos sanitarios municipales	9000	11A003		0 - 50 Ton/día	> 50 - 250 Ton/día	> 250 Ton/día
		004. Tratamiento de Residuos Peligrosos incluyendo Centros de Acopio	Incluye transporte, almacenamiento y tratamiento	9000	11A004				Todas
		005. Transporte de Residuos Peligrosos incluyendo Centros de Acopio	Incluye transporte y centros de acopio	SC	11A005				Todas
		006. Almacenamiento de Residuos Peligrosos incluyendo Centros de Acopio	Cuando no formen parte de un proceso productivo (solo incluye Almacenamiento)	SC	11A006				Todas
		007. Disposición final de residuos peligrosos cuando no formen parte de un proceso productivo.	Cuando no formen parte de un proceso productivo, (incluye transporte, almacenamiento y tratamiento)	9000	11A007				Todas
		008. Transporte de residuos peligrosos cuando no formen parte de un proceso productivo.	Incluye solamente Transporte	SC	11A008				Todas
		009. Disposición final de residuos peligrosos cuando formen parte de un proceso productivo.	incluye solamente almacenamiento y tratamiento)	SC	11A009				Todas
		010. Centro de acopio de residuos peligrosos	Centro de acopio de residuos peligrosos (Químicos, radioactivos, entre otros)	SC	11A010				Todas

Ilustración 31- Categorización ambiental del proyecto.



Ilustración 32- Integrantes del proyecto junto al ingeniero Ortega.



Ilustración 33- Modelo en SketchUp del Relleno Sanitario.



Ilustración 34- Visualización del sistema de chimeneas en SketchUp.



Lazarus & Lazarus, S. A. de C. V.

OFICINA TEGLUCIALPA
Complejo de Bodegas EL Rincón
500 Mts. al Norte de la AMDC
Barrio El Rincón, Tegucigalpa, MDC
Tel: 2221-4119, 2221-4121, 2221-4376

TIENDA 105 BRIGADA, S. P. S.
5ta. Calle B, Ave. Circunvalación,
Zona Militar Local # 1
Frente a la 105 Brigada
Tel: 2553-6836 / 2553-6444

TIENDA MIRAMONTES, TGU.
Caj. Miramontes, Calle Principal
Fte Comercial Prisa, Contiguo Larach
Local No.2 Tel: 2239-0147 / 2239-0148

TIENDA TONCONTIN, TGU.
Complejo Comercial Aeropuza, Blvd.
Aeropuerto, Contiguo a Aduana Toncontin
Altras de Calle Expresado Americano
Tel: 2234-9980 / 2291-0414

TIENDA SUYAPA, TGU.
Bivivi. Suyapa, Edif. Plaza Urbana, contiguo
a Edif. de Previsión del Periodista, Local # 5
Tel: 2239-0310 / 2239-0305

TIENDA COMAYAGUA.
Barrio Cabañas, plaza Santa Monica,
Contiguo a dunkin donuts Honduras.
Tel: 2772-9001 / 2772-9395

TIENDA PRADO ALTO.
10 Ave. 17 calle S.O. No. 171
Ave. Circunvalación, Col. Prado Alto,
San Pedro Sula, Cortes, Honduras, C.A.
Tel: 2556-6528 / 2556-6352



SC-CER777300-1

LL-CM-R-03 Ver.02

Email: Docampo@lazarushn.com
www.lazarushn.com

COTIZACION

PARA	ING. VERONICA REYES	NUMERO	50298
CODIGO	001-00033	FECHA	19/SEP/2019
ATT		REF	
TELEFONO	9968 3893	SERIE	OFIC-SPS
FAX			

Al momento de cancelar la factura no se deberá aplicar la retención del 1%, ya que Lazarus & Lazarus S. A. de C. V. se encuentra sujeto al Régimen de Pagos a Cuenta, según lo que indica el Decreto #17-2010 (en la fe errata del 29 de mayo del 2010)

#	ARTICULO	DESCRIPCION	CANT.	PRECIO UNITARIO	DESC	PRECIO TRAS DESC.	MONTO
1	013-00011	GEOTEXTIL HP370 (Mts.2) Rollo 418 m2	1	47.16	2.36	44.80	44.80
2	020-2078804	ANCLAJE KBV 1/2"x5-1/2"	1	41.16	2.06	39.10	39.10

Tiempo de Entrega : INMEDIATA

Tiempo de Validez : 15 DÍAS

Vendedor : Proyecto Zona Compartida

Comentarios	Subtotal Lps.	83.90
	ISV 15%	12.59
	Total Lps.	96.49

-Favor traer copia de RTN al momento de Facturar

DIEGO OCAMPO

Ilustración 35- Cotización del geotextil.

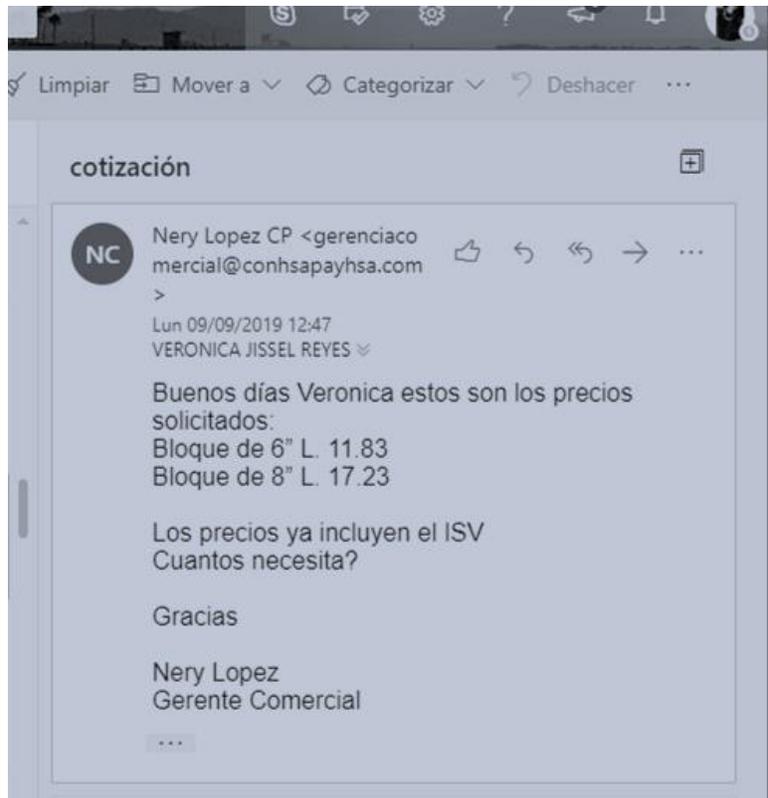


Ilustración 36- Cotización de los bloques.