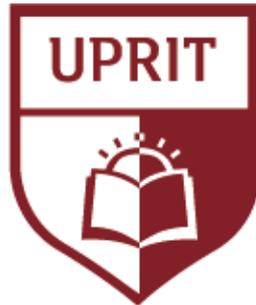


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN
DE LA PLANTA DE RESIDUOS SOLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS
2020**

**TESIS:
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:
Bach. WALTER ELOY ALVAREZ RUIZ
ASESOR
ING. GUIDO ROBERT MARIN CUBAS**

**TRUJILLO – PERÚ
2020**

Hoja de Firmas

Presidente

Secretario

Vocal

Dedicatoria

Especialmente a mi esposa Silvia y a mi hijo Hanns, que son el motor de mi esfuerzo del día a día, ya que siempre y en todo momento, me hicieron ver que todo esfuerzo tiene sus recompensas, siempre con su apasionado e incondicional apoyo para no desistir de este proyecto que ahora está pronto a concluirse, mi amor, dedicación y todo mi esfuerzo siempre para ellos.

Agradecimiento

A mi familia, a mis padres, a mis hermanos en especial a mi hermano el Ing. Jack Alvarez Ruiz, quien siempre estuvo en los momentos complicados de este proyecto desde, que inicie y ahora que está concluyendo. Al mismo tiempo ciento más ganas de seguir sumando esfuerzos y conseguir más logros, puesto que no estaré solo, siempre contare con el apoyo de toda mi familia y amistades.

Índice de Contenidos

| | |
|---|----|
| Hoja de Firmas | 2 |
| Dedicatoria | 3 |
| Agradecimiento..... | 4 |
| Índice de Contenidos..... | 5 |
| Índice de Tablas | 8 |
| Índice de Figuras | 10 |
| Resumen | 13 |
| Abstract..... | 14 |
| I. Introducción | 15 |
| Introducción..... | 16 |
| I.1. Realidad Problemática..... | 18 |
| I.2. Formulación del problema | 19 |
| I.3. Justificación de la Investigación | 19 |
| I.4. Objetivos de la investigación..... | 20 |
| I.4.1. Objetivo general..... | 20 |
| I.4.2. Objetivos Específicos..... | 20 |
| I.5. Antecedentes. | 21 |
| I.5.1. Antecedentes de la Investigación..... | 22 |
| I.5.2. Uso de los Geosintéticos en el Perú | 24 |
| I.5.3. Geotextiles | 24 |
| I.5.4. Geomembranas..... | 26 |
| I.5.5. Uso de los Geosintéticos en el Mundo..... | 26 |
| I.5.6. Geotextiles en el Mundo..... | 28 |
| I.5.7. Geosintéticos en rellenos de suelos | 30 |
| I.5.8. Geosintéticos En Tratamiento De Residuos Sólidos | 30 |
| I.6. Bases Teóricas..... | 31 |
| I.6.1. Definición de los Geosintéticos..... | 31 |
| I.6.2. Clasificación de los Geosintéticos | 31 |
| I.6.2.1. Geotextiles | 33 |
| I.6.2.2. Geomembranas | 57 |
| I.6.3. Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos..... | 70 |
| I.6.3.1. Residuos sólidos..... | 70 |
| I.6.3.2. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos | 71 |
| I.6.4. Problemática de la Gestión de Residuos Sólidos Municipales | 71 |
| I.6.4.1. Manejo de Residuos Sólidos de Gestión Municipal..... | 72 |

| | |
|---|------------|
| I.6.4.2. Fiscalización del Manejo de Residuos Sólidos del Ámbito de Gestión Municipal | 72 |
| I.6.5. Problemática de los Residuos Sólidos en el Perú | 72 |
| I.6.6. Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos | 73 |
| I.6.7. Rol del OEFA..... | 73 |
| I.6.8. Modelo de las Tres “R” | 73 |
| I.6.8.1. Reducir | 73 |
| I.6.8.2. Reusar / Reutilizar | 73 |
| I.6.8.3. Reciclar | 73 |
| I.7. Definición de términos básicos. | 73 |
| I.8. Formulación de la hipótesis..... | 74 |
| I.8.1. Hipótesis general..... | 74 |
| I.8.2. Hipótesis específicas | 74 |
| II. Material y Métodos..... | 75 |
| II.1. Material:..... | 76 |
| II.1.1.De consumo | 76 |
| II.1.2.De Inversión | 76 |
| II.1.3.Servicios..... | 76 |
| II.2. Material de estudio. | 77 |
| II.2.1.Población. | 77 |
| II.2.2.Muestra..... | 77 |
| II.3. Técnicas, Procedimientos e Instrumentos..... | 77 |
| III. Resultados y Discusión..... | 79 |
| III.1. Metodología de diseño de los geotextiles y geomembranas en la planta de residuos sólidos de Jesús. | 80 |
| Generalidades | 80 |
| III.1.1. Ubicación del área de estudio | 80 |
| III.1.2. Vías de acceso..... | 81 |
| III.1.3. Altitud de la zona..... | 83 |
| III.1.4. Condiciones climáticas..... | 83 |
| III.2. Diseño con geotextiles..... | 85 |
| III.2.1. Ensayos a los geotextiles | 85 |
| III.2.2. Diseño del geotextil..... | 103 |
| III.2.3. Diseño de geomembranas | 107 |
| III.2.3.1. Diseño por espesor..... | 107 |

| | | |
|---|--|-----|
| III.2.3.2. | Estabilidad de la cobertura del relleno | 109 |
| III.2.3.3. | Diseño de la longitud y zanja de anclaje | 110 |
| III.2.3.4. | Chequeo por supervivencia | 111 |
| III.2.4. | Aplicación del software geosoft pavco v 3.0..... | 112 |
| Este software refleja todos los aspectos a controlar en el diseño como son: | | |
| | resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido, etc. | 112 |
| III.3. | Aplicación del diseño proceso constructivo | 116 |
| III.3.1. | Preparación de la superficie:..... | 117 |
| III.3.1.1. | Aspectos prácticos de construcción de rellenos sanitarios..... | 117 |
| III.3.1.2. | Movimiento de tierras | 117 |
| III.3.2. | Pruebas de control:..... | 121 |
| III.3.2.1. | Pruebas de compactación de suelos:..... | 121 |
| III.3.3. | Impermeabilización de fondo de trinchera | 121 |
| III.3.4. | Impermeabilización de taludes..... | 122 |
| III.3.5. | Otros detalles de construcción | 122 |
| III.3.5.1. | Estructuras de ingreso | 122 |
| III.3.6. | Instalación de geotextiles y geomembranas | 123 |
| III.3.7. | Sistema de impermeabilización geotextil-geomembrana..... | 123 |
| III.3.8. | Proceso de sellado..... | 124 |
| III.3.9. | Colocación de las geomembranas..... | 125 |
| III.3.9.1. | Características del material..... | 125 |
| III.3.9.2. | Almacenamiento | 125 |
| III.3.9.3. | Instalación | 126 |
| III.3.9.3.1. | Actividades previas | 126 |
| III.3.9.3.2. | Instalación de los paneles | 129 |
| III.3.9.3.3. | Soldadura..... | 130 |
| III.3.10. | Pruebas de control final | 137 |
| III.3.10.1. | Pruebas de estanqueidad | 137 |
| III.3.11. | Presupuesto: | 141 |
| Nota: | Los precios incluyen IGV | 141 |
| IV. | Conclusiones y Recomendaciones | 142 |
| V. | Referencias bibliográficas..... | 145 |
| VI. | Anexos..... | 147 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: <i>Principales productores de geosintéticos en el Perú.</i> | 24 |
| Tabla 2 <i>Normas con su velocidad de ensayo</i> | 42 |
| Tabla 3: <i>Geotextiles – Requerimiento de Supervivencia.</i> | 55 |
| Tabla 4 <i>Geotextiles - Aplicación de separación</i> | 56 |
| Tabla 5 <i>Geotextiles – Aplicación de Estabilidad</i> | 56 |
| Tabla 6 <i>Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana – geotextil según ensayo A5TM D 5321</i> | 66 |
| Tabla 7 <i>Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE vs. Espesor.</i> | 66 |
| Tabla 8 <i>Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana asociada al proceso de instalación.</i> | 70 |
| Tabla 9 <i>Material de Consumo</i> | 76 |
| Tabla 10 <i>Material de Inversión</i> | 76 |
| Tabla 11 <i>Material de Servicio</i> | 76 |
| Tabla 12 <i>Tabla Climática.</i> | 84 |
| Tabla 14 <i>Carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método GRAB)</i> | 85 |
| Tabla 15 <i>Resultados obtenidos en laboratorio para los productos de la empresa N°1.</i> ... | 86 |
| Tabla 16 <i>Resultados obtenidos en laboratorio para los productos de la empresa N°2.</i> ... | 86 |
| Tabla 17 <i>Resultados obtenidos en laboratorio para los productos de la empresa N°3.</i> ... | 87 |
| Tabla 18 <i>Valores en cartilla técnica de la empresa N°1</i> | 87 |
| Tabla 19 <i>Valores en cartilla técnica de la empresa N°2</i> | 87 |
| Tabla 20 <i>Valores en cartilla técnica de la empresa N°3</i> | 88 |
| Tabla 21 <i>Planilla tipo de laboratorio para ensayo de perforación Dinámica por caída de un cono según Norma</i> | 91 |
| Tabla 22 <i>Resultados obtenidos para las distintas empresas</i> | 93 |
| Tabla 23 <i>Exigencias establecidas según ubicación del GTX. Norma UNE EN 918 *GTX: Geotextil **GMB: Geomembrana</i> | 93 |
| Tabla 24 <i>Carga de desgarro Empresa 01</i> | 94 |
| Tabla 25 <i>Carga de desgarro Empresa 02</i> | 94 |
| Tabla 26 <i>Carga de desgarro Empresa 03</i> | 94 |
| Tabla 27 <i>Carga de desgarro Empresa 01</i> | 95 |
| Tabla 28 <i>Carga de desgarro Empresa 02</i> | 95 |
| Tabla 29 <i>Carga de desgarro Empresa 03</i> | 95 |
| Tabla 30 <i>Cuadro comparativo</i> | 95 |
| Tabla 31 <i>permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad</i> | 97 |

| | |
|--|------------------|
| Tabla 32 <i>Permeabilidad al agua normal al plano (Valores Promedios)</i> | <i>Método de</i> |
| <i>carga hidráulica constante</i> | 98 |
| Tabla 33 <i>Determinación de la carga máxima</i> | 98 |
| Tabla 34 <i>Permeabilidad planar en productos geosintéticos (basado en la Norma IRAM 78010, siendo su correspondiente la ASTM D 4716)</i> | 99 |
| Tabla 35 <i>Resultados más significativos obtenidos de los ensayos a los distintos gramajes de Geotextiles No Tejidos, en sentido longitudinal al rollo:</i> | 100 |
| Tabla 36 <i>Resultados más significativos obtenidos de los ensayos a los distintos gramajes de Geotextiles No Tejidos, en sentido transversal al rollo:</i> | 100 |
| Tabla 37 <i>Resumen de diseño del geotextil</i> | 107 |
| Tabla 38 <i>Resultados en el FS</i> | 109 |
| Tabla 39 <i>Resumen del diseño por espesor de la geomembrana</i> | 111 |
| Tabla 40 <i>Datos del proyecto</i> | 112 |
| Tabla 41 <i>Parámetros de entrada</i> | 112 |
| Tabla 42 <i>Parámetros calculados y resultados</i> | 113 |
| Tabla 43 <i>Parámetros calculados y resultados</i> | 138 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Uso de geosintéticos en Perú PAVCO..... | 25 |
| <i>Figura 2.</i> Venta de Geosintéticos en Perú, según marcas. | 25 |
| <i>Figura 3.</i> Distribución del mercado internacional de los geotextiles (FAO, 2001). | 27 |
| <i>Figura 4.</i> Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001) | 27 |
| <i>Figura 5.</i> Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001) | 29 |
| <i>Figura 6.</i> Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001). | 29 |
| <i>Figura 7.</i> Uso de los geotextiles en diversos proyectos en el mundo (FAO, 2001). | 30 |
| <i>Figura 8.</i> Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles Tejidos. | 34 |
| <i>Figura 9.</i> Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles No Tejidos. | 35 |
| <i>Figura 10.</i> Función de Separación. | 36 |
| <i>Figura 11.</i> Función de Separación. | 37 |
| <i>Figura 12.</i> Función de Refuerzo..... | 37 |
| <i>Figura 13.</i> Función de Refuerzo..... | 38 |
| <i>Figura 14.</i> Función de Drenaje..... | 38 |
| <i>Figura 15.</i> Función de Drenaje..... | 39 |
| <i>Figura 16.</i> Función de drenaje | 39 |
| <i>Figura 17.</i> Función Protección | 40 |
| <i>Figura 18.</i> Función de Impermeabilización..... | 41 |
| <i>Figura 19.</i> Dimensión de las probetas..... | 42 |
| <i>Figura 20.</i> Probetas a ensayar | 43 |
| <i>Figura 21.</i> Ensayo de Probetas..... | 44 |
| <i>Figura 22.</i> Geotextil logrando la máxima resistencia. | 44 |
| <i>Figura 23.</i> Plantilla para el ensayo del desgarre trapecial (mm). | 47 |
| <i>Figura 24.</i> Curvas características de fuerza de desgarro-alargamiento. | 48 |
| <i>Figura 25.</i> Dispositivo para realizar el ensayo según Norma..... | 50 |
| <i>Figura 26.</i> Representación gráfica de la permeabilidad en el plano. | 51 |
| <i>Figura 27.</i> Geomembrana De Alta Densidad. | 58 |
| <i>Figura 28.</i> Geomembranas de Polietileno Ultra flexible..... | 59 |
| <i>Figura 29.</i> El empleo en rellenos sanitarios. | 63 |
| <i>Figura 30.</i> Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la Geomembrana. | 64 |
| <i>Figura 31.</i> Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante. | 67 |
| <i>Figura 32.</i> Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes..... | 68 |
| <i>Figura 33.</i> Actividades asociadas con el Manejo de Residuos Sólidos. (Eduardo S.)..... | 71 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 43.</i> Mapa de ubicación Departamental, Provincial y Distrital del Proyecto. | 82 |
| <i>Figura 44.</i> Climograma de JESÚS. | 83 |
| <i>Figura 45.</i> Diagrama de Temperatura. | 84 |
| <i>Figura 46.</i> Diagrama Fuerza (KN) VS Deformación (mm) | 85 |
| <i>Figura 47.</i> Comparación entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°1. | 88 |
| <i>Figura 48.</i> Comparación entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°2. | 88 |
| <i>Figura 49.</i> Comparación entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°3. | 89 |
| <i>Figura 50.</i> Diferencia porcentual entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°1. | 89 |
| <i>Figura 51.</i> Diferencia porcentual entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°2. | 90 |
| <i>Figura 52.</i> Diferencia porcentual entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°3. | 90 |
| <i>Figura 53.</i> Funcionamiento de protección del Geotextil. | 91 |
| <i>Figura 54.</i> Cono de medida dentro del orificio. | 92 |
| <i>Figura 55.</i> Probeta ensayada. | 92 |
| <i>Figura 56.</i> Curva obtenida en el laboratorio de fuerza – alargamiento | 96 |
| <i>Figura 57.</i> Curva H Vs. V | 99 |
| <i>Figura 58.</i> Curva de valores 1 | 100 |
| <i>Figura 59.</i> Curva de valores 2. | 101 |
| <i>Figura 60.</i> Equipos para realizar ensayos de calidad. | 101 |
| <i>Figura 61.</i> Imágenes del dispositivo adoptado para la determinación de las características de permeabilidad planar. | 102 |
| <i>Figura 62.</i> Dimensionamiento Longitud desarrollo y Zanja de anclaje. | 111 |
| <i>Figura 63.</i> Página de Ingreso al programa GEOSOFT PAVCO V 3.0 | 114 |
| <i>Figura 64.</i> Ingreso de datos del proyecto | 114 |
| <i>Figura 65.</i> Ingreso de datos del proyecto | 115 |
| <i>Figura 66.</i> Salida de resultados del proyecto | 115 |
| <i>Figura 67.</i> Resultados finales esquematizado y descripción | 116 |
| <i>Figura 68.</i> Balance entre relleno y excavación | 118 |
| <i>Figura 69.</i> Excavación de las rincheras del rellenos sanitario | 118 |
| <i>Figura 70.</i> Perfilado y compactado de los taludes. | 119 |
| <i>Figura 71.</i> Compactado de fondo de trinchera. | 120 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 72.</i> Control de densidad de campo en fondo de laguna. | 121 |
| <i>Figura 73.</i> Revestimiento de una relleno sanitario con polietileno | 122 |
| <i>Figura 74.</i> Almacenamiento de la geomembrana..... | 123 |
| <i>Figura 75.</i> Extendido del geotextil en fondo de relleno..... | 124 |
| <i>Figura 76.</i> Máquina empleada | 124 |
| <i>Figura 77.</i> Fijación con el soplador de aire caliente | 125 |
| <i>Figura 78.</i> Almacenamiento de los rollos de geomembranas..... | 125 |
| <i>Figura 79.</i> Numeración de las bobinas para instalación..... | 126 |
| <i>Figura 80.</i> Preparación de la superficie..... | 127 |
| <i>Figura 81.</i> Dimensiones mínimas del dado de anclaje | 128 |
| <i>Figura 82.</i> Trazo y nivelación del dado de anclaje | 128 |
| <i>Figura 83.</i> Colocación de cada panel de geomembrana. | 129 |
| <i>Figura 84.</i> Traslape en los paneles del fondo | 130 |
| <i>Figura 85.</i> Soldadura con la utilización de la máquina. | 131 |
| <i>Figura 86.</i> Soldadura con la utilización de la maquina | 131 |
| <i>Figura 87.</i> Máquina empleada | 134 |
| <i>Figura 88.</i> Región Desbastada. | 135 |
| <i>Figura 89.</i> Extrusión..... | 135 |
| <i>Figura 90.</i> Preparar la enmienda conforme a fig. 51. | 136 |
| <i>Figura 91.</i> Enmienda..... | 136 |
| <i>Figura 92.</i> Tenemos un ejemplo de una aguja ya posicionada para ejecutar la prueba. 137 | |
| <i>Figura 93.</i> Realizando la prueba de presurización | 138 |
| <i>Figura 94.</i> Planta de tratamiento concluida | 139 |

Resumen

En este trabajo, propone un método adecuado para el diseño y aplicación de geotextiles y geomembranas en plantas de residuos sólidos y así cumplir la función que de ellos se espera y alcanzar una prolongada duración como construirlo en el menor tiempo posible, además de cumplir con la protección del medio ambiente.

Presenta el desarrollo de los geosintéticos, con sus respectivos ensayos, propiedades, especificaciones técnicas para el diseño de los geotextiles y geomembranas. Estos estudios, permitirán hacer los diseños respectivos, para el geotextil diseño por función y para la geomembrana diseño por espesor.

Con estos métodos permiten diseñar un sistema de impermeabilización eficiente y estable en plantas de tratamiento especialmente en la planta de residuos sólidos, donde está compuesto por un medio de protección (geotextil) y otro impermeabilizante (geomembrana), lo cual proporciona un correcto manejo de las aguas de infiltración de los residuos que no afectan la masa de suelo.

Los alcances de estos diseños de los geosintéticos (geotextiles —geomembranas) utilizados en los sistemas de impermeabilización y sellado de trincheras de almacenamiento y pozas de lixiviación, de la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de JESÚS, es de manera segura y controlada, con una correcta aplicación y procedimiento constructivo especializado y llenado sobre sistemas de impermeabilización alcanzando resultados óptimos y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población y como protección del medio ambiente.

Abstract

In this work, he proposes a suitable method for the design and application of geotextiles and geomembranas in solid waste plants and thus fulfill the function that is expected from them and achieve a long duration such as building it in the shortest possible time, in addition to complying with the environmental Protection.

It presents the development of geosynthetics, with their respective tests, properties, technical specifications for the design of geotextiles and geomembranas. These studies will make it possible to make the respective designs for the geotextile design by function and for the geomembrane design by thickness.

With these methods, it is possible to design an efficient and stable waterproofing system in treatment plants, especially in the solid waste plant, where it is composed of a protection medium (geotextile) and another waterproofing (geomembrane), which provides a correct management of the infiltration waters of the residues that do not affect the soil mass.

The scope of these designs of the geosynthetics (geotextiles -geomembranes) used in the waterproofing and sealing systems of storage trenches and leaching ponds, of the solid waste treatment plant of the city of JESÚS, is in a safe and controlled manner, with a correct application and specialized construction procedure and filling on waterproofing systems, achieving optimal results and contributing to improving the quality of life of the population and protecting the environment.

I. Introducción

Introducción

En la mayor parte de las obras de Ingeniería Civil, concretamente en lo referente a la aplicación de los *Polietileno de Alta Densidad* en plantas de tratamiento de residuos sólidos, se ejecutan bajo circunstancias en las que procesos de diseño y construcción son ineficientes, para mitigarlos es recomendable el uso de mecanismos de estudio y métodos técnicos de construcción.

En ese sentido con el fin de mejorar las soluciones técnicas, durante los últimos años, han aparecido en el mercado del Perú los designados Polietileno de Alta Densidad (Geosintéticos) que son ampliamente utilizados en otros países para resolver problemas técnicos de protección de su superficie en defensa de los agentes meteóricos a los que se encuentran expuestos, así como en áreas de acumulación de líquidos en este caso aguas residuales por lixiviación de los residuos sólidos.

El principal problema en proyectos de ingeniería respecto a la aplicación de los geosintéticos (Geotextiles y Geomembranas) viene a ser la falta de noción y de una metodología de diseño que permiten definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares, debido a la poca experiencia en el país en la aplicación de geosintéticos no existen criterios de diseño ni normas que sirven como guía para la selección conveniente y aplicación de los mismos en la planta de tratamiento de aguas residuales por lixiviación de los residuos sólidos.

En el distrito de JESÚS, no cuentan en su mayoría con servicios de recolección, los residuos sólidos en gran parte son arrojadas al suelo o a los corrientes de agua y otras son vertidas en laderas de los cerros cercanas a la zona de estudio y los pobladores se ven afectados al no existir un sistema de recolección, evacuación y tratamiento de los residuos sólidos, lo cual presentan peligros de enfermedades infecciosas parasitarias, gastrointestinales y dérmicas. Debido a ello se origina la necesidad de construir plantas de tratamiento de residuos sólidos, tales obras que tengan una durabilidad prolongada y proteger el medio ambiente, optándose de esta manera por el manejo de los geosintéticos.

En otro sentido, el término calidad total, aplicado inicialmente en el mundo empresarial, poco a poco se ha introducido en diferentes entidades privadas,

evidenciando que el sector público no puede estar al margen de las aspiraciones de mayor bienestar sino que, mediante la mejora de la calidad, plantee su desarrollo por lo que las tendencias mundiales, exigen a los organismos privadas a establecer un sistema de Aseguramiento de Calidad en la Construcción y de una mejora continua a fin de aspirar alcanzar estándares internacionales. En algunas entidades públicas y privadas, no existe normativa, ni mecanismos técnicos que permitan asumir de forma sistemática una evaluación y mejora continua de la calidad en la construcción usando el Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

La importancia del presente trabajo de investigación, radica que en los últimos 20 años se evidencia una mejor opción de calidad de vida, la calidad de la construcción juega un papel determinante para el futuro, lo que hoy se construye persistirá en el tiempo y es una decisión respecto de la calidad de vida que se desea para el futuro. Por ende, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ha emprendido un conjunto de medidas encaminadas a mejorar la calidad en el contexto del reforzamiento de la calidad de construcción en todo el país, empleando Planes de Aseguramiento de la Calidad (PAC), orientados fundamentalmente a instalar una serie de procedimientos técnicos y administrativos bajo la operatoria de la nueva política habitacional.

La presente tesis de investigación, proyecta ser un aporte de las experiencias ejecutadas en el trabajo de campo realizado en la construcción de obras utilizando geosintéticos, cuyos resultados servirán a los estudiantes de la Universidad Privada de Trujillo dedicados a estudios de diseño y aplicación con su debido control de calidad en la construcción.

Así también, deberá de servir como un instrumento de Gestión a los profesionales, impulsando la mejora continua en diversos proyectos que se encuentren a su cargo con el propósito de convertirse en un profesional competitivo y de alta calidad, siendo capaces de supervisar, orientar y gestionar en forma correcta los diferentes procedimientos, usos de normas y herramientas de gestión.

Todos estos conocimientos expresados anteriormente y explicados llevaron a elaborar el presente trabajo, que estará orientado a todos los profesionales que se encuentren sumidos en el tema de diseño y aplicación de Geosintéticos.

I.1. Realidad Problemática

El principal problema en proyectos de ingeniería de la aplicación de los Geosintéticos (Geotextiles y Geomembranas) viene a ser la falta de comprensión y de una metodología de diseño que permiten definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares en la planta de tratamiento de residuos sólidos.

Debido a la poca práctica en el país en la aplicación de Geosintéticos no existen criterios de diseño ni normas que sirven como guía para la selección adecuada y aplicación de los mismos.

Es por ello que en el presente trabajo, detalla las propiedades y funciones de los geosintéticos como materiales básicos para la impermeabilización y empleo en plantas de tratamiento de residuos sólidos y como alternativa de solución para el sistema de recolección, evacuación y tratamiento de las residuos sólidos, lo cual presenta un peligro de enfermedades infecciosas, parasitarias y dérmicas debido a ello se origina la necesidad de construir plantas de tratamiento de residuos sólidos, además de cumplir con la resguardo del medio ambiente.

La política de calidad impulsada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), establece un marco de mayores exigencias a la acción de los servicios de vivienda y urbanismo (SERVIU), a partir del año 2004, en el contexto del reforzamiento de la calidad en todo el país se dio inicio a la aplicación de los Planes de Aseguramiento de la Calidad (PAC), encaminados fundamentalmente a instalar una serie de procedimientos técnicos y administrativos cuyo objetivo final es asegurar o mejorar la calidad de construcción bajo la operatoria de la nueva política habitacional.

El término calidad total, aplicado inicialmente en el mundo empresarial, poco a poco se ha introducido en diferentes entidades privadas, evidenciando que el sector público no puede estar al margen de las aspiraciones de mayor bienestar, sino que, mediante la mejora de la calidad, plantee su desarrollo por lo que las tendencias mundiales, exigen a las instituciones privadas a establecer un sistema

de Aseguramiento de Calidad en la Construcción y de una mejora continua a fin de aspirar alcanzar estándares internacionales. En algunas entidades públicas y privadas, no existe normativa, ni componentes técnicos que permitan asumir de forma sistemática una evaluación y mejora continua de la calidad en la construcción usando el Sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana).

Actualmente, se habla del Aseguramiento de Calidad en la Construcción en el ámbito privado, sobre todo en sectores de construcción y minería, sin embargo, muchas empresas no cuentan con los documentos necesarios (Dossier de Calidad) para auditar después de entregado el proyecto para su posterior comprobación, por lo que no se conoce con precisión del Aseguramiento de Calidad en la Construcción del referido proyecto. Dentro del marco de registro de información de Aseguramiento de Calidad en la Construcción.

En este contexto, la presente investigación tiene como fin confeccionar protocolos que se requieran para los ensayos a la Geomembrana de acuerdo a la norma establecida, los cuales estarán dentro del Dossier de Calidad para realizar un adecuado sistema de Aseguramiento de calidad en la construcción usando Sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana).

I.2. Formulación del problema

¿Cuál es el método adecuado para el diseño y aplicación de Geotextiles y Geomembranas en plantas de tratamiento de Residuos Sólidos en el distrito de Jesús?

I.3. Justificación de la Investigación

En la zona del departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, Distrito de Jesús debido al crecimiento poblacional no cuentan en su mayoría con servicios de tratamiento de Residuos Sólidos, en el que los desechos residuales son arrojadas al suelo o a las riveras de los ríos y los pobladores se ven perjudicados al no existir un sistema de recolección, transporte y tratamiento de los residuos sólidos lo cual presentan peligros de enfermedades infecciosas, parasitarias, gastrointestinales y dérmicas. Debido a ello se origina la necesidad de construir plantas de tratamiento

de Residuos Sólidos, Tales obras que tengan una durabilidad prolongada, con bajos costos, y proteger el medio ambiente, optándose de esta manera por la utilización de los Geotextiles y Geomembranas. En el ámbito de aplicación de estos materiales (Geotextil y Geomembranas) está basado en, depósitos de desechos (plantas de tratamiento de residuos sólidos).

El presente trabajo se propone por tanto determinar un método correcto para el diseño, aplicación y aseguramiento de la calidad en la construcción utilizando geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de Residuos Sólidos y de esta forma cumplir con los objetivos de lograr subsanar la problemática del saneamiento y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población.

I.4. Objetivos de la investigación

I.4.1. Objetivo general

- ✓ Determinar un método correcto de diseño y aplicación adecuada de geotextiles y geo membranas en plantas de tratamiento de Residuos Sólidos en el distrito de Jesús 2020.

I.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Elaborar levantamientos topográficos de la zona.
- ✓ Realizar el estudio de suelos e identificación de la posible localización de la planta de tratamiento.
- ✓ Determinar la población futura a atender con la planta de tratamiento de Residuos Sólidos.
- ✓ Desarrollar los planos y detalles de diseño de la planta de tratamiento de Residuos Sólidos.
- ✓ Reducir los costos y ampliar las ventajas técnicas del sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana), en plantas de tratamiento de Residuos Sólidos.

I.5. Antecedentes.

La utilización de los Geosintéticos en la Ingeniería Civil se ha visto incrementada en una forma sostenida en los últimos años. Estos productos presentan una serie de ventajas que son la principal causa del aumento del empleo de los mismos en todo el mundo. Entre estas ventajas cabe destacar: facilidad de puesta en obra, economía de producto, ahorros de tiempos de ejecución, posibilidad de soluciones medioambientales correctas, empleo de mano de obra no calificada y utilización de materiales de calidad verificable. (JIMENES, 2006).

✓ Antecedentes en la Evolución de los Geosintéticos

De acuerdo con el proyecto de investigación, geosintéticos es la denominación genérica de un producto polimérico, sintético o natural, industrializado, cuyas propiedades contribuyen a la mejora de obras geotécnicas, desempeñando una o más de las siguientes funciones: refuerzo, filtración, drenaje, protección, separación, impermeabilización y control de erosión superficial. (JONES, 1996)

La utilización de materiales como elemento de refuerzo de suelos es práctica común desde antes de Cristo. Hace tres mil años, los babilonios ya insertaban materiales fibrosos en el material utilizado para la construcción de habitaciones. (JONES, 1996)

En los años 90 sigue el desarrollo con la celebración de nuevos congresos a nivel internacional como el de agosto de 1992 en la Vegas Nevada, en 1996 el tercer congreso en Viena, Austria; en 1990 en la Haya Holanda y de los más recientes en Singapur en 1994. También se fundan asociaciones como la IGS (Sociedad Internacional de Geotextiles) y más adelante la NAGS (Sociedad Norteamericana de Geosintéticos), organismos creados con el fin de hacer estudios y difundir los avances de estos materiales. (JONES, 1996)

Los progresos no dejan de darse. En esta década surge la segunda generación de geosintéticos y es conocida como productos relacionados que básicamente son productos combinados de geotextiles y geomembranas, entre estos se encuentran geomallas, georedes, geotubos, geodrenes y otros; así también

surgen los primeros libros sobre el tema y las publicaciones van siendo cada vez mayores. En la estabilización de terraplenes en Japón (JONES, 1996).

En los últimos años, van destacándose los sistemas híbridos que combinan diferentes materiales con el fin de aumentar la estabilidad interna y externa de las estructuras. Un ejemplo es el sistema Terramesh®, que asocia los gaviones, que forman el paramento exterior de un muro de contención, con mallas de acero colocadas horizontalmente en el relleno compactado (MACAFERRI, 1997).

En Perú se realizó el "II congreso panamericano GEOAMERICAS 2012" (II PANAMERICAN CONGRESS ON GEOSYNTHETICS) LIMA — PERÚ, organizado por IGS PERU, donde se hizo un compendio de las aplicaciones más relevantes hasta ese tiempo; se han dado avances pues cada día se obtiene más información y se van dando más aplicaciones dado que estos productos demuestran grandes ventajas y es una versatilidad comprobada. (IGS PERU, 2012).

En esta sección, el autor presenta investigaciones anteriores sobre el tema de investigación, que le sirven como referencia para el estudio. Los antecedentes pueden ser teóricos y/o de campo, recomendándose en caso necesario su división en nacionales e internacionales.

1.5.1. Antecedentes de la Investigación

La utilización de los Geosintéticos en la Ingeniería Civil se ha visto incrementada en una forma sostenida en los últimos años. Estos productos presentan una serie de ventajas que son la principal causa del aumento del empleo de los mismos en todo el mundo. Entre estas ventajas cabe destacar: facilidad de puesta en obra, economía de producto, ahorros de tiempos de ejecución, posibilidad de soluciones medioambientales correctas, empleo de mano de obra no calificada y utilización de materiales de calidad verificable. (JIMENEZ, 2006)

✓ Antecedentes en la Evolución de los Geosintéticos

De acuerdo con el proyecto de investigación, geosintético es la denominación genérica de un producto polimérico, sintético o natural, industrializado, cuyas propiedades contribuyen a la mejora de obras geotécnicas, desempeñando una o

más de las siguientes funciones: refuerzo, filtración, drenaje, protección, separación, impermeabilización y control de erosión superficial. (JIMENEZ, 2006)

La utilización de materiales como elemento de refuerzo de suelos es práctica común desde antes de Cristo. Hace tres mil años, los babilonios ya insertaban materiales fibrosos en el material utilizado para la construcción de habitaciones. (JONES, 1996)

En los años 90 sigue el desarrollo con la celebración de nuevos congresos a nivel internacional como el de agosto de 1992 en la Vegas Nevada, en 1996 el tercer congreso en Viena, Austria; en 1990 en la Haya Holanda y de los más recientes en Singapur en 1994. También se fundan asociaciones como la IGS (Sociedad Internacional de Geotextiles) y más adelante la NAGS (Sociedad Norteamericana de Geosintéticos), organismos creados con el fin de hacer estudios y difundir los avances de estos materiales. (JONES, 1996)

Los progresos no dejan de darse. En esta década surge la segunda generación de geosintéticos y es conocida como productos relacionados que básicamente son productos combinados de geotextiles y geomembranas, entre estos se encuentran geomallas, georedes, geotubos, geodrenes y otros; así también surgen los primeros libros sobre el tema y las publicaciones van siendo cada vez mayores. En la estabilización de terraplenes en Japón (JONES, 1996).

En los últimos años, van destacándose los sistemas híbridos que combinan diferentes materiales con el fin de aumentar la estabilidad interna y externa de las estructuras. Un ejemplo es el sistema Terramesh®, que asocia los gaviones, que forman el paramento exterior de un muro de contención, con mallas de acero colocadas horizontalmente en el relleno compactado (MACAFERRI, 1997).

En Perú se realizó el "II congreso panamericano GEOAMERICAS 2012" (II PAN-AMERICAN CONGRESS ON GEOSYNTHETICS) LIMA — PERÚ, organizado por igasperu, donde se hizo un compendio de las aplicaciones más relevantes hasta ese tiempo; se han dado avances pues cada día se obtiene más información y se van dando más aplicaciones dado que estos productos demuestran grandes ventajas y es una versatilidad comprobada. (IGS PERU, 2012).

I.5.2. Uso de los Geosintéticos en el Perú

Los geosintéticos se han empleado en Perú desde principios de la década de los 80's. Su uso actual en proyectos de pavimentación es masivo y las experiencias obtenidas a través del tiempo con estos novedosos materiales han demostrado sus bondades y sus limitaciones dentro del ambiente nacional. (IGS PERU)

Un estudio del mercado de geosintéticos en el país admite concluir que en Perú existe una oferta suficiente de estos materiales. Algunas empresas nacionales han apostado a la producción y comercialización de geosintéticos de muy alta calidad (Tabla 1). En cuanto al comercio internacional de estos productos, se puede mencionar a PAVCO, que importa geomembranas de México y geomallas de Colombia y a la vez exporta a algunos países de Latinoamérica, en los cuales se encuentra posicionado en los primeros lugares del mercado. Otros ejemplos los constituyen Maccaferri, politex, cidelsa y GSE. destacados importadores y representantes de distintas marcas de geosintéticos estadounidenses. (IGS PERU)

Tabla 1: *Principales productores de geosintéticos en el Perú.*

| Material | Empresa |
|--------------|---------------------------|
| Geotextiles | PAVCO |
| | PRODAC |
| | EMIN INGENIERIA Y MONTAJE |
| | MACAFERRI |
| Geomallas | POLITEX |
| Geomembranas | NICOL |
| | PAVCO |
| Geodrenes | PAVCO |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010.

Es significativo razonar que, en general, la prioridad del criterio comercial sobre el criterio técnico conlleva al proceso de los geosintéticos como productos y no como materiales, limitando la decisión de su aplicación por el aspecto económico y no funcional y técnico.

I.5.3. Geotextiles

El Gráfico 1. muestra un estimativo del uso de los geosintéticos en Perú en todas las aplicaciones y permite ver cómo las geomembranas entran a formar una parte importante del mercado, pues son ampliamente utilizadas en

impermeabilización, rellenos sanitarios, conducción de fluidos, etc. Para el área de pavimentación se encuentra que los geotextiles son, sin duda, el geosintético más vendido y las geomembranas el menos utilizado. Con respecto a los productores, PAVCO S.A. produce el 73% de los geotextiles que se encuentran en el mercado (Gráfico 2); haciéndolo a precios realmente competitivos con los productos internacionales. (IGS PERU)

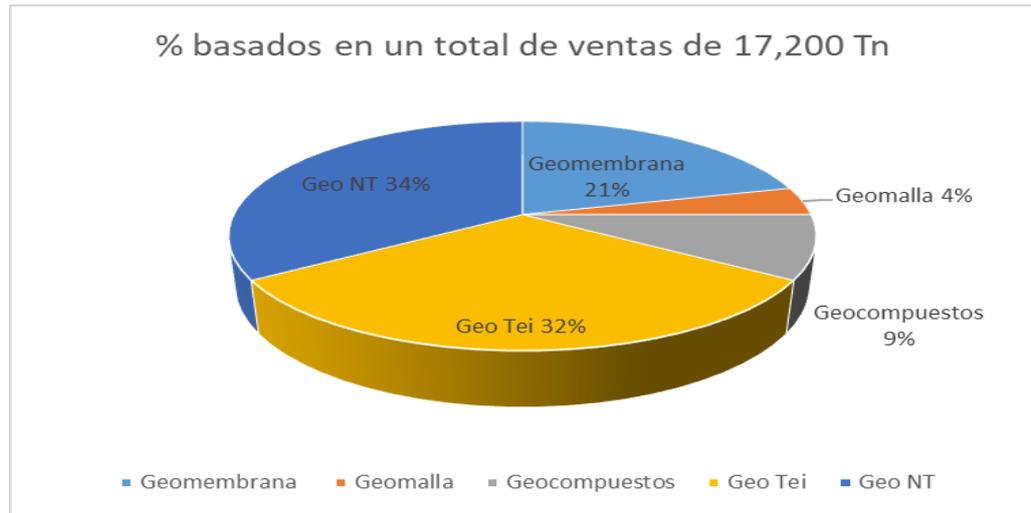


Figura 1. Uso de geosintéticos en Perú PAVCO.

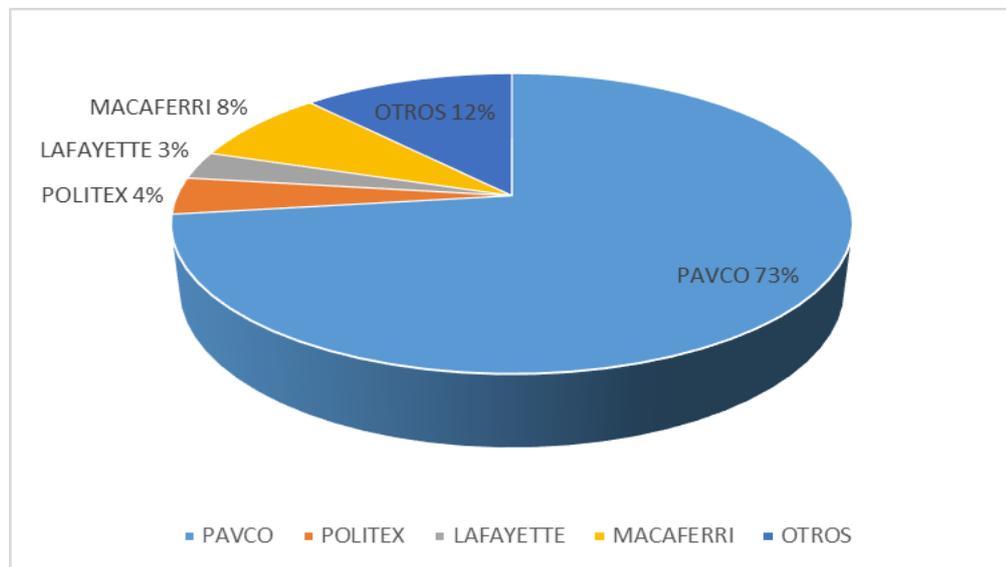


Figura 2. Venta de Geosintéticos en Perú, según marcas.

Nota: IGS PERU

La eficacia de los refuerzos con geotextil ha sido probada en todo el territorio peruano y su usanza se ha divulgado prontamente. Esto se ha logrado tras cientos de experiencias en las cuales se han evaluado diferentes alternativas de diseño y los geotextiles han resultado ser la opción más funcional o en su defecto la más económica.

I.5.4. Geomembranas

En cuanto a las geomembranas, la investigación permitió concluir que el mercado peruano relacionado con este producto es relativamente reciente y en la actualidad se importan, producen y comercializan al interior. El uso de geomembranas en Perú, en ventas, mantuvo un crecimiento constante desde su entrada al país (aproximadamente en 1990) hasta el año 2017. A partir de este momento el crecimiento ha empezado. En primer lugar, el aumento se puede deber a la aceptación del producto importado por parte de los diseñadores, y los proyectos hidráulicos en aumento en la construcción y también el mercado minero para impermeabilizar las plantas relaveras. (IGS PERU)

I.5.5. Uso de los Geosintéticos en el Mundo

El uso de geosintéticos ha brindado a la ingeniería un amplio rango en el cual puede mejorar sus posibilidades de acción cuidando los recursos naturales y utilizando los materiales granulares de manera óptima. Esto constituye una mejora en el campo económico de la materia en la medida en que el gasto, relacionado con la producción, comercialización y uso de los geosintéticos, aumenta constantemente. (IGS PERU)

Comparar el porcentaje de proyectos de pavimentación en el mundo en los cuales se encuentra el uso de geosintéticos es una labor verdaderamente compleja. En todos los países en donde se encuentra difundido su uso, una cantidad cercana al 80% de las obras viales emplea algún tipo de geosintético para mejorar las condiciones de obra; ya sea reduciendo costos, mejorando especificaciones técnicas o solucionando inconvenientes presentados por los materiales naturales. Es evidente que este porcentaje depende significativamente del tipo de proyectos construidos y el grado de penetración de la tecnología de los geosintéticos en la ingeniería local. (MEJIA, 2005)

Por ejemplo, la Figura 3, muestra el uso de los principales geosintéticos en Estados Unidos y Canadá desde los años 90 y la Figura 4 permite comparar la forma como se han percibido ingresos por concepto del mercado de los mismos. En ambos casos se constata la importante incursión de los geosintéticos en el mercado de la ingeniería. (FAO, 2001)

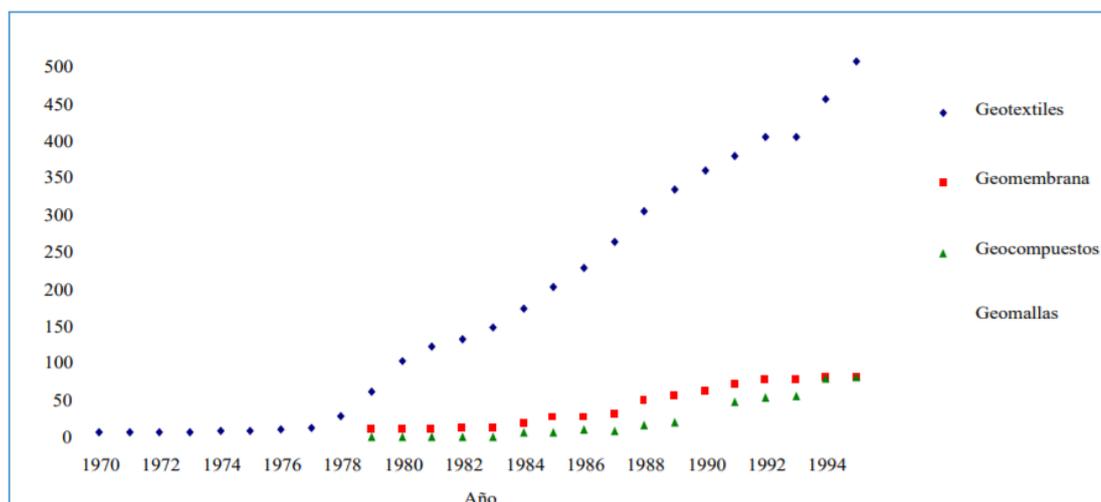


Figura 3. Distribución del mercado internacional de los geotextiles (FAO, 2001).

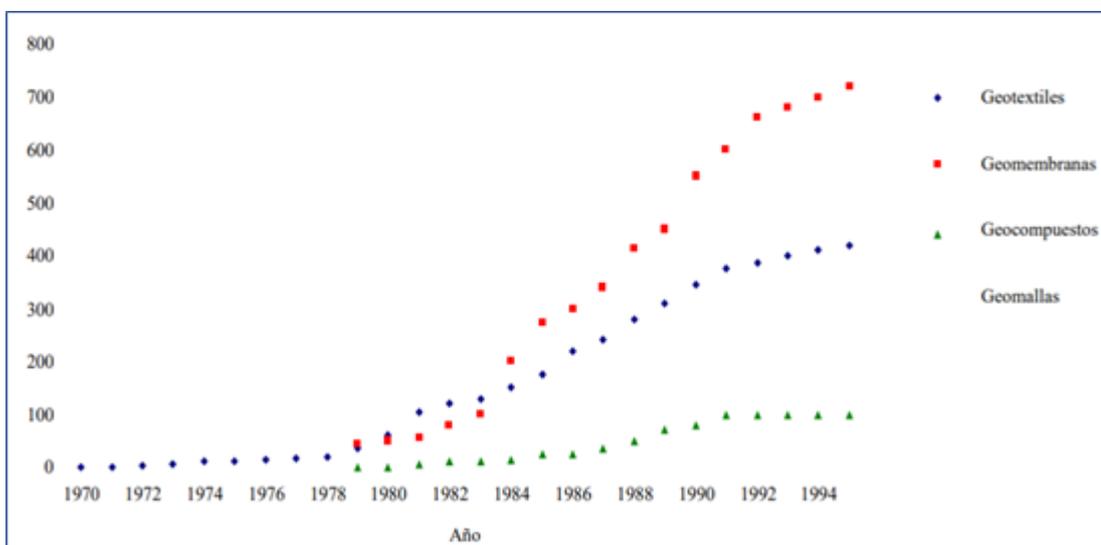


Figura 4. Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001)

Nota: (FAO Irrigation and drainage), 2008

En cuanto a la aplicación específica en proyectos hidráulicos, permite afirmar que (en área) cerca del 20% del uso de geotextiles en el mundo se encuentra relacionado con aplicaciones en este campo, lo que corresponde, en cifras del año 2005, a 1.120 millones de metros cuadrados en todo el mundo. (FAO, 2001)

I.5.6. Geotextiles en el Mundo

Por efecto del florecimiento, el mejoramiento en los procesos de producción y su uso masivo, el mercado de geotextiles ha experimentado un crecimiento difícilmente igualado por otro producto en el ámbito de la construcción.

Las estadísticas demuestran que los geotextiles, por sus múltiples aplicaciones, son los geosintéticos más producidos y comercializados en el mundo, alcanzando un crecimiento cercano al 500% en 20 años (Figura 2.6). Por ejemplo, en 1990 Norte América usó aproximadamente 300 millones de metros cuadrados de geotextil y en el mundo entero se usaron aproximadamente 650 millones de metros cuadrados (KOERNER, 2001).

Un mercado de proporciones similares en Europa y Norte América, que con gran esfuerzo se deja penetrar por algunos países asiáticos como Japón y el resto del mundo (Figura 5), hace evidente la utilización de estos materiales en países desarrollados con infraestructura de alta calidad y por consiguiente, sugiere la existencia no sólo de grandes exigencias en el área sino de un nivel de conocimiento de gran magnitud propio de la experiencia. (SILVIA, 2005)

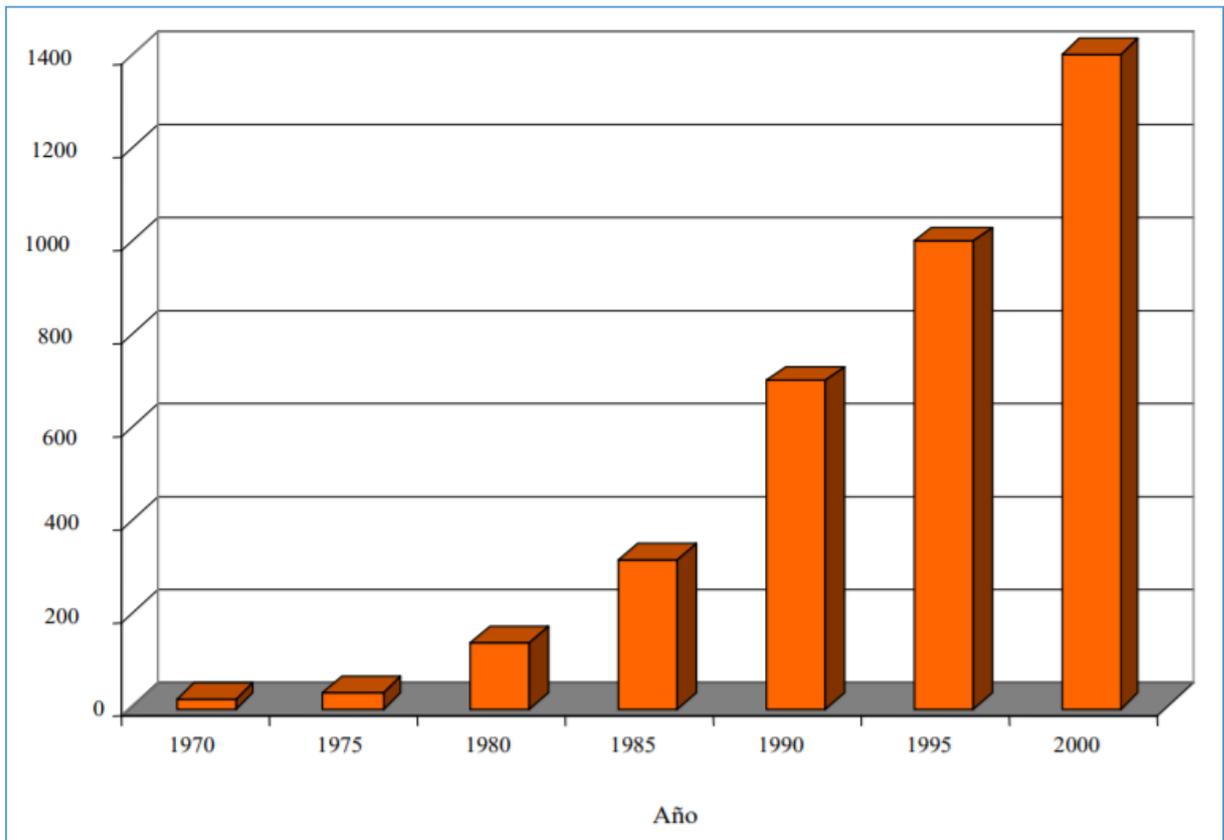


Figura 5. Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001)

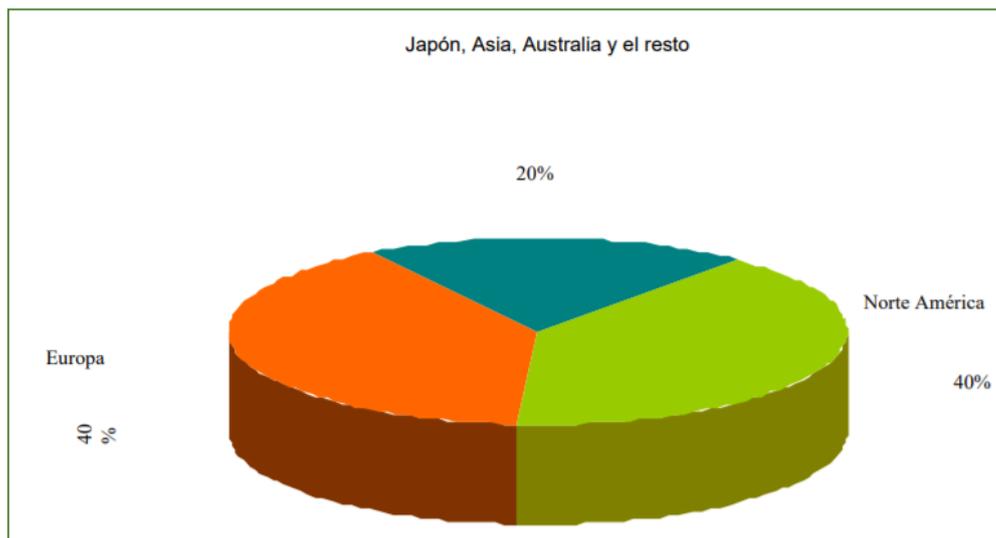


Figura 6. Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001).

En cuanto a la aplicación específica en proyectos de pavimentación, la Figura 7 (FAO,2001) permite afirmar que (en área) cerca del 80% del uso de geotextiles en el mundo se encuentra relacionado con aplicaciones en este campo, lo que corresponde, en cifras del año 2000, a 1.120 millones de metros cuadrados en todo el mundo. (FAO, 2001)

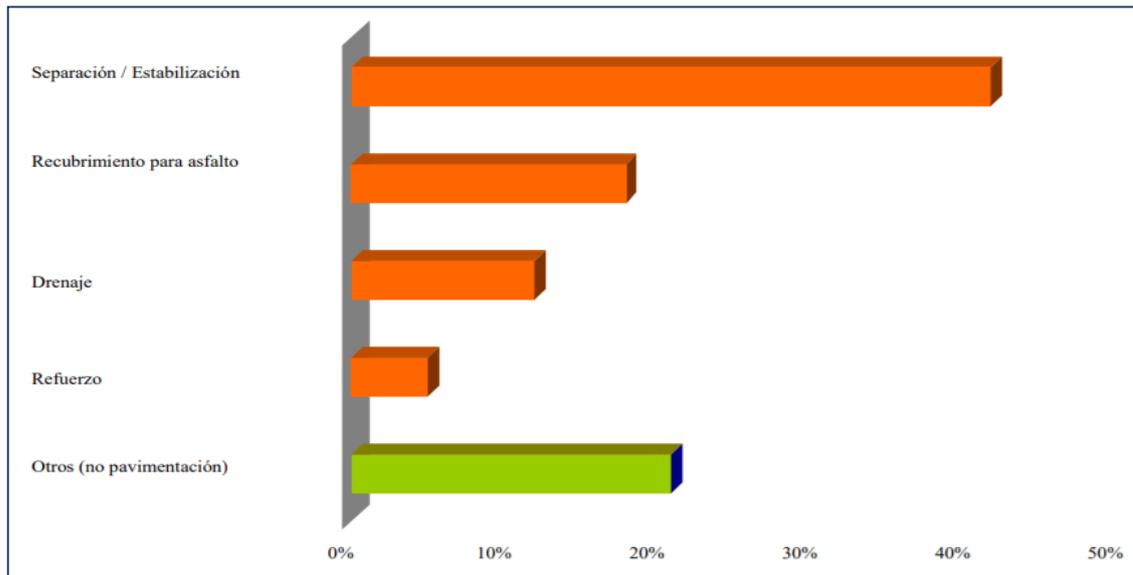


Figura 7. Uso de los geotextiles en diversos proyectos en el mundo (FAO, 2001).

I.5.7. Geosintéticos en rellenos de suelos

Los proyectos rellenos de suelos comprenden un segmento del mercado de geosintéticos con probablemente las mayores oportunidades de crecimiento. El término "proyectos de rellenos de suelos" incluye terraplenes. Planas de residuos sólidos.

Los geosintéticos son generalmente utilizados para limitar la interacción entre la estructura y el sub suelo. Los geosintéticos pueden incrementar la estabilidad de los proyectos hidráulicos (J. ZORNBERG Y M. BOUAZZA Traducido por R. D. F. DURAND, 2008)

Los geosintéticos pueden ser usados en proyectos hidráulicos para:

- Reducir o prevenir la infiltración mediante el uso de geomembranas.
- Reducir o prevenir erosión de bancos en canales mediante el uso de sistemas de impermeabilización con geomembranas.
- Proveer drenaje y/o filtración mediante el uso de geotextiles y georedes.
- Proveer refuerzo a la fundación de estructuras o a la propia estructura mediante el uso de geomallas.

I.5.8. Geosintéticos En Tratamiento De Residuos Sólidos

En la planta de tratamiento de Residuos Sólidos de la ciudad de Jesús, se aplicará el diseño de Los geosintéticos ensayados y las instalaciones respectivamente. El empleo será

directamente en la planta de tratamiento que operan con diversos procesos almacenamiento. Entre otras aplicaciones se tiene la impermeabilización mejorada de los líquidos emanados de los Residuos Sólidos y la deshidratación de lodos mediante lechos de secado.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Cuando las Residuos Sólidos con una carga orgánica razonablemente alta son mantenidas en un deposito durante varios días, el líquido contaminado de estos se acumula en la base de la trinchera. En consecuencia, el geosintético utilizado en la impermeabilización debe tener las propiedades necesarias para resistir el contacto con dicho material. Así también la resistencia a los rayos uv a los geosintéticos que están expuestos.

I.6. Bases Teóricas

I.6.1. Definición de los Geosintéticos

Los geosintéticos de acuerdo a la Norma (ASTM 12553/1999), es un producto en el que, por lo menos, uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil. (IGS PERU)

Los geosintéticos se derivan de fibras artificiales, compuestos básicamente de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno, siendo los 2 primeros los de mayor utilización en la actualidad. (IGS PERU)

I.6.2. Clasificación de los Geosintéticos

Los tipos de geosintéticos más frecuentes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geocompuestos y mantos para control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores. (IGS PERU)

a) Geotextiles

Dentro del grupo de los geosintéticos tenemos los geotextiles que se definen como "un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede

ser No Tejido, Tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas". (IGS PERU)

b) Geomallas

Las geomallas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón con las partículas del suelo de relleno o suelo circundante. La principal función de las geomallas biaxiales es indiscutiblemente el refuerzo. (IGS PERU)

c) Geomembranas

Las geomembranas se definen como un recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos. Las geomembranas son fabricadas a partir de hojas relativamente delgadas de polímeros como el HDPE y el PVC los cuales permiten efectuar uniones entre láminas por medio de fusión térmica o química sin alterar las propiedades del material. (IGS PERU)

d) Geoceldas

Productos fabricados con polietileno de alta densidad -HDPE- y soldadura ultrasónica que en función del calor logran un material estructural, flexible y durable para formar estructuras celulares y encierros tridimensionales, perfectos. (IGS PERU)

e) Geoestructuras

Las geoestructuras son contenedores de suelo encapsulado que pueden ser utilizadas para reemplazar la roca como material convencional en estructuras de ingeniería hidráulica. Las geoestructuras tienden a ser más estables hidráulica y geotécnicamente, ya que son unidades más pesadas y más grandes en tamaño, con una relación ancho a alto mayor y tienen además un área de contacto entre unidades mayores. (IGS PERU)

f) Geomantas

Materiales temporales degradables o permanentes no degradables fabricados en rollos y dirigidos a reducir la erosión de suelos y asistir el desarrollo, establecimiento y protección de la vegetación. (IGS PERU)

A continuación, se describe los ítems a y c motivos de estudio de la tesis.

I.6.2.1. Geotextiles

Los Geotextiles son, como su nombre lo indica, textiles permeables sintéticos, en su gran mayoría resistentes a la tensión, al punzonamiento y con excelentes propiedades hidráulicas. Existen dos tipos de geotextiles: no tejidos y tejidos, cada uno especialmente fabricado y con propiedades específicas que se ajustan a las diferentes aplicaciones dentro de cada proyecto. (IGS PERU)

A. Clasificación Según su Método De Fabricación

✓ Geotextiles Tejidos

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Están conformados mediante cintas de polipropileno en sentido de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal), mediante la ejecución de un procedimiento textil. (IGS PERU)

Es el tejido más simple y eficiente, conocido también como "uno arriba y uno abajo", dando como resultado una estructura plana. Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación). Gracias a su estructura y las características de las cintas empleadas, se caracterizan por tener altas resistencias y bajas deformaciones, por lo que su aplicación está orientada al refuerzo de vías, muros, terraplenes y cimentaciones. (IGS PERU)

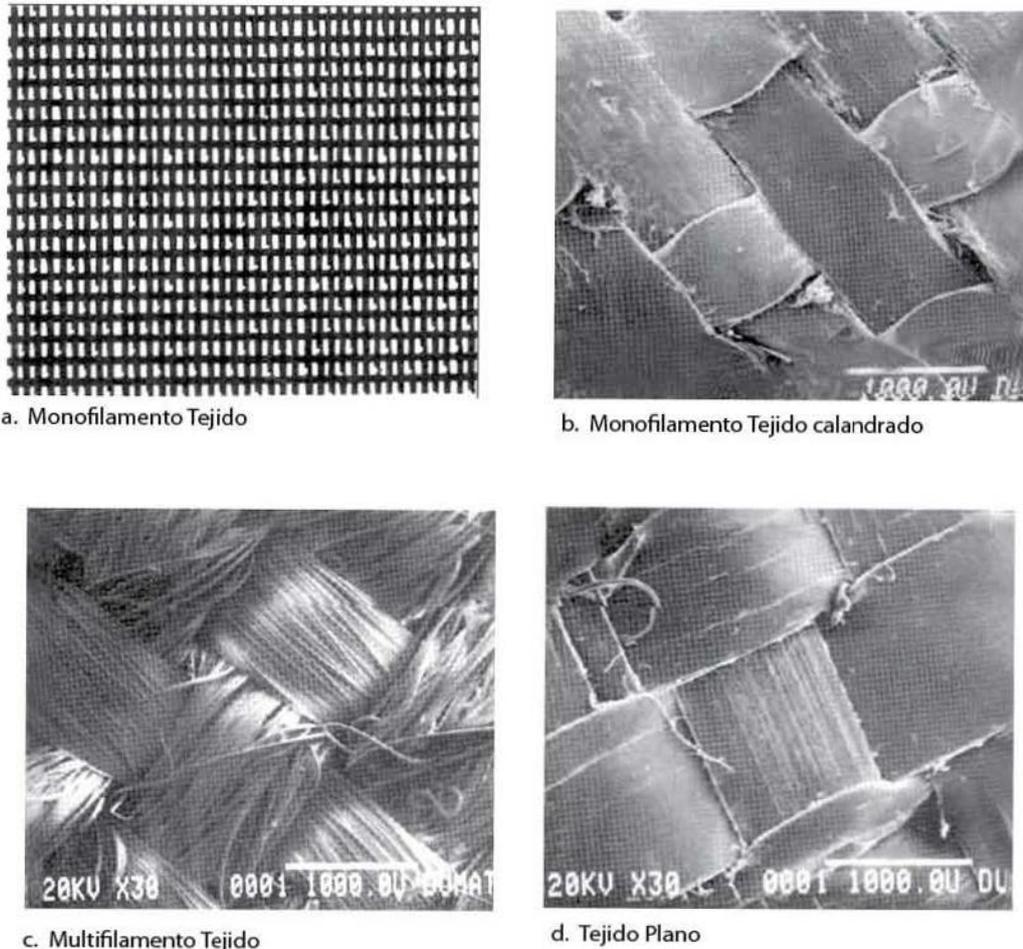


Figura 8. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles Tejidos.
Nota: Manual de diseño con geosintéticos (Novena edición 2012)

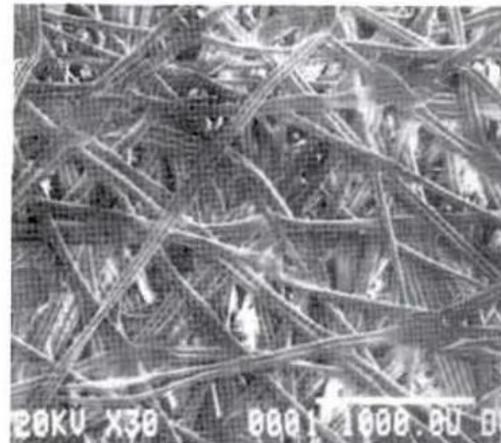
✓ Geotextiles No Tejidos

Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos de polipropileno mezclados aleatoriamente, conformando una capa textil con altas propiedades de filtración y drenaje. (IGS PERU)

Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas características mecánicas manteniendo en parte el espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las des uniformidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación. (IGS PERU)



e. No Tejido punzonado por agujas



f. No Tejido unido por calor

Figura 9. Vista microscópica de algunos tipos de geotextiles No Tejidos.

Nota: Manual de diseño con geosintéticos (Novena edición 2012)

B. Clasificación de los Geotextiles Según su Composición

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo, al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales. (IGS PERU)

✓ Fibras Naturales

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos. (IGS PERU)

✓ Fibras artificiales

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.

✓ Fibras Sintéticas

Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos. Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a (os ataques de microorganismos y bacterias. Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico. (IGS PERU)

C. Funciones y Aplicaciones

El uso de los geotextiles Tejidos y No Tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar. (IGS PERU)

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en los proyectos de la construcción y la edificación como son: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones medioambientales, entre otras. (IGS PERU)

A continuación, se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo. (IGS PERU)

✓ Función de Separación

Esta función, desempeñada por los geotextiles consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material. (IGS PERU)



Figura 10. Función de Separación.

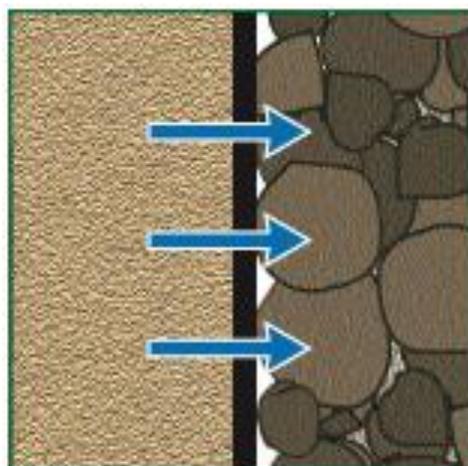


Figura 11. Función de Separación.

✓ Función de Refuerzo

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras. (IGS PERU)

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción. (IGS PERU)



Figura 12. Función de Refuerzo

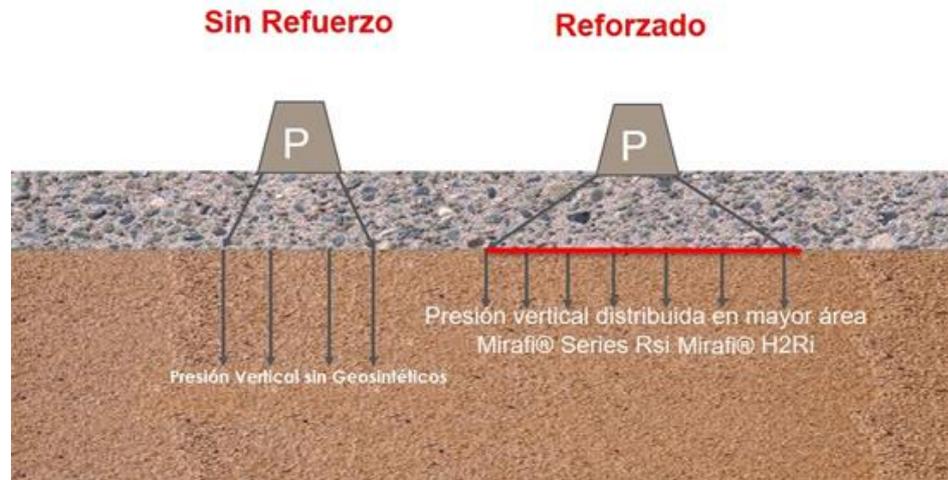


Figura 13. Función de Refuerzo

✓ Función de Drenaje

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil. La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido. Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, las cuales, al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además, debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión. (IGS PERU)



Figura 14. Función de Drenaje

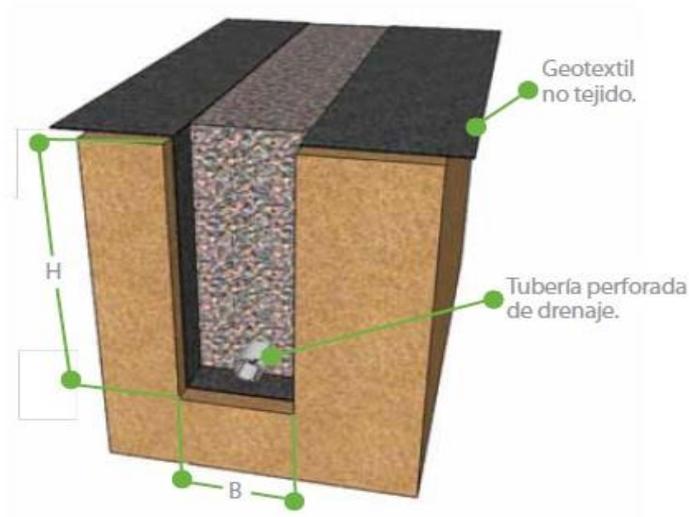


Figura 15. Función de Drenaje

✓ Función Filtro

Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. (IGS PERU)

En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos. (IGS PERU)



Figura 16. Función de drenaje

✓ **Función Protección**

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana. El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante. (IGS PERU)



Figura 17. Función Protección

✓ **Función de Impermeabilización**

Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético. El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas. (IGS PERU)

Crea una capa impermeable, mediante la impregnación del geotextil con asfalto, elastómeros u otro tipo de mezclas poliméricas. (IGS PERU)



Figura 18. Función de Impermeabilización

D. Ensayos Realizados a los Geotextiles

Para justificar el uso de un geotextil en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar. En nuestro caso que es en la impermeabilización de plana de residuos sólidos de almacenamiento de líquidos residuales no existe normas peruanas que lo rigen pero en este capítulo se hace referencia a las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2001), basadas en las normas dadas por la ASTM, En cada norma se explicará el concepto fundamental del ensayo, equipo utilizado y el procedimiento, con el fin de entender la importancia que tienen en las diferentes aplicaciones de los geotextiles:

✓ Determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab)

Está regida por la norma ASTM D-4632, consiste en aplicar a muestras de geotextiles Tejidos y No Tejidos una carga que se incrementa continuamente en sentido longitudinal, hasta alcanzar la rotura.

El equipo requerido para realizar el ensayo es el siguiente:

a) Máquina para el ensayo de Tracción: la máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas,

debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo y consta de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado. (IGS PERU)

b) Mordazas: las mordazas deben tener superficies de ajuste planas, paralelas y aptas para evitar el deslizamiento del espécimen durante un ensayo. Cada mordaza debe tener una superficie de 25.4 mm por 50.8 mm, con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga. (IGS PERU)

El número de muestras necesario para realizar el ensayo es de 10.

- **Ensayo realizado en laboratorio**

Las características dimensionales de la máquina y de las probetas, en los valores de velocidad de ensayo, lo que se expone. (IGS PERU)

Tabla 2 Normas con su velocidad de ensayo

| Norma de ensayo | Velocidad de ensayo |
|--------------------|---------------------|
| DIN 53858 | 100mm/min |
| ASTM D 1682 - 4632 | 300mm/min |
| IRAM 78018 | 300mm/min |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010.

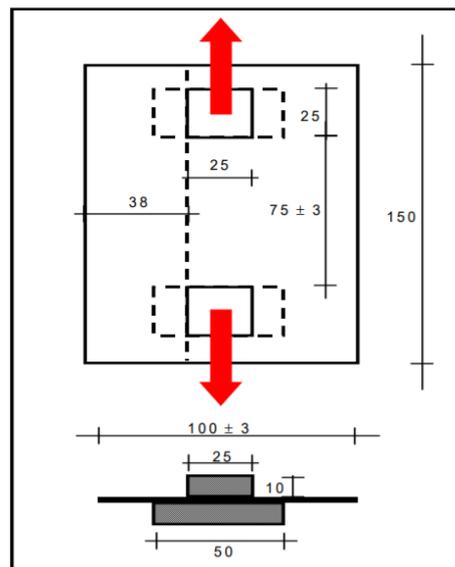


Figura 19. Dimensión de las probetas

Este ensayo también llamado de resistencia a la tracción en carga concentrada, se diferencia del ensayo de tracción en tiras, en que el ancho de las probetas es mayor que la importa .de las mordazas de la máquina que tracciona la muestra. (IGS PERU)

Este ensayo es la mayor simulación de las condiciones reales cuando sobre un Geosintético se presiona un elemento punzante (piedra) en forma descendente, o se ejerce un esfuerzo lateral sobre el elemento (aun presionado), (LEMaC, 2008).

- **Probetas de ensayos**

Se corta un mínimo de cinco probetas de ensayo, tanto en la dirección de producción como en la dirección transversal a la misma. Se prepara cada probeta de ensayo a un ancho nominal final de 200mm y de largo suficiente para asegurar 100mm entre las mordazas. (LEMaC, 2008)

- **El procedimiento:**

Consiste en sujetar en todo su ancho una probeta de geotextil, de 200 mm de ancho, que contiene una unión o una costura, entre las mordazas de una máquina de ensayo de tracción que funciona a una velocidad de alargamiento especificado. Se somete la misma a una fuerza longitudinal (perpendicular al eje de ensamblado), hasta la rotura de la liga, expresando la resistencia en kilo newton por metro. (LEMaC, 2008)



Figura 20. Probetas a ensayar



Figura 21. Ensayo de Probetas

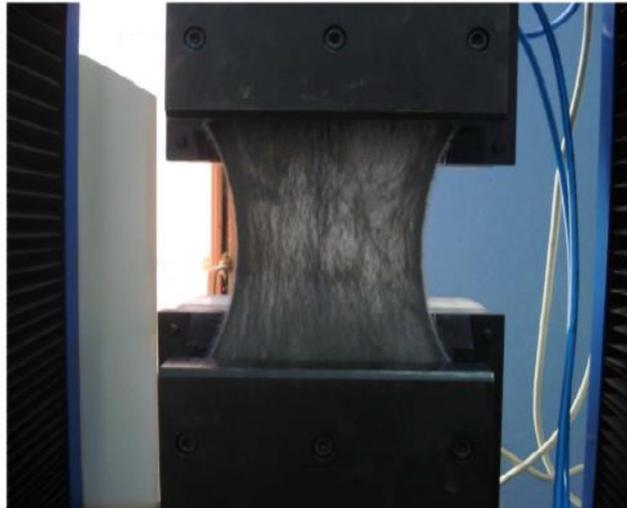


Figura 22. Geotextil logrando la máxima resistencia.

✓ **Determinación del índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados.**

Está regida por la norma ASTM D-4833, establece que el método para determinar el índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados y consiste en colocar un espécimen sin tensión, entre las placas circulares del dispositivo anular de sujeción de la máquina de ensayo. Se aplica una fuerza en la parte central, mediante una barra de acero sólido, conectada al indicador de carga, hasta que se rompa el espécimen. La máxima fuerza registrada corresponde a la resistencia al punzonamiento. (LEMaC: Centro de investigaciones viales, universidad tecnológica de la plata, 2009)

El equipo requerido para realizar este ensayo es el siguiente:

a) Máquina para el ensayo de tracción — compresión: La máquina de ensayo es del tipo de coeficiente constante de extensión (CCE), con registrador gráfico. (LEMaC, 2008)

b) Dispositivo anular de sujeción: el dispositivo consiste en dos placas concéntricas con un orificio de diámetro interno de 45 ± 0.025 mm, que permite sujetar el espécimen sin que se deslice. Se sugiere que el diámetro externo sea 100 ± 0.025 mm y el diámetro de los seis agujeros usados para asegurar el ensamble sea de 8 mm y que estén igualmente espaciados sobre una circunferencia de radio de 37 mm. Las superficies de estas placas pueden tener ranuras con anillos en "O" o papel de lija áspero pegado sobre ambas superficies. (LEMaC, 2008)

c) Aditamento punzante: barra de acero sólido de un diámetro de 8 ± 0.01 mm, con extremo plano con borde biselado de $45^\circ = 0.8$ mm, que hace contacto con la superficie del espécimen de ensayo. (LEMaC, 2008)

✓ **Determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles.**

Está regida por la norma ASTM D-4533, este método de ensayo es un índice que permite determinar la fuerza requerida para continuar o propagar un rasgado en geotextiles tejidos, no tejidos, por el método trapezoidal. Esta norma describe el procedimiento para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles. La resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles tejidos es determinada básicamente por las propiedades de las cintas o elementos que los constituyen, los cuales están sujetos por las mordazas. En geotextiles no tejidos, debido a que las fibras están dispuestas de una forma más o menos aleatoria y son capaces de reorientarse en dirección a la carga aplicada, la máxima resistencia al rasgado trapezoidal de la nueva reorientación se logra cuando se desarrolla una tensión mayor que la requerida para romper una o más fibras simultáneamente. (LEMaC: Centro de investigaciones viales, universidad tecnológica de la plata, 2009)

El equipo necesario para realizar este ensayo es el siguiente:

a) Máquina de ensayo de tracción: la máquina de ensayo debe estar dotada

de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante en el tiempo y debe constar de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado. (LEMaC, 2008)

b) Mordazas: deben tener superficies de agarre paralelas, planas y capaces de prevenir el deslizamiento del espécimen durante el ensayo. (LEMaC, 2008)

Las dimensiones de cada mordaza deben ser 50.8 mm por 76.2 mm (como mínimo), con la dimensión más larga perpendicular a la dirección de aplicación de la carga. (LEMaC, 2008)

c) Molde trapezoidal: este molde es opcional y se utiliza para marcar el espécimen. (LEMaC, 2008)

El número de especímenes necesario es de 10, tomados a una distancia mínima de 1/20 del ancho a partir del borde de la tela o a 150 mm, escogiendo el menor. De cada muestra se cortan especímenes rectangulares de 76.2 mm por 201.6 mm. Se cortan sentido longitudinal y en sentido transversal. (LEMaC, 2008)

✓ Procedimiento

Se marca el contorno de un trapecio isósceles sobre una probeta rectangular del material de ensayo (Figura 23) sobre uno de cuyos lados se hace un corte inicial. Se sujetan los lados no paralelos del trapecio marcado en las mordazas paralelas de una máquina de ensayo de tracción. Se incrementa la separación de las mordazas continuamente de manera que se propague el desgarro a través de la probeta. Se obtiene la resistencia al desgarro, como el máximo valor de la fuerza de desgarro, a partir de la curva fuerza alargamiento. (LEMaC, 2008)

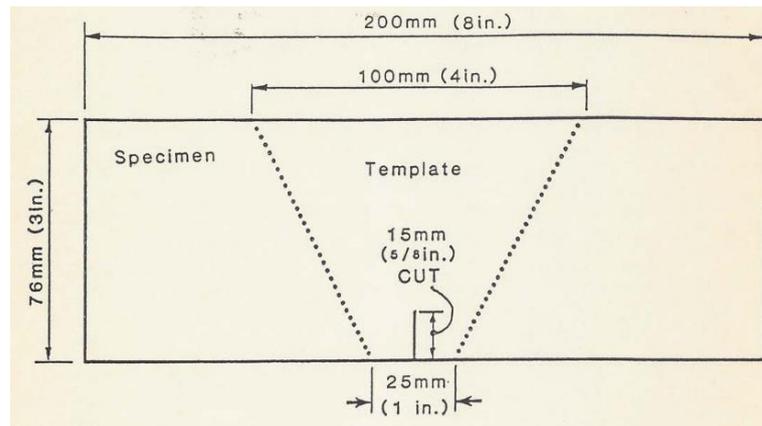


Figura 23. Plantilla para el ensayo del desgarre trapecial (mm).

✓ **Probetas**

Se cortan probetas rectangulares de 76mm x 200mm. Se marca cada probeta con la plantilla trapecial. Se hace un corte preliminar de 15mm en el centro del lado de 25mm, como se muestra en la figura 3. Se toman 10 probetas en la dirección longitudinal y 10 probetas en la dirección transversal. (LEMaC, 2008)

✓ **Ensayo**

Se establece la distancia entre las mordazas al comienzo del ensayo en 25 mm. Se fija la velocidad de la máquina en 300mm/min. Se asegura la probeta de ensayo en las mordazas, sujetándola a lo largo de los lados no paralelos del trapecio de manera que los bordes de las mordazas estén en línea con el lado de 25mm de largo del trapecio, y el corte se encuentre a mitad de camino entre las mordazas. Se mantiene el borde corto tirante y se deja que la tela restante forme Pliegues. Se pone en funcionamiento la máquina y se obtiene la fuerza de desgarro como la fuerza máxima alcanzada, medida en Newton. (LEMaC, 2008)

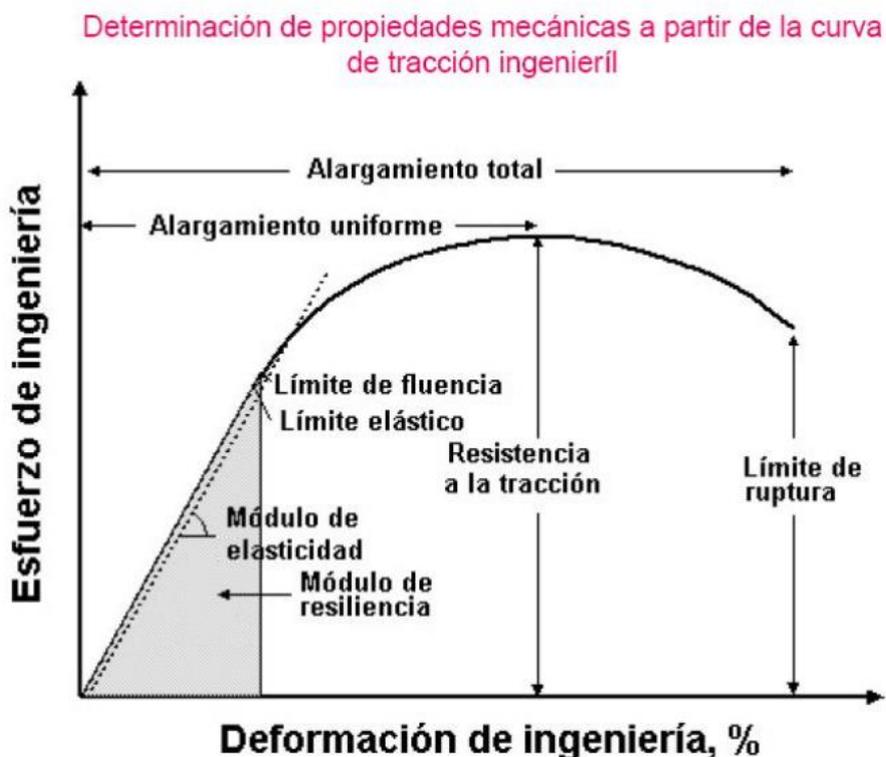


Figura 24. Curvas características de fuerza de desgarro-alargamiento.

✓ Desarrollo del ensayo

Durante el año se ensayaron geotextiles de distintos fabricantes por el método de desgarro trapezoidal siguiendo el procedimiento indicado anteriormente y fijado por la norma correspondiente. Luego de obtenidos los resultados, se hizo una comparación con estos valores y los estipulados por las empresas en sus cartillas técnicas. (LEMaC, 2008)

En las páginas siguientes se muestran imágenes que se tomaron durante el desarrollo del ensayo. Luego se exponen los resultados obtenidos. (LEMaC, 2008)

✓ Determinación de la permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad.

Está regida por la norma ASTM 0-4491, proporciona procedimientos para determinar la conductividad hidráulica (permeabilidad al agua) de los geotextiles en términos de permitividad bajo condiciones de ensayo estandarizadas, sin someter el espécimen a carga normal. Esta norma incluye los procedimientos:

(LEMaC: Centro de investigaciones viales, universidad tecnológica de la plata, 2009)

El ensayo de cabeza constante y el ensayo de cabeza variable.

a) Ensayo de cabeza constante: se mantiene una cabeza de 50 mm de agua sobre el espécimen de geotextil durante el ensayo. Se determina el caudal por método volumétrico. El ensayo de cabeza constante es usado Cuando el caudal de agua que pasa a través del geotextil es tan grande que se dificulta tomar lecturas en el cambio de la cabeza con respecto al tiempo. (LEMaC, 2008)

b) Ensayo de cabeza variable: se establece una columna de agua que pasa a través del espécimen de geotextil y se toman las lecturas de los cambios de cabeza con respecto al tiempo. El caudal de agua a través del geotextil debe ser lo suficientemente lento para obtener medidas exactas. (LEMaC, 2008)

✓ **Procedimiento de ensayo:**

La apreciación del ensayo está ligada al comportamiento de la fluencia por compresión a largo plazo, con el fin de evaluar la capacidad de flujo a largo plazo. (LEMaC, 2008)

✓ **Probetas:**

Se cortan tres probetas de la muestra en sentido longitudinal y otras tres en sentido transversal, de manera que midan como mínimo 0,3m en la dirección longitudinal o de flujo y 0,2m en la dirección transversal de la máquina. (LEMaC, 2008)

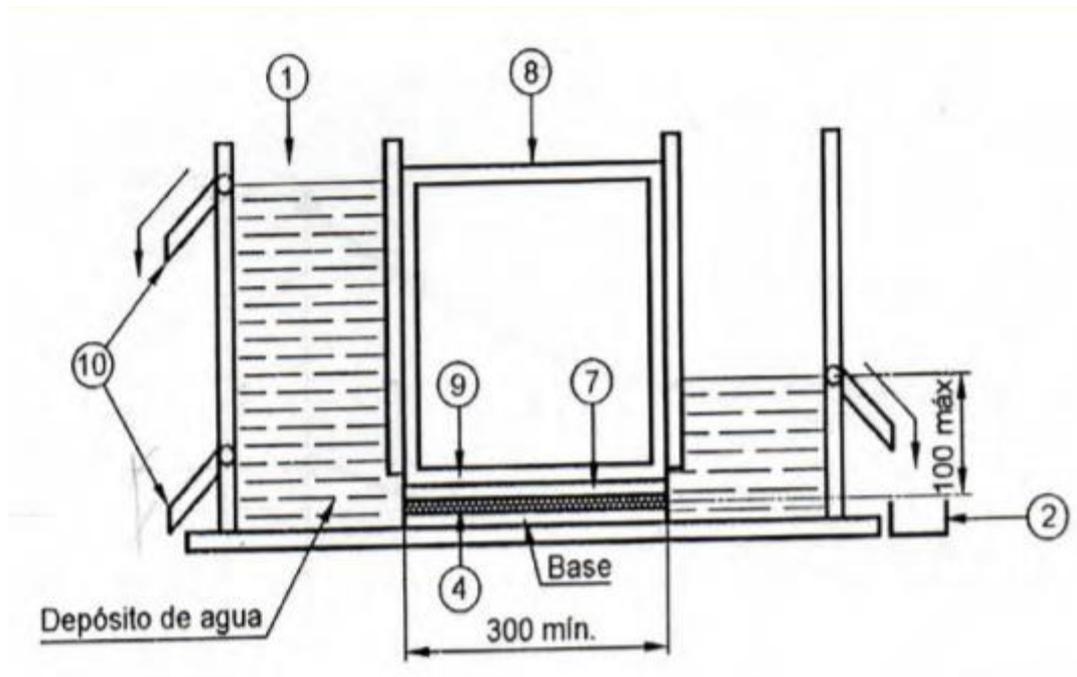


Figura 25. Dispositivo para realizar el ensayo según Norma

1. Alimentación de agua
2. Recipiente colector de agua
3. Probeta
4. Espuma de caucho impermeable
5. Carga
6. Placa de carga
7. Rebosaderos para gradientes hidráulicos 0,1 y 1,0

✓ **Cálculo y expresión de resultados:**

Se calcula la permeabilidad al flujo de agua en el plano a 22°C mediante:

$$q \text{ esfuerzo} / \text{gradiente} = VxRt/Wxt$$

Siendo:

q = Permeabilidad en el plano por unidad de ancho a un gradiente y esfuerzo definido en m²/seg.

V = Volumen en m³

R_t = Factor de corrección de temperatura.

W = Ancho de la probeta en metros.

t = Tiempo en segundos.

Los resultados pueden ser representados de la siguiente manera:

Los resultados pueden ser indicados como representación gráfica de la permeabilidad en el plano, en función del esfuerzo normal de compresión para los dos gradientes hidráulicos definidos.

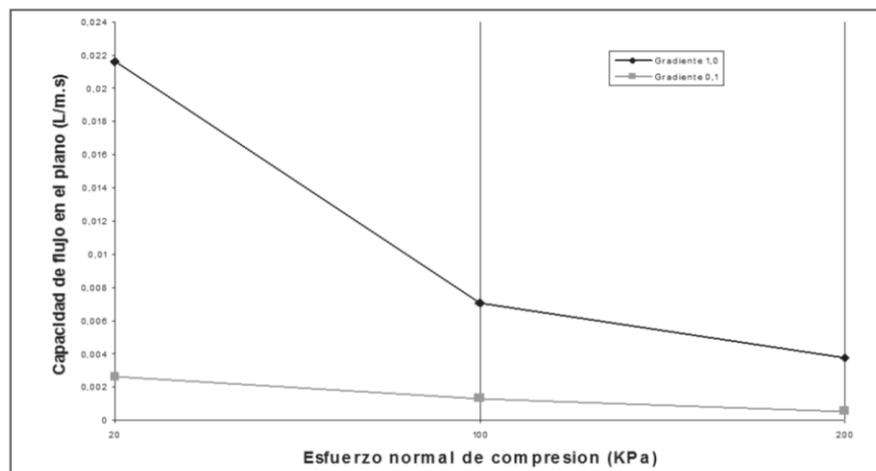


Figura 26. Representación gráfica de la permeabilidad en el plano.

E. Mitología de diseño de geotextiles

Desde la aparición de los geosintéticos como nuevos materiales a emplear en la ingeniería geotécnica, se han desarrollado distintas metodologías de diseño las cuales pueden clasificarse en:

✓ Diseño por especificaciones

En la actualidad cada fabricante obtiene el valor de las propiedades de su producto, utilizando las normativas que rigen el país donde esté ubicado; esto obviamente puede generar un gran número de criterios que hacen imposible el

realizar comparación entre productos de uno u otro país. Por lo anterior, dos organismos la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el comité TASK FORCE # 25, el cual lo conforman la AASHTO; la American Building Contractors (ABC) y la American Road Builders and Transportation Association (ARBTA) están tratando de unificar todas las propiedades de estos materiales. (LEMaC, 2008)

Cuando se utiliza el método de diseño por especificación a menudo se listan los requerimientos mínimos de las propiedades del geotextil, mientras que comúnmente el fabricante lista los valores promedios por lote o el valor mínimo promedio de las propiedades de los rollos. Comparando este valor de especificación con los valores listados por los organismos antes citados, no se está haciendo una comparación bajo el mismo criterio; esto porque el valor promedio es el resultado de los ensayos hechos por el fabricante de una propiedad en particular a su histórico de producción. Lo anterior puede ser una recopilación de miles de ensayos realizados a lo largo de varios meses o años de producción para un tipo de geotextil. (LEMaC, 2008)

De esta forma el valor promedio del lote es considerablemente más alto que el valor mínimo en donde el valor intermedio entre estos dos extremos es el valor mínimo promedio del rollo o MARV. (LEMaC, 2008)

El valor mínimo promedio del rollo es el promedio de un respectivo número de ensayos hechos con un número de rollos seleccionados del lote en cuestión, lo cual es un área limitada para evaluar una situación en particular. Este valor es probablemente dos desviaciones estándar menores que el promedio del lote. De esta forma se ve que el MARV es el mínimo de una serie de valores promedio límites de un rollo. (LEMaC, 2008)

En resumen, el método de diseño de especificación debe ser comparado bajo un mismo criterio. En este intento, si se lista los valores mínimos promedio de los rollos, entonces la lista de fabricante de valores promedio deben ser reducidos con dos variaciones estándar (aproximadamente 5 a 20%) estos promedios de valores de lote son tomados. Solamente el valor promedio mínimo de los rollos (MARV) tomados por el fabricante pueden ser comparados con la especificación de valores

MARV uno a uno. (LEMaC, 2008)

✓ **Diseño por función**

Consiste en evaluar la función principal para la cual se especifica el geosintético (separación, refuerzo, drenaje, filtración o protección) y basándose en ello, calcular los valores numéricos de la propiedad requerida. De esta forma se realiza una elección del geosintético atendiendo aspectos cualitativos y cuantitativos. En algunos casos se requieren cumplir varias funciones alternativamente, por lo tanto, la selección del geosintético a emplear será más segura si este puede desarrollar las funciones simultáneamente. (LEMaC, 2008)

Para que los geosintéticos puedan proporcionar un grado de seguridad suficiente en el desarrollo de sus funciones, su fabricación a partir de las materias primas debe ser estrictamente controlada mediante la evaluación de sus propiedades durante el proceso de fabricación. (LEMaC, 2008)

No obstante, la forma en que el geosintético desarrollará sus funciones no depende únicamente del proceso de fabricación, sino que dependerá en gran parte de la correcta instalación en obra. De esto se deduce la necesidad de realizar una supervisión cuidadosa en la instalación del geosintético si se desea conseguir un completo desarrollo de sus funciones.

El factor de seguridad será el resultado de dividir el valor del ensayo típico de la propiedad relevante para la función principal (valor admisible), entre el valor requerido para dicha propiedad obtenido según algún método o norma de diseño representativo de la realidad. (LEMaC, 2008)

Según lo anterior:

$$FS = \frac{\text{Valor Admisible}}{\text{Valor Requerido}}$$

Si el factor de seguridad así obtenido es suficientemente mayor que la unidad, el geosintético seleccionado es el adecuado.

En resumen, se pueden establecer los siguientes pasos a seguir en el desarrollo del diseño por función:

1. Evaluar la aplicación del geosintético considerando los materiales que van a estar en contacto con él.
2. Dependiendo de las condiciones en la obra, escoger un factor de seguridad adecuado.
3. Especificar la función primaria del geosintético.
4. Calcular numéricamente el valor de la propiedad requerida del geosintético basándose en su función primaria.
5. Obtener el valor de la propiedad permisible por ensayo.
6. Calcular el factor de seguridad como cociente del valor de la propiedad permisible entre el valor de la propiedad requerida.
7. Comparar el factor de seguridad obtenido con el deseado.
8. Si el factor de seguridad no es aceptable, reiniciar el proceso con un geosintético de características superiores.
9. Si el factor de seguridad es aceptable, comprobar si otras funciones del geosintético pueden ser críticas o relevantes y escoger el más completo.

F. Tablas y gráficas para el dimensionamiento de geotextiles

La elección del tipo de geotextil para nuestro proyecto dependerá de: la Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras.

Haciendo referencia la norma de caminos por no existir normas para proyectos hidráulicos así también tomando datos como referencia en el diseño del geotextil.

- ✓ **Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para construcción de carreteras**

El geotextil deberá cumplir con los requerimientos de la Tabla 3 650-1 de la Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras. La elección de la Clase del geotextil para esta aplicación está determinada por su habilidad de sobrevivir los daños de instalación. Los requerimientos hidráulicos dependen de la función del geotextil y las características del subsuelo, y se presentan a continuación en la Tabla 650-1, Tabla 650-3 (Separación) y la Tabla 650-4 (Estabilización).

Tabla 3: *Geotextiles – Requerimiento de Supervivencia.*

| Propiedades | Métodos de Ensayos | Unid | Requerimientos (MARV) | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|------|-----------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | | | Clase 1 | | Clase 2 | | Clase 3 | |
| | | | E <50% | E >50% | E <50% | E >50% | E <50% | E >50% |
| Resistencia a Tracción "Grab" | ASTM D 4632 | N | 1400 | 900 | 1100 | 700 | 800 | 500 |
| Resistencia al Rasgado | ASTM D 4533 | N | 500 | 350 | 400 | 250 | 300 | 180 |
| Resistencia al Punzonamiento | ASTM D 4833 | N | 500 | 350 | 400 | 250 | 300 | 180 |
| Resistencia Burst | ASTM D 3786 | kPa | 5500 | 1700 | 2700 | 1300 | 2100 | 950 |
| Resistencia a la Costura | ASTM D 4632 | N | 1260 | 810 | 990 | 630 | 720 | 450 |

E = Elongación

Nota: Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, MTC (2001).

Tabla 650-3. Requerimientos de geotextiles en aplicaciones de separación

Geotextiles Clase 2 son generalmente especificados en obras viales donde la función principal del geotextil es separación, corresponde a requerimientos de sobrevivencia normal bajo condiciones de instalación de severidad media; subsuelos con CBR 3% (esfuerzo cortante superior aproximadamente a 90 kPa).

Tabla 4 *Geotextiles - Aplicación de separación*

| CLASE DE GEOTEXTIL: Cine 2 de la Tabla 850-1 | | | |
|---|--------------------|-------------------|---|
| Propiedades | Métodos de Ensayos | Unidad | Requerimientos (MARV *) |
| Permisividad | ASTM D 4991 | seg ⁻¹ | 0.02 |
| Tamaño de abertura aparente | ASTM D 4751 | mm | 0.60 valor máximo del rollo muestreado |
| Resistencia retenida UV | ASTM D 4355 | % | 50% de resistencia después de 500 horas de exposición |

* MARV = Promedio — 2 (Desviación Estándar). No se permite el uso de valores típicos o promedios.

Nota: Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, MTC (2001)

Tabla 650-4. Requerimientos de geotextiles en aplicaciones de estabilización

Geotextiles Clase 1 son generalmente especificados en obras viales donde la función principal del geotextil es estabilización, y corresponde a requerimientos de sobrevivencia bajo condiciones severas; subsuelos con CBR entre 1% y 3% ($1\% \leq \text{CBR} < 3\%$) (Esfuerzo cortante entre aproximadamente 30 kPa y 90 kPa).

Tabla 5 *Geotextiles – Aplicación de Estabilidad.*

| CLASE DE GEOTEXTIL: Clase 1 de la Tabla 650-1 | | | |
|--|--------------------|-------------------|---|
| Propiedades | Métodos de Ensayos | Unidad | Requerimientos (MARV *) |
| Permisividad | ASTM D 4991 | seg ⁻¹ | 0.05 ⁽²⁾ |
| Tamaño de abertura aparente | ASTM D 4751 | mm | 0.43 valor máximo del rollo maestreado |
| Resistencia retenida UV | ASTM D 4365 | % | 50% de resistencia después de 500 horas de exposición |

* MARV = Promedio — 2 (Desviación Estándar). No se permite el uso de valores típicos o promedios.

Nota: Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, MTC (2001).

I.6.2.2. Geomembranas

Las Geomembranas son productos Geosintéticos en forma laminar, continua y flexible, utilizadas como barrera impermeable de líquidos u otros fluidos en proyectos ambientales o de ingeniería civil, específicamente diseñadas para condiciones expuestas a rayos UV. Pueden ser fabricadas a base de diversos polímeros, siendo las más comunes las Geomembranas de Polietileno (HDPE - LLDPE), las cuales poseen propiedades mecánicas apropiadas, alta resistencia física, gran inercia química, aislamiento eléctrico alto, no absorben humedad y son inertes a agentes biológicos. Este es el tipo de Geomembranas más utilizadas por su precio y versatilidad. (LEMaC, 2008)

Es conveniente hacer énfasis en que todos los materiales tienen permeabilidad, y que se distinguen dos tipos: la primaria, que corresponde a la del flujo a través de un medio homogéneo y la secundaria que ocurre a través de discontinuidades. (LEMaC, 2008)

Las geomembranas se definen como un recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos. (LEMaC, 2008)

Las geomembranas son fabricadas a partir de hojas relativamente delgadas de polímeros como el HDPE y el PVC los cuales permiten efectuar uniones entre láminas por medio de fusión térmica o química sin alterar las propiedades del material. (LEMaC, 2008)

✓ Clasificación de las geomembranas

Igualmente existen membranas con características técnicas especiales; por ejemplo, geomembranas de polietileno de alta flexibilidad para el recubrimiento de túneles; de geomembranas texturizadas para desarrollar más fricción con el suelo cuando los taludes a impermeabilizar tienen pendientes importantes; de geomembranas con aditivos especiales para retardar la combustión en aplicaciones donde se requieran materiales de construcción con flamabilidad controlada. (LEMaC, 2008)

✓ **Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)**

Las Geomembranas HDPE son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluidos ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Además de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y rayos ultravioleta, presentan altas propiedades mecánicas para la supervivencia frente a los esfuerzos de instalación en obra. Su permeabilidad, muy baja, le permite actuar como barrera al paso de fluidos y gases. (LEMaC, 2008)



Figura 27. Geomembrana De Alta Densidad.

✓ **Geomembranas de Polietileno Ultra flexible (LLDPE)**

Estas Geomembranas, además de cumplir con las propiedades químicas de las Geomembranas HDPE, presentan una flexibilidad muy alta con un compendio de propiedades adecuadas para un gran número de aplicaciones, entre las que cabe destacar, sellado de vertederos y balsas de agua en terrenos conflictivos con riesgo de movimientos del soporte. (LEMaC, 2008)



Figura 28. Geomembranas de Polietileno Ultra flexible.

✓ **Proceso de fabricación**

El proceso de fabricación consiste en la producción de rollos de láminas de espesores que usualmente fluctúan entre 0.50mm-1.50mm y cuyas dimensiones están comprendidas alrededor de los siete metros de ancho y una longitud tal que el peso del rollo, por motivos prácticos, no exceda de dos toneladas. (LEMaC, 2008)

La fabricación de las láminas es llevada a cabo por la extrusión conjunta del polímetro puro más una dosis controlada de polímetro con contenido de negro de humo y aditivos, compuestos por antioxidantes y lubricantes que garantizan una larga duración; incluso en condiciones de exposición a la intemperie. (LEMaC, 2008)

Posteriormente, la mezcla pasa por el proceso de laminación, a continuación, se mencionan los más comunes:

1. Fabricación por extrusión plana

El proceso de fabricación por extrusión plana, consiste básicamente en el paso forzado de la resina extruida entre dos barras de bordes paralelos, cuya separación da el espesor de la lámina. (LEMaC, 2008)

2. Fabricación por soplado

Este proceso consiste en la obtención de la lámina por medio de la extrusión

de la resina entre las paredes de dos anillos concéntricos. De este modo resulta un manto cilíndrico de polietileno en el cual, el espesor de la lámina es controlado indirectamente, a través del caudal extruido y de la velocidad de enrollado. Esta manga es cortada longitudinalmente, obteniéndose así una lámina plana de ancho igual al perímetro del manto cilíndrico. (LEMaC, 2008)

La lámina básica descrita anteriormente puede ser sometida a procesos posteriores o simultáneos a su fabricación para otorgar características especiales a una o ambas superficies de la lámina. Algunos ejemplos son el proceso de texturización de las superficies, con el fin de obtener láminas con un mayor coeficiente de fricción. (LEMaC, 2008)

✓ **Funciones y aplicaciones**

1. Manejo de Desechos Urbanos

- Rellenos sanitarios.
- Zonas de almacenamiento para el tratamiento de suelos contaminados.

El diseño de rellenos sanitarios, hoy en día, se hace utilizando una amplia gama de productos Geosintéticos para maximizar la eficacia, integridad y comportamiento de este tipo de proyectos, al mismo tiempo que permite minimizar costos. (LEMaC, 2008)

2. Industria Petrolera y Gasífera

- Depósitos de contención secundarios.
- Protección de diques.
- Depósitos de lodos industriales.

Las Geomembranas son utilizadas comúnmente en el almacenamiento de combustibles o líquidos peligrosos para la construcción de contenedores secundarios, diseñados con el fin de evitar la contaminación del suelo cuando exista la posibilidad de un derrame de los tanques de almacenamiento primario. La construcción de dichas áreas de contención secundaria se ha convertido en una práctica común, debido a que cada día se hace mayor énfasis en la protección del medio ambiente. (LEMaC, 2008)

La utilización de las Geomembranas es una opción muy económica y duradera para este tipo de proyectos, debido a la alta resistencia que ellas presentan a la degradación que se puede generar por reacciones químicas y exposición a los rayos UV. (LEMaC, 2008)

3. Operaciones Mineras

- Plataformas de lixiviación en pilas.
- Diques de contención de residuos mineros.
- Depósitos de salmueras.
- Depósitos de relaves.

Las prácticas de minería actuales requieren de un alto desempeño en los sistemas de revestimiento para contención de líquidos, lo cual puede ser logrado a través de la utilización de Geomembranas. (LEMaC, 2008)

El componente esencial de un patio de lixiviación es la capa impermeable primaria, construida comúnmente con Geomembranas, la cual sirve para un doble propósito:

el de confinar los lixiviados para su recolección, y el de proteger los recursos subterráneos y el nivel freático del suelo para evitar su contaminación. (LEMaC, 2008)

4. Sector Acuífero

- Piscicultura.
- Depósitos de contención.
- Canales de irrigación.
- Reservorios de agua potable.

El rendimiento de los estanques, depósitos y canales de derivación, utilizados para la crianza de peces y camarones, se puede mejorar considerablemente por medio del uso de revestimientos impermeables con Geomembranas que reemplazan los sistemas tradicionales de revestimiento de arcillas o concreto y, en términos de explotación y costos, ofrecen ventajas importantes como:

5. Arquitectura Paisajística y Recreativa

- Piscinas para proyectos paisajísticos.
- Estanques y lagos artificiales.

Las Geomembranas son utilizadas comúnmente en la construcción de lagunas artificiales de diversos tamaños y formas, así como en proyectos de jardines y campos de golf, donde las lagunas artificiales proveen beneficios tanto estéticos como prácticos al almacenar grandes cantidades de agua utilizada para el riego del césped. (LEMaC, 2008)

La utilización de Geomembranas en la construcción de lagunas artificiales, proveen una solución más económica y duradera que asegura la contención del agua, incluso en lugares de riesgo sísmico donde pueden presentar asentamientos diferenciales y los sistemas convencionales de revestimiento se pueden agrietar. (LEMaC, 2008)

✓ Metodología del diseño de geomembranas

Generalidades

El crecimiento en la conciencia ambiental, así como el desarrollo de nuevas tecnologías es claramente una facilidad en el control de agentes contaminantes, no sólo en el manejo de basuras, sino también en el manejo de residuos producidos por las grandes industrias. Es así como las geomembranas ayudan al desarrollo ambiental y a la protección del ecosistema. (LEMaC, 2008)

Las geomembranas representan el segundo grupo más importante de geosintéticos en ventas detrás de los geotextiles, sin embargo, en volúmenes de dinero son las geomembranas las que ocupan el primer lugar. Las geomembranas en si son hojas delgadas de materiales poliméricos utilizados principalmente como recubrimientos y cubiertas de almacenamiento de materiales sólidos y líquidos. (LEMaC, 2008)



Figura 29. El empleo en rellenos sanitarios.

Las geomembranas han sido empleadas en proyectos tales como cubiertas flotantes, rellenos sanitarios, lagunas de oxidación, reservorios, pondajes, recubrimientos expuestos a la luz solar en taludes, impermeabilización de superficies, etc. Su durabilidad es estimada de acuerdo a la vida útil que sea especificada por el fabricante, comúnmente para geomembranas HDPE (Polietileno de alta densidad) o LLDPE (Polietileno de baja densidad) se considera alrededor de 20 años. Otros tipos de geomembranas que de igual manera son generalmente usadas poseen una menor vida útil expuestas a la luz solar y por lo tanto deben ser cubiertas con suelo o con material de sacrificio, como puede ser un geotextil reemplazable. (LEMaC, 2008)

- **Metodología de diseño**

La metodología que se presenta a continuación permite seleccionar la geomembrana más adecuada para ser instalada como barrera impermeable, garantizando la protección del ecosistema en cada una de las aplicaciones como pueden ser en rellenos sanitarios, en recolección de lodos generados de los procesos industriales, en rellenos sanitarios, etc. (LEMaC, 2008)

El diseño por función consiste en evaluar la principal aplicación para la cual se utiliza la geomembrana y calcular el valor requerido para esa propiedad en particular. En el caso del diseño para la geomembrana, se comparan las resistencias del material con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad, obteniendo un factor de seguridad global FSg. (LEMaC, 2008)

$$FS_g = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{\text{Resistencia Requerida}} \Rightarrow FS_g > 1$$

Dónde:

Resistencia Admisible: Resistencia última del ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto sobre los factores de reducción.

Resistencia Requerida: Valor obtenido del cálculo mediante una metodología diseño que simula las condiciones reales del proyecto.

✓ **Diseño por espesor de geomembranas**

El espesor necesario de una geomembrana dependerá del polímero con que esté fabricada dicha membrana debido a los comportamientos tan distintos a la fluencia de cada uno de los materiales. Para el cálculo del espesor se realiza un equilibrio límite teniendo en cuenta la posible deformación en la geomembrana como se muestra a continuación:

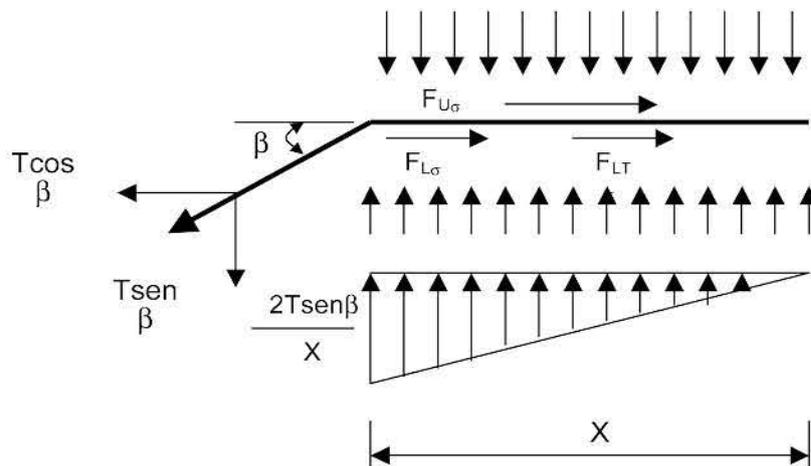


Figura 30. Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la Geomembrana.

Nota: Manual de diseño con geosintéticos, Novena edición, 2012.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT}$$

$$T \cos \beta = \sigma_n \tan \delta_U(x) + \sigma_n \tan \delta_L(x) + 0.5 (2T \sin \beta / x) (x) \tan \delta_L$$

$$T = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L} \quad (01)$$

La tensión inducida en la geomembrana es igual al esfuerzo admisible por el espesor.

$$T = S_{adm} t$$

Donde:

T = Tensión movilizadora en la geomembrana

S_{adm} = Esfuerzo admisible en la geomembrana

t = Espesor de la geomembrana

Entonces reemplazando estos valores en la ecuación (01) se tiene que:

$$t = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)} \quad (02)$$

Donde:

b = Angulo que forma el movimiento de la geomembrana a tensión con la horizontal

F_{Us} = Fuerza de fricción sobre la geomembrana debido al suelo de cubierta (para suelos de cubierta demasiado delgados, la fracturación de este puede ocurrir por tensión, en estos casos este valor suele ser despreciable)

F_{Ls} = Fuerza de fricción debajo de la geomembrana debido al suelo de cubierta

F_{LT} = Fuerza de fricción debajo de la geomembrana al componente vertical de T admisible

s_n = Esfuerzo aplicado por el material de relleno

du = Angulo de fricción entre la geomembrana y el material superior (ASTM D 5321)

d_L = Angulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (A5TM D 5321)

X = Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

Tabla 6 *Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana – geotextil según ensayo A5TM D 5321*

| Tipo de geomembrana | Tipo de geotextil No tejido punzonado | Tipo de suelo - arena | | |
|---------------------|---|-----------------------|-------------------|-------------------|
| | | $\phi = 30^\circ$ | $\phi = 28^\circ$ | $\phi = 26^\circ$ |
| Texturizada | 32° | 30° (100%) | 26° (92%) | 22° (83%) |
| Lisa | 8° | 18° (56%) | 18° (61%) | 17° (63%) |

Nota: Según ensayo A5TM D 5321

Tabla 7 *Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE vs. Espesor.*

| Espesor de geomembrana HDPE | Distancia de movilización |
|-----------------------------|---------------------------|
| (mm) | (mm) |
| 0.75 | 30 |
| 1.50 | 50 |

Nota: Según ensayo A5TM D 5321

✓ **Estabilidad de cobertura del relleno**

Las geomembranas por lo general deben ser recubiertas, con el recubrimiento se busca protección adicional contra la oxidación, protección contra la degradación ultra-violeta, protección contra las altas temperaturas que incrementan la alta degradación, protección contra el punzonamiento y el rasgado por materiales angulares, protección ante posibles daños accidentales o intencionales. Usualmente se suelen cubrir con espesores pequeños de suelo, que generalmente tienen la tendencia a deslizarse sobre los taludes, motivo por el cual este chequeo se basa en las condiciones de equilibrio límite entre el subsuelo, la geomembrana y el suelo de recubrimiento asumiendo que estos tienen un espesor uniforme. (LEMaC, 2008)

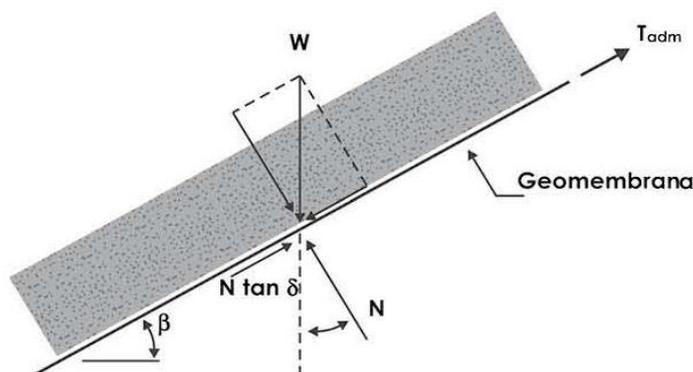


Figura 31. Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante.

Para realizar el cálculo de la estabilidad de la cobertura se chequea un F.S. por equilibrio límite.

$$\begin{aligned}
 FS &= \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}} \\
 FS &= \frac{N \tan \delta_u (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)} \\
 FS &= \frac{(W \cos \beta) \tan \delta_u (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)} \quad (03)
 \end{aligned}$$

Donde:

W = Peso del material de relleno

β = Angulo de inclinación del talud con la horizontal

δ_u = Angulo de fricción entre la geomembrana y el material superior

L = Longitud de la inclinación

$T_{adm} = s_n * t$, Fuerza de tensión en la geomembrana

Se obtienen diferentes factores de seguridad para diferentes longitudes de inclinación y se escoge la longitud con la cual se obtenga un FS mínima de 1 para garantizar que no habrá deslizamiento de la capa de suelo. (LEMaC, 2008)

✓ **Diseño de la longitud y zanja de anclaje**

Para este chequeo, se tiene en cuenta un estado de esfuerzos dentro de la zanja de anclaje y su mecanismo de resistencia. En la profundidad de la zanja de anclaje se tienen fuerzas laterales actuando sobre la geomembrana, más específicamente una presión activa de tierras tendiendo a desestabilizar el sistema y una presión pasiva de tierra que lo tiende a soportar. (LEMaC, 2008)

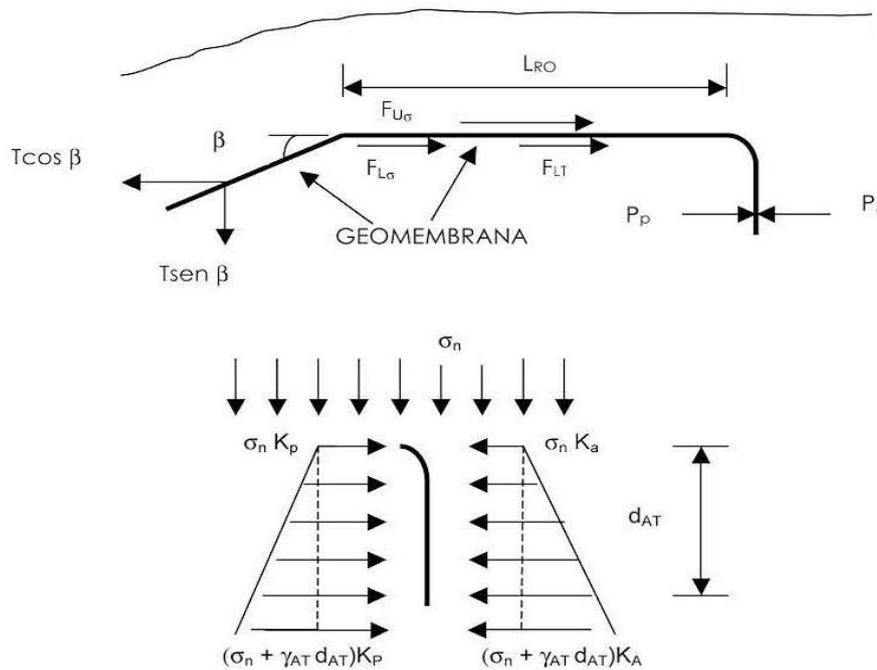


Figura 32. Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_{adm} \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT} - P_A + P_p$$

$$T_{adm} \cos \beta = \sigma_n \tan \delta_U (L_{RO}) + \sigma_n \tan \delta_L (L_{RO}) + 0.5 (2T_{adm} \sin \beta / L_{RO}) (L_{RO}) \tan \delta_L - P_A + P_p$$

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{RO} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - P_A + P_p}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L} \tag{04}$$

$$P_A = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_p = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_p d_{AT}$$

Donde:

- L = Longitud de desarrollo
- P_A = Presión activa de tierras contra el material de relleno de la zanja de anclaje
- P_P = Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de anclaje
- gAT = Peso Específico del suelo de la zanja de anclaje
- dAT = Profundidad de la zanja de anclaje
- S_n = Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura
- K_A = Coeficiente de presión de tierra activa = $\tan^2(45 - \emptyset/2)$
- K_P = Coeficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2(45 + \emptyset/2) = 1/K_A$
- \emptyset = Angulo de fricción del suelo respectivo.

Entonces resolviendo para la ecuación (04) se tendrían dos incógnitas, motivo por el cual es necesario asumir una de las dos variables y calcular la otra en un proceso iterativo, hasta que se encuentre un dato consistente constructivamente viable tanto para la longitud de desarrollo (L_{RO}) como para la profundidad de la zanja de anclaje (d_{AT}). (LEMaC, 2008)

✓ **Chequeo por supervivencia**

Después de haber escogido la geomembrana aplicando la metodología de diseño, se debe considerar adicionalmente procesos de transporte, manejo e instalación, los cuales están fuera del alcance del diseñador. Únicamente mediante especificaciones estrictas y un aseguramiento de la calidad en la construcción, La geomembrana puede sobrevivir la instalación y cumplir adecuadamente con la función para la cual fue especificada e instalada. (LEMaC, 2008)

Mientras una geomembrana es transportada, manipulada e instalada, puede ser vulnerable al rasgado, punzonamiento e impacto. Situaciones como, caída de herramientas sobre el material, tránsito de personas sin un calzado adecuado, automóviles o camiones sobre la geomembrana sin material de protección, fuertes vientos, entre otros, son situaciones "comunes" durante el proceso de instalación. Estos eventos pueden ocurrir accidentalmente, por vandalismo o por la falta de

cuidado en el trabajo de instalación. En la tabla 2.4 se relacionan algunas propiedades mecánicas de la geomembrana, resistencia a la tensión, susceptibilidad al rasgado, punzonamiento y daño por impacto. (LEMaC, 2008)

La Tabla 8 nos muestra valores a cuatro grados diferentes de supervivencia.

Tabla 8 *Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana asociada al proceso de instalación.*

| Propiedad física y método de laboratorio | Grado requerido de supervivencia | | | |
|--|----------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| | Bajo ¹ | Medio ² | Alto ³ | Muy alto ⁴ |
| Espesor (D5199), mils (mm) | 20 (0.50) | 30 (0.75) | 40 (1.0) | 60 (1.5) |
| Tensión (D6693), Lb/pulg (KN/m) | 46 (8.0) | 69 (12) | 91 (16) | 137 (24) |
| Rasgado (D1004), Lb (N) | 15 (67) | 22.7 (101) | 30.3 (135) | 45.6 (203) |
| Punzonamiento (D4833), Lb (N) | 36 (160) | 60 (268) | 80 (357) | 120 (536) |
| Impacto (D3998 mod), J | 10 | 12 | 15 | 20 |

Nota: Designing With Geosynthetics 5ta. Edición. Robert Koerner.

1 Bajo: se refiere a una cuidadosa instalación a mano sobre un terreno bien gradado y uniforme con cargas leves de naturaleza estática. Típicos usados como barreras de vapor bajo trozos de piso.

2 Medio: se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas medianas. Generalmente usados para canales.

3 Alto: se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas altas. Generalmente usados para suelos de relleno y coberturas.

4 Muy Alto: se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una textura muy pobre con cargas altas. Típicamente usados para reservorios y rellenos sanitarios.

I.6.3. Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos

I.6.3.1. Residuos sólidos

El creciente volumen de residuos sólidos generados conlleva a problemáticas como la dificultad para su recolección y el agotamiento rápido de la vida útil de los rellenos sanitarios. De 1992 a 2004, la generación total de RSM se incrementó 57%, alcanzando 34,6 millones de toneladas en el último año. (INEGI, 2013).

I.6.3.2. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos

Un dato técnico muy importante para planificar la gestión de los residuos es conocer la cantidad y las características (densidad y composición) de los residuos sólidos que se generan en las viviendas, comercios, mercados, escuelas, etc. (Andrés, 2008).

Los problemas asociados con el manejo de los residuos sólidos en la sociedad actual son complejos debido a la cantidad y la naturaleza diversa de los desechos, la extensión de las áreas urbanas, las limitaciones de fondos de los servicios públicos en muchas grandes ciudades, los impactos de la tecnología, y las emergentes limitaciones tanto en energía como en materias primas. Las actividades asociadas con el manejo de los desechos sólidos se describen en la imagen siguiente (Eduardo S.):

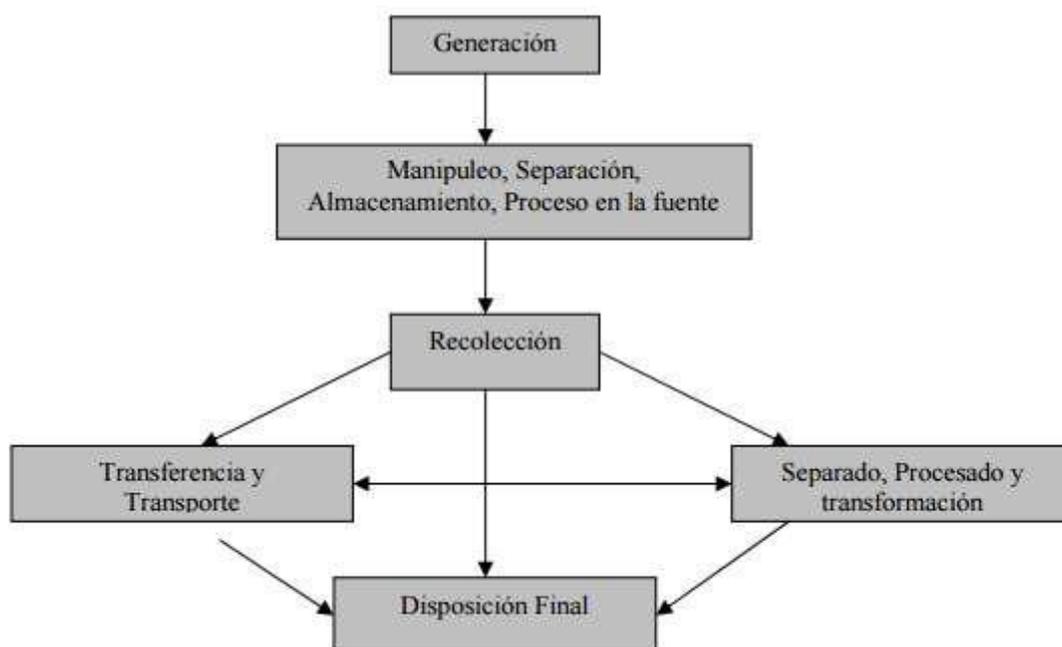


Figura 333. Actividades asociadas con el Manejo de Residuos Sólidos. (Eduardo S.).

I.6.4. Problemática de la Gestión de Residuos Sólidos Municipales

Podemos señalar que la gestión de los residuos sólidos, entendida como el manejo de todas aquellas actividades que tengan como objetivo minimizar los impactos de los residuos sólidos en la salud, el ambiente y en lo estético, tiene un impacto directo en la calidad de vida de las poblaciones, lo que comprobamos si

tomamos el caso de ciudades que por no tener un esquema adecuado de gestión han terminado teniendo focos infecciosos que generan enfermedades o contaminando los ecosistemas y generando la muerte de miles de especies. (Dulanto, 2013).

I.6.4.1. Manejo de Residuos Sólidos de Gestión Municipal

El manejo de los residuos sólidos le compete a su generador cuando estén en su posesión. Una vez que los residuos sean entregados a la municipalidad respectiva o a la Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos, esta adquiere la responsabilidad de su adecuado manejo. El destino final de los desechos son los rellenos sanitarios.

I.6.4.2. Fiscalización del Manejo de Residuos Sólidos del Ámbito de Gestión Municipal

Cuando los residuos sólidos están en manos de su generador, las municipalidades distritales (y las municipalidades provinciales en el distrito del cercado correspondiente) deben fiscalizar su manejo. Una vez que el generador hizo entrega de sus residuos sólidos a la municipalidad distrital, (que puede o no haber contratado una EPS-RS autorizada) la fiscalización le corresponde a las municipalidades provinciales.

I.6.5. Problemática de los Residuos Sólidos en el Perú

De acuerdo al informe del estado actual de la gestión de los residuos sólidos municipales en el Perú (2010-2011), se generan por día 20 000 toneladas de ellos. Los habitantes de la costa son los que producen la mayor cantidad de basura en el Perú. Solo en Lima, donde se ubica la capital, en la que viven más de ocho millones de personas, se generan un promedio de 2 123 016 toneladas de residuos al año. Cada persona en promedio genera 0,61 kilos al día, lo cual supone un incremento significativo de los residuos sólidos. Por su composición, estos residuos son, en mayor cantidad restos orgánicos, de cocina y alimentos (47%), plástico (9,48%) y residuos peligrosos (6,37%), es decir, aquellos residuos que representan riesgos para la salud de las personas, como relaves mineros y residuos industriales u hospitalarios. Continúan en la lista, pero en menor proporción: papel, residuos de construcción, vidrio, cartón, fierro, madera y residuos electrónicos, entre otros. (MINAM, 2011).

I.6.6. Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos

Es una herramienta que nos permite obtener información primaria relacionada a las características de los residuos sólidos en este caso municipales, constituidos por residuos domiciliarios y no domiciliarios en un ámbito geográfico, como son: La cantidad de residuos, Densidad, composición y humedad. Esta información permite la planificación técnica y operativa del manejo de los residuos sólidos y la planificación administrativa y financiera, ya que sabiendo cuánto de residuos sólidos se genera en cada una de las actividades que se producen en el distrito, se puede calcular la tasa de cobros de arbitrios. (MINAM, 2014).

I.6.7. Rol del OEFA

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA es la autoridad encargada de supervisar que las municipalidades cumplan con fiscalizar al generador de residuos por el manejo de estos. (OEFA, 2014).

I.6.8. Modelo de las Tres “R”

I.6.8.1. Reducir

Se refiere a cambiar nuestros hábitos de consumo, es decir, comprar sólo lo esencial pues el sobrante se tira a la basura (cuando compramos un producto y lo sacamos de su empaque, éste se vuelve basura). Reducir disminuye el consumo excesivo de productos y, por lo tanto, mejora nuestra economía. (PROFECO, 2008).

I.6.8.2. Reusar / Reutilizar

Se refiere a utilizar objetos que generalmente terminan en la basura, para darles una utilidad distinta a la de su adquisición. Lo importante es darle un nuevo uso a aquello que ya ha tenido un costo económico y ambiental. (PROFECO, 2008).

I.6.8.3. Reciclar

Muchos de los materiales de los que están hechos los productos y sus correspondientes empaques o envases, tienen la posibilidad de incorporarse a otro ciclo de transformación. Esto es posible siempre y cuando los desechos se separen adecuadamente. (Blanco & Briceño, 2005).

I.7. Definición de términos básicos.

Geotextiles tejidos: Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una

máquina de tejer.

Geotextiles no tejidos: Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos de polipropileno mezclados aleatoriamente, conformando una capa textil con altas propiedades de filtración y drenaje.

Geomembranas: son productos Geosintéticos en forma laminar, continua y flexible, utilizadas como barrera impermeable de líquidos u otros fluidos en proyectos ambientales o de ingeniería civil, específicamente diseñadas para condiciones expuestas a rayos UV.

I.8. Formulación de la hipótesis

I.8.1. Hipótesis general

✓ Existe un método correcto de diseño e instalación de geotextiles y geomembranas como por función y por espesor, respectivamente en plantas de residuos solidos que es probable la impermeabilización eficiente y proceso constructivo correcto.

I.8.2. Hipótesis específicas

✓ Las propiedades mecánicas del suelo de fundación tendrán incidencia en el diseño de geotextiles y geomembranas en plantas de residuos sólidos.

✓ El sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana), permitirá conseguir ventajas técnicas en plantas de residuos sólidos.

✓ La construcción de la planta de residuos sólidos utilizando Sistema de impermeabilización (geotextil - geomembrana), cumplirá con los parámetros del Aseguramiento de la Calidad.

✓ Con el sistema de tratamiento adecuado de residuos solidos y la construcción de plantas de tratamientos. Lograrán ser viables e importantes en nuestra región y controlando así el impacto ambiental.

II. Material y Métodos

II.1. Material:

II.1.1. De consumo

Tabla 9 *Material de Consumo*

| RECURSOS DE CONSUMO | | |
|---------------------|----------|------------------|
| Descripción | Cantidad | Unidad de Medida |
| Papel Bond A4 | 5 | Millar |
| Tóner | 1 | Unidad |
| Tinta Color | 1 | Unidad |
| CD | 12 | Unidad |
| Porta CD | 12 | Unidad |
| Lapiceros | 2 | Unidad |
| Lápiz | 1 | Unidad |
| Borrador | 1 | Unidad |
| Corrector | 1 | Unidad |
| Folder Manila | 12 | Unidad |

Nota: Elaboración propia

II.1.2. De Inversión

Tabla 10 *Material de Inversión*

| RECURSOS DE INVERSION | | |
|-----------------------|----------|------------------|
| Descripción | Cantidad | Unidad de Medida |
| Laptop | 1 | Unidad |
| Impresora Láser | 1 | Unidad |
| Impresora de tinta | 1 | Unidad |
| PC de escritorio | 1 | Unidad |
| Memoria USB 8 GB | 1 | Unidad |

Nota: Elaboración propia

II.1.3. Servicios.

Tabla 11 *Material de Servicio*

| SERVICIO | | | | |
|---------------|-----------------|----------|-----------------|-------------|
| Items | Descripción | Cantidad | Precio Unitario | Costo total |
| 16 | Internet | 3 | 120 | 360 |
| 17 | Fotocopiado | 400 | 0.1 | 40 |
| 18 | Servicio de Luz | 3 | 50 | 150 |
| 19 | Movilidad | 150 | 5 | 750 |
| 20 | Empastado | 4 | 55 | 220 |
| SUB TOTAL S/. | | | | 1520.000 |
| TOTAL S/. | | | | 6555.000 |

Nota: Elaboración propia

II.2. Material de estudio.

II.2.1. Población.

Según el XI Censo de Población y VI de Vivienda del 2017, el distrito de Los JESÚS tuvo una Población de 15,020 habitantes; de los cuales, el 47.71% eran varones, aproximadamente, 7,166 habitantes y el 52.29% mujeres alcanzando la suma de 7854 habitantes. El distrito cuenta con una población urbana de 3209 habitantes y una población rural de 11,811 habitantes.

Tasa de Crecimiento Anual

La población del distrito de Los JESÚS tendrá un incremento de población decreciente en los años que vendrán, como se evidencia en la comparación del Censo 2007 y las proyecciones con las tasas de crecimiento entre 2 013 de 1.8%, al 2 015 de 1.7%, al 2 021 se estima que tendrá una tasa de 1.3%.

II.2.2. Muestra.

La muestra de la población será toda la población urbana de la ciudad de JESÚS.

II.3. Técnicas, Procedimientos e Instrumentos.

Para cumplir el objetivo de la investigación estas tendrán las siguientes etapas:

a) Recopilación de la información:

Comprende la recolección, evaluación y análisis de la documentación, se estudió el proceso constructivo de las planta de residuos sólidos de la ciudad de JESÚS y Anexos, y principalmente el proceso de colocación de los geosintéticos como son los geotextiles y geomembranas, además verificando la calidad del producto suministrado.

b) Trabajos de campo

Para ello se realizaron visitas a la misma PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS, de la ciudad de JESÚS y Anexos y se materializaron entrevistas tanto como el personal técnico y profesionales de la empresa, para obtener datos necesarios de

aplicación de los geosintéticos. También se analizó con más detalle el proceso constructivo, sistemas de la instalación de los geotextiles, geomembranas y los equipos, maquinarias que se requieren para los procesos y otros.

c) Fase de laboratorio y gabinete

A lo largo de todo el proceso constructivo de la PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS, se recopila información de datos experimentales para luego procesar y analizar y plasmar en la investigación. Determinando el diseño correcto de los geosintéticos (geotextiles y geomembranas).

III. Resultados y Discusión

III.1. Metodología de diseño de los geotextiles y geomembranas en la planta de residuos sólidos de Jesús.

Generalidades

El presente trabajo de investigación se propone el diseño de los geosintéticos como alternativa de construcción especializada, con la impermeabilización de las Zanjas Tipo Trinchera y las pozas de lixiviación de la Planta de residuos sólidos, que está basado en los estudios básicos para el diseño y aplicación de los geosintéticos. De esta forma cumplir con los objetivos de lograr la infraestructura del saneamiento y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población. Luego de realizada la visita, y analizar información y consultada la normatividad al respecto en el expediente se desarrollan los estudios básicos que incluyen el estudio socioeconómico, geotécnico, topografía y estudio de impacto ambiental.

III.1.1. Ubicación del área de estudio

La localidad de JESÚS es la Capital del Distrito del mismo nombre, Provincia de Cajamarca, Región de Cajamarca.

Está enmarcado entre las coordenadas UTM Datum WGS84, zona 17.

| V | C O O R D E N A D A S | |
|----|-----------------------|------------|
| | Y | X |
| 1 | 9,199,980.40 | 788,346.77 |
| 2 | 9,199,980.24 | 788,353.09 |
| 3 | 9,199,954.90 | 788,404.10 |
| 4 | 9,199,921.35 | 788,441.10 |
| 5 | 9,199,904.28 | 788,477.67 |
| 6 | 9,199,905.68 | 788,533.70 |
| 7 | 9,199,895.91 | 788,618.22 |
| 8 | 9,199,957.91 | 788,645.66 |
| 9 | 9,199,979.46 | 788,665.92 |
| 10 | 9,199,993.83 | 788,685.59 |
| 11 | 9,200,027.45 | 788,706.70 |
| 12 | 9,200,061.52 | 788,722.44 |
| 13 | 9,200,072.17 | 788,788.20 |
| 14 | 9,200,080.66 | 788,802.34 |
| 15 | 9,200,113.64 | 788,787.05 |
| 16 | 9,200,151.92 | 788,737.74 |
| 17 | 9,200,196.86 | 788,699.99 |
| 18 | 9,200,273.60 | 788,600.26 |
| 19 | 9,200,212.81 | 788,460.93 |
| 20 | 9,200,195.48 | 788,482.95 |
| 21 | 9,200,087.35 | 788,358.06 |
| 22 | 9,199,992.01 | 788,350.55 |
| 1 | 9,199,980.40 | 788,346.77 |

Los límites del Distrito son los siguientes:

NORTE : Distritos de Cajamarca y LLacanora.

SUR : Distrito de Cachachi (Cajabamba).

ESTE : Distrito de Matara, Namora y Pedro Gálvez (San Marcos).

OESTE : Distritos de Cospán, Asunción y San Juan.

La ciudad de Los JESÚS presenta una topografía plana, con pendientes que van desde los 0° hasta los 5° con dirección Norte - Sur. Tiene como agente morfológico básico el valle de los ríos Mashcón y Chonta, los mismos que a partir de su confluencia dan origen al río Cajamarca.

III.1.2. Vías de acceso

A la localidad de los JESÚS se puede acceder por:

Vía terrestre Lima – Cajamarca (14 horas)

Vía aérea Lima – Cajamarca (1 hora)

Vía terrestre Cajamarca – JESÚS (20 minutos)

Distancia aproximada Lima-Cajamarca (856 Km.)

Distancia aproximada Cajamarca – JESÚS (20 Km.)

Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Jesús

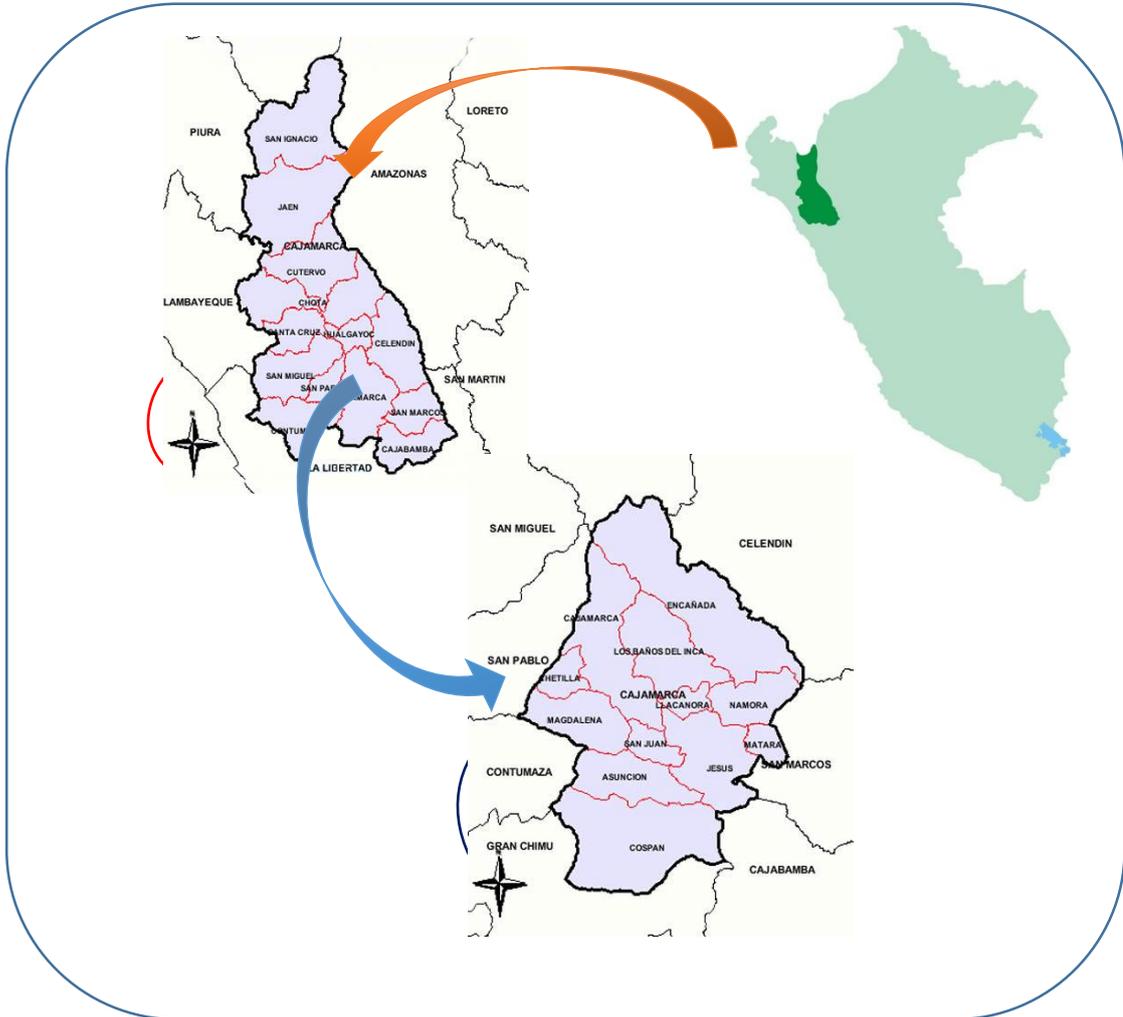


Figura 34. Mapa de ubicación Departamental, Provincial y Distrital del Proyecto.

III.1.3. Altitud de la zona

El Área de estudio se encuentra a la misma altura que la ciudad de JESÚS alrededor de los 2564 msnm.

III.1.4. Condiciones climáticas

El clima en Los JESÚS es cálido y templado. En invierno hay mucho menos lluvia que en verano. La temperatura media anual se encuentra a 13.4 °C y La precipitación es de 734 mm al año. (M. D. J. 2017)

El clima generalizado es templado primaveral, con intenso brillo solar, con precipitaciones intensas entre los meses de enero a marzo, las ocurrencias de lluvias tienen las siguientes temporadas:

Temporada de lluvia: Diciembre a abril

Temporada de Estiaje: Mayo a noviembre

Transición climática: Abril, setiembre y octubre.

La Humedad Relativa promedio anual en la ciudad de Los JESÚS varía entre 58% y 78% aproximadamente, con un promedio anual de 68.5%. Los meses de menor humedad son Julio, Agosto y Setiembre, incrementándose en el resto del año. (M. D. J. 2017)

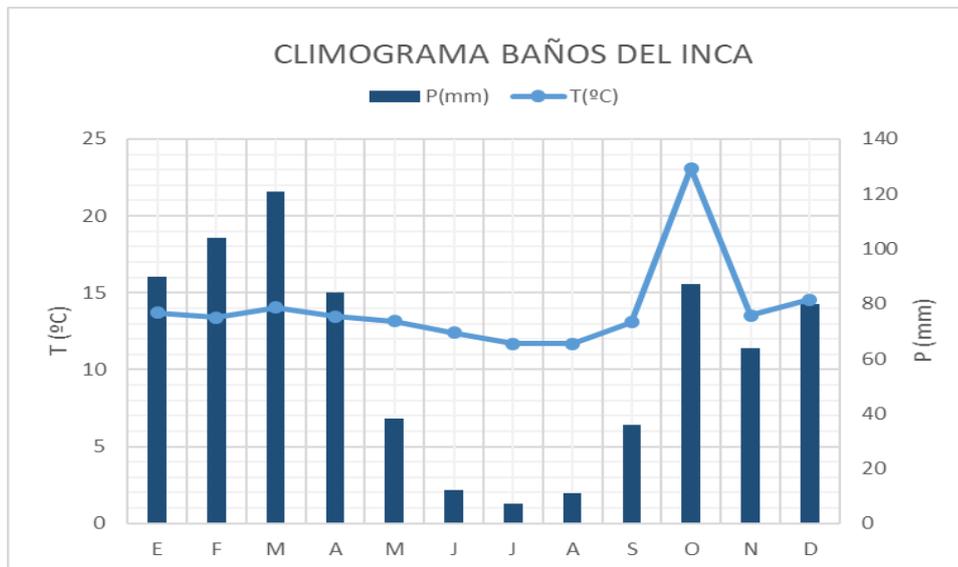


Figura 35. Climograma de JESÚS.

Nota: SENAMHI, Estación Weberbauer - Datos 2015

El mes más seco es julio, con 7 mm de precipitación, mientras que la caída media en marzo es de 121 mm, El mes en el que tiene las mayores precipitaciones

del año. (M. D. J. 2017)

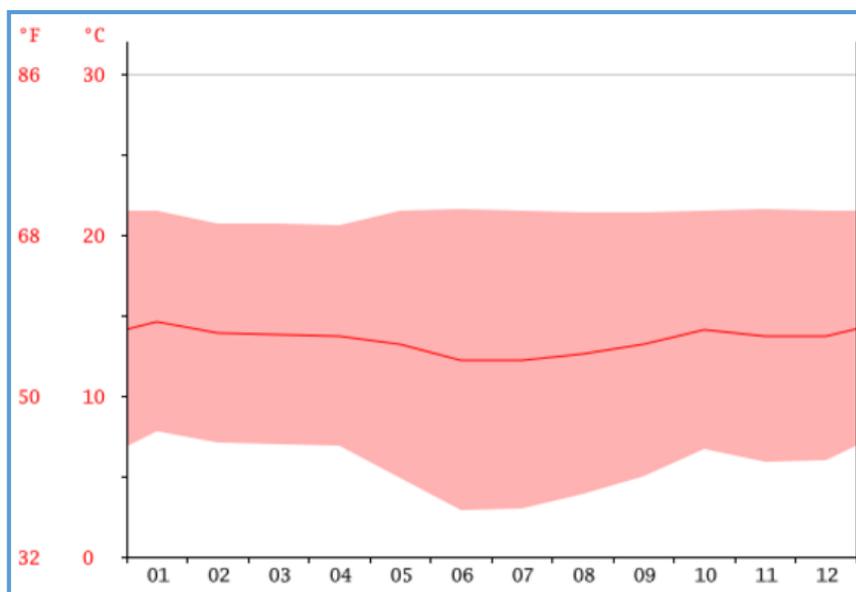


Figura 36. Diagrama de Temperatura.

Nota: SENAMHI, Estación Weberbauer-Datos 2015

El mes más caluroso del año con un promedio de 14.6 °C es enero. El mes más frío del año es de 12.2 °C en el mes de junio. (M. D. J. 2017)

Tabla 12 *Tabla Climática.*

| MES | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
|----------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| mm | 90 | 104.00 | 121.00 | 84.00 | 38.00 | 12.00 | 7.00 | 11.00 | 36.00 | 87.00 | 64.00 | 80.00 |
| °C | 13.69 | 13.38 | 14.06 | 13.48 | 13.15 | 12.42 | 11.70 | 11.70 | 13.09 | 23.09 | 13.53 | 14.55 |
| °C (min) | 10.27 | 9.29 | 10.73 | 9.64 | 9.08 | 7.49 | 6.07 | 6.07 | 7.64 | 17.27 | 8.88 | 10.16 |
| °C (max) | 17.11 | 17.48 | 17.39 | 17.32 | 17.21 | 17.34 | 17.32 | 17.32 | 18.53 | 28.92 | 18.18 | 18.95 |

Nota: SENAMHI, Estación Weberbauer-Datos 2015

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 114 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 2.4°C. (M. D. D. B. 2017)

dirección transversal a ésta. (IGS Perú, 2010)

A continuación, en las tablas 15; 16 y 17 se presentan los resultados promedios obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio para cada uno de los productos. Para arribar a estos valores se procedió a realizar ensayos sobre un lote de muestras, tomando especímenes de distintos sectores de la muestra original. (IGS Perú, 2010)

Tabla 14 *Resultados obtenidos en laboratorio para los productos de la empresa N°1.*

| EMPRESA N°1 | | | | |
|---|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Carga de rotura (kN) Alargamiento Aparente (%) | | | | |
| | Paralelo | Normal | Paralelo | Normal |
| 120gr | 0,3732 | 0,2901 | 78,17 | 95,25 |
| 150gr | 0,5245 | 0,5369 | 77,20 | 79,43 |
| 300gr | 0,6306 | 0,7042 | 78,55 | 85,79 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 15 *Resultados obtenidos en laboratorio para los productos de la empresa N°2.*

| EMPRESA N°2 | | | | |
|---|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Carga de rotura (kN) Alargamiento Aparente (%) | | | | |
| | Paralelo | Normal | Paralelo | Normal |
| 120gr | 0,4891 | 0,3404 | 40,74 | 65,41 |
| 150gr | 0,4686 | 0,5010 | 81,39 | 0,8902 |
| 300gr | 1,084 | 1,081 | 77,61 | 87,08 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 16 *Resultados obtenidos en laboratorio para los productos de la empresa N°3.*

| EMPRESA N°3 | | | | |
|-------------|----------------------|--------|---------------------------|--------|
| | Carga de rotura (kN) | | Alargamiento Aparente (%) | |
| | Paralelo | Normal | Paralelo | Normal |
| 140gr | 0,5456 | 0,4359 | 57,09 | 87,48 |
| 150gr | 0,5838 | 0,7571 | 72,32 | 50,56 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Analizando los resultados se realizó la búsqueda de las cartillas técnicas de las principales empresas comercializadoras para comparar los resultados obtenidos con los que las empresas declaran de sus productos. Los mismos se muestran en las tablas 18; 19 y 20. (IGS Perú, 2010)

Tabla 17 *Valores en cartilla técnica de la empresa N°1*

| EMPRESA N°1 | | | | |
|-------------|----------------------|--------|---------------------------|--------|
| | Carga de rotura (kN) | | Alargamiento Aparente (%) | |
| | Paralelo | Normal | Paralelo | Normal |
| | 120gr | 0,425 | 0,375 | >60 |
| 150gr | 0,520 | 0,450 | >60 | >70 |
| 300gr | 0,750 | 0,660 | >60 | >70 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 18 *Valores en cartilla técnica de la empresa N°2*

| EMPRESA N°2 | | | | |
|-------------|----------------------|--------|---------------------------|--------|
| | Carga de rotura (kN) | | Alargamiento Aparente (%) | |
| | Paralelo | Normal | Paralelo | Normal |
| | 120gr | 0,425 | 0,375 | >60 |
| 150gr | 0,520 | 0,450 | >60 | >70 |
| 300gr | 1,150 | 0,980 | >60 | >70 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 19 Valores en cartilla técnica de la empresa N°3

| EMPRESA N°3 | | | | |
|-------------|----------------------|--------|---------------------------|--------|
| | Carga de rotura (kN) | | Alargamiento Aparente (%) | |
| | Paralelo | Normal | Paralelo | Normal |
| 140gr | 0,510 | 0,510 | >50 | >50 |
| 150gr | 0,580 | 0,580 | >50 | >50 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Con los valores obtenidos en las determinaciones realizadas en laboratorio y los valores que se presentan en las cartillas técnicas se evaluaron las diferencias entre ambos, correspondientes a cada uno de los productos ensayados, y se realizaron los gráficos 47, 48 y 49. (IGS Perú, 2010)

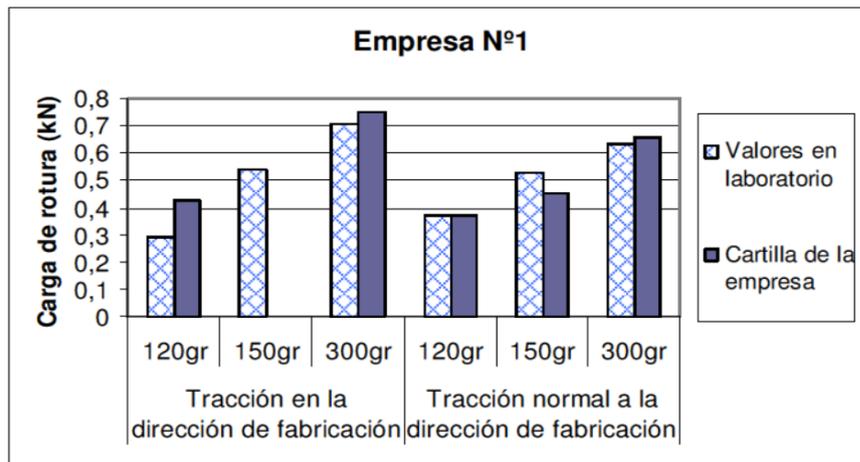


Figura 38. Comparación entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°1

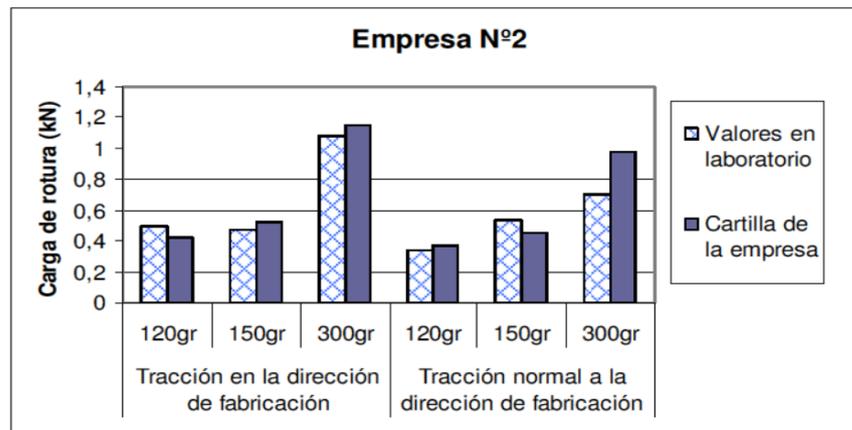


Figura 39. Comparación entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°2.

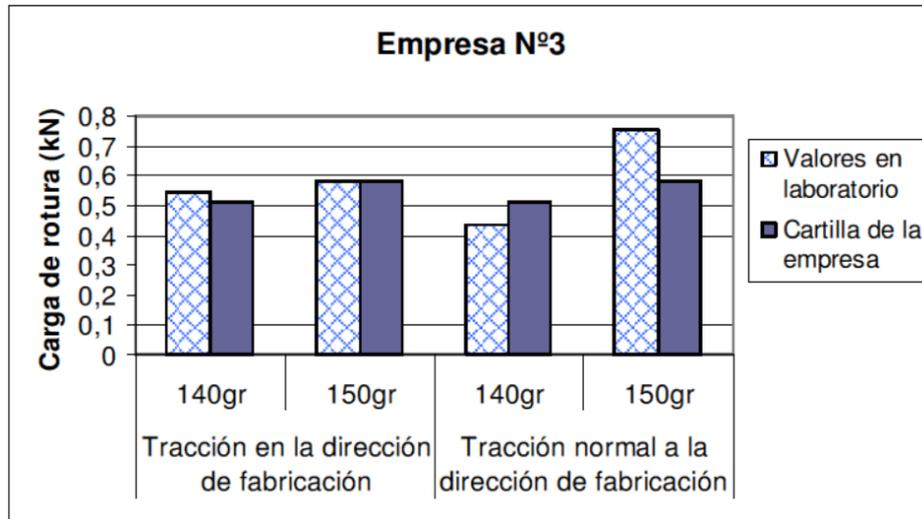


Figura 40. Comparación entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°3.

Por último, se muestra un gráfico para cada empresa (gráficos 50, 51 y 52) que señala las diferencias porcentuales entre los valores obtenidos en laboratorio y los valores que indican las cartillas técnicas de las empresas para cada uno de sus productos. (IGS Perú, 2010)

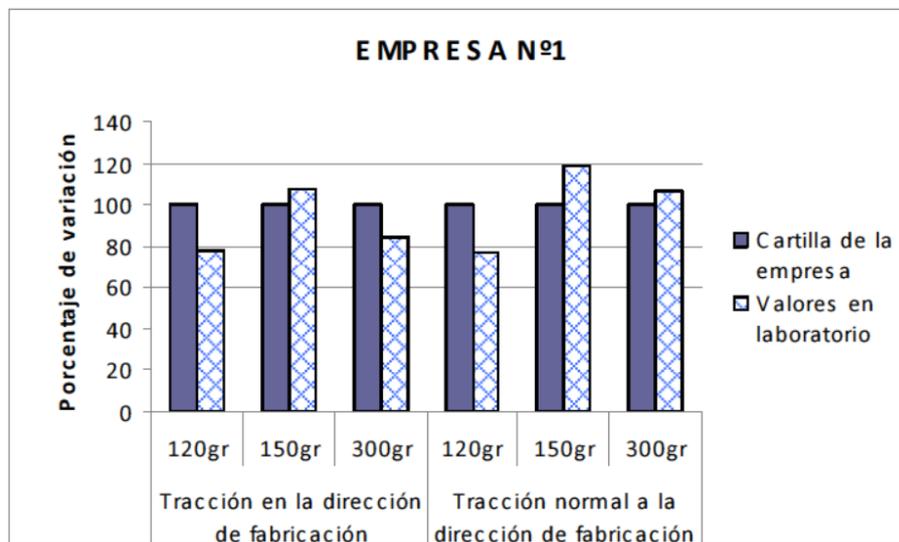


Figura 41. Diferencia porcentual entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°1.

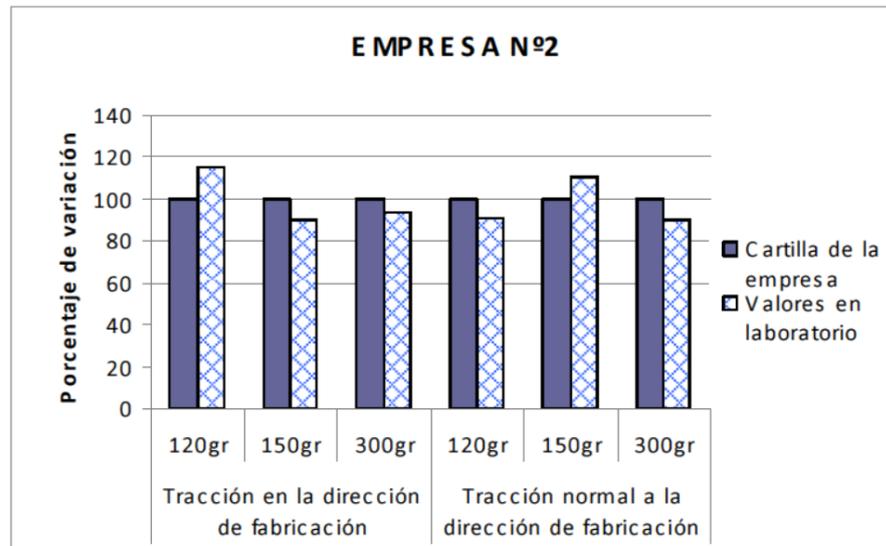


Figura 42. Diferencia porcentual entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°2.

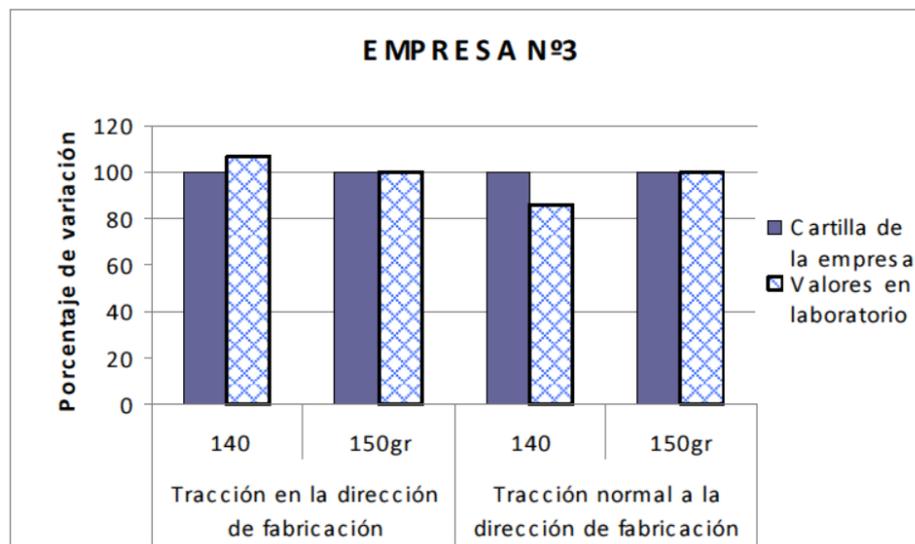


Figura 43. Diferencia porcentual entre los valores obtenidos en laboratorio y los dados por la empresa N°3

B. Determinación del índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados.

En nuestro proyecto de investigación se utiliza una pantalla impermeabilizante formada por el Geotextil y la Geomembrana. El Geotextil protege a la Geomembrana de posibles perforaciones o roturas (Figura N° 53), al formar una barrera anti-punzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que

podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante. (IGS Perú, 2010)

De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno. Las irregularidades pronunciadas implican una tensión en la lámina, la cual a su vez causa una pérdida de espesor en la misma dando origen a puntos débiles en los que se podrían producir posibles perforaciones o roturas, causadas por objetos punzantes del terreno. La interposición del Geotextil evitará la pérdida de estanqueidad que se produciría por todas estas causas. (IGS Perú, 2010)

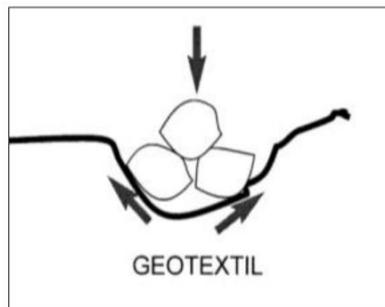


Figura 44. Funcionamiento de protección del Geotextil.

Tabla 20 Planilla tipo de laboratorio para ensayo de perforación Dinámica por caída de un cono según Norma

| Perforación dinámica por caída de un cono IRAM 78009 | | | LEMaC / UTN - FRLP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|--|--------------------|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|----|----|--|--|-----------------------|--|----------------|-------|------------|------|----------------|---|
| Nº de Lab. = | Producto = 120 gr. | Nº Exped. = | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha = 30/09/10 | Temp. = 17°C | Diámetro Interno Anillos de Fijación = 15 cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra Nº</th> <th>Perforación (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>38</td></tr> <tr><td>2</td><td>40</td></tr> <tr><td>3</td><td>41</td></tr> <tr><td>4</td><td>42</td></tr> <tr><td>5</td><td>41</td></tr> <tr><td>6</td><td>42</td></tr> <tr><td>7</td><td>44</td></tr> <tr><td>8</td><td>45</td></tr> <tr><td>9</td><td>38</td></tr> <tr><td>10</td><td>40</td></tr> </tbody> </table> | | Muestra Nº | Perforación (mm) | 1 | 38 | 2 | 40 | 3 | 41 | 4 | 42 | 5 | 41 | 6 | 42 | 7 | 44 | 8 | 45 | 9 | 38 | 10 | 40 | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESUMEN DE RESULTADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIÁMETRO MEDIO</td> <td>41,04</td> </tr> <tr> <td>DESV. EST.</td> <td>2,28</td> </tr> <tr> <td>COEF. VAR. (%)</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> | | RESUMEN DE RESULTADOS | | DIÁMETRO MEDIO | 41,04 | DESV. EST. | 2,28 | COEF. VAR. (%) | 6 |
| Muestra Nº | Perforación (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RESUMEN DE RESULTADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIÁMETRO MEDIO | 41,04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DESV. EST. | 2,28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COEF. VAR. (%) | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: elaboración IGS Perú, 2010

La fotografía N° 54 y N° 55 muestran los pasos culminantes del ensayo: el orificio central, producto de la caída del cono de acero y la medición del diámetro en mm con el cono de medición. (IGS Perú, 2010)



Figura 45. Cono de medida dentro del orificio.

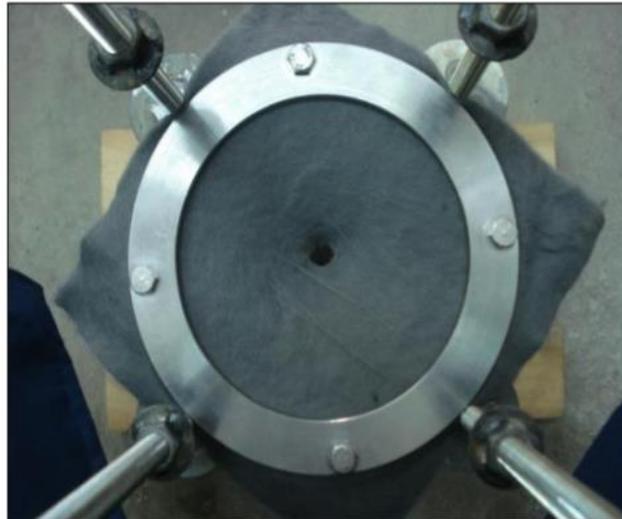


Figura 46. Probeta ensayada.

En la tabla N° 18 se dan a conocer los resultados del ensayo, diámetro medio (mm) y coeficiente de variación (%), realizado a cada gramaje de geotextil no tejido de las tres empresas proveedoras. (IGS Perú, 2010)

Tabla 21 *Resultados obtenidos para las distintas empresas.*

| | Gramaje | DIÁMETRO MEDIO (mm) | COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%) |
|-------------|---------|---------------------|------------------------------|
| EMPRESA (1) | 120 gr | 41,04 | 6 |
| | 150 gr | 24,23 | 16 |
| | 300 gr | 16,35 | 8 |
| EMPRESA (2) | 120 gr | 32,23 | 13 |
| | 150 gr | 25,06 | 11 |
| | 200 gr | 18,92 | 10 |
| EMPRESA (3) | 140 gr | 23,58 | 14 |
| | 150 gr | 19,55 | 8 |

Nota: elaboración IGS Perú, 2010

A modo de ejemplo damos a conocer la cartilla de especificación técnica de un geotextil no tejido donde podemos destacar los valores máximos a exigir en el ensayo de perforación dinámica, caída libre de un cono, para el caso de Geotextil colocado bajo o sobre Geomembrana. (IGS Perú, 2010)

Tabla 22 *Exigencias establecidas según ubicación del GTX. Norma UNE EN 918 *GTX: Geotextil **GMB: Geomembrana*

| Parámetro | Unidad | Valor máximo *GTX bajo **GMB | Valor máximo *GTX sobre **GMB |
|--|------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Peso unitario (Gramaje) | g/m ² | 200 | 300 |
| Perforación caída libre de cono (Ø en mm) | mm | 23 | 17 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

C. Determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles.

Para este caso se presenta un ejemplo de todo lo desarrollado, con un tipo de geotextil y tres fabricantes determinados que comercializan este producto. De los tres fabricantes se tomaron el mismo tipo de geotextil y gramajes de manera de

poder comparar los resultados. (IGS Perú, 2010)

Fabricantes : Empresa 1, Empresa 2, Empresa 3.

Tipo de geotextil : no tejido

Gramajes : 120, 150, 300.

Muestras: De cada gramaje se tomaron 10 probetas en dirección transversal y 10 probetas en dirección paralelo al sentido de fabricación. La toma de muestra se realizó como marca la normativa, Para cada muestra se calculó separadamente el promedio de las resistencias de desgarro máximas en las direcciones paralelas y transversales. (IGS Perú, 2010)

Ensayo de geotextil no tejido, condición de las probetas de ensayo en estado seco

En las tablas 24; 25; 26 se muestra la carga de desgarro en Newton obtenida en las dos direcciones (paralelo y transversal a la dirección de fabricación).

En la primera fila de las tablas se encuentra el fabricante y los gramajes. En las filas restantes se encuentra la dirección de ensayo y las cargas de desgarro obtenidas para cada gramaje. (IGS Perú, 2010)

Tabla 23 *Carga de desgarro Empresa 01*

| | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|
| Empresa 1 | 120 | 150 | 300 |
| Paralelo(N) | 221 | 225 | 359 |
| Transversal (N) | 189 | 203 | 271 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 24 *Carga de desgarro Empresa 02*

| | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|
| Empresa 2 | 120 | 150 | 300 |
| Paralelo(N) | 165 | 267 | 478 |
| Transversal (N) | 189 | 203 | 271 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 25 *Carga de desgarro Empresa 03*

| | | |
|-----------------|-----|-----|
| Empresa 3 | 120 | 150 |
| Paralelo(N) | 217 | 285 |
| Transversal (N) | 272 | 319 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

En las cartillas de las distintas empresas se presentan los siguientes valores (los mismos están basados en la norma ASTM-D 4533)

Tabla 26 *Carga de desgarro Empresa 01*

| | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|
| Empresa 1 | 120 | 150 | 300 |
| Paralelo (N) | 190 | 220 | 300 |
| Transversal (N) | 180 | 200 | 270 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 27 *Carga de desgarro Empresa 02*

| | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|
| Empresa 2 | 120 | 150 | 300 |
| Paralelo (N) | 200 | 260 | 340 |
| Transversal (N) | 235 | 330 | 410 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Tabla 28 *Carga de desgarro Empresa 03*

| | | |
|-----------------|-----|-----|
| Empresa 3 | 120 | 150 |
| Paralelo (N) | 210 | 230 |
| Transversal (N) | 250 | 290 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

A modo de comparación se realizó la siguiente tabla.

Tabla 29 *Cuadro comparativo*

| Productos | Resultados | | |
|-----------|-------------|----------|-----|
| | Laboratorio | Empresas | |
| Empresa 1 | 120 P | 221 | 190 |
| | T | 189 | 180 |
| | 150 P | 225 | 220 |
| | T | 203 | 200 |
| | 300 P | 359 | 300 |
| | T | 271 | 270 |
| Empresa 2 | 120 P | 205 | 200 |
| | T | 237 | 235 |
| | 150 P | 267 | 260 |
| | T | 327 | 330 |
| | 300 P | 478 | 340 |
| | T | 498 | 410 |
| Empresa 3 | 120 P | 217 | 210 |
| | T | 272 | 250 |
| | 150 P | 285 | 230 |
| | T | 319 | 290 |

P: dirección paralela a la de fabricación

T: dirección transversal a la de fabricación

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

A modo de ejemplo se presenta una curva obtenida en el laboratorio de fuerza - alargamiento, gráfico emitido por la máquina universal, siendo este de la forma característica que presenta este tipo de ensayo.

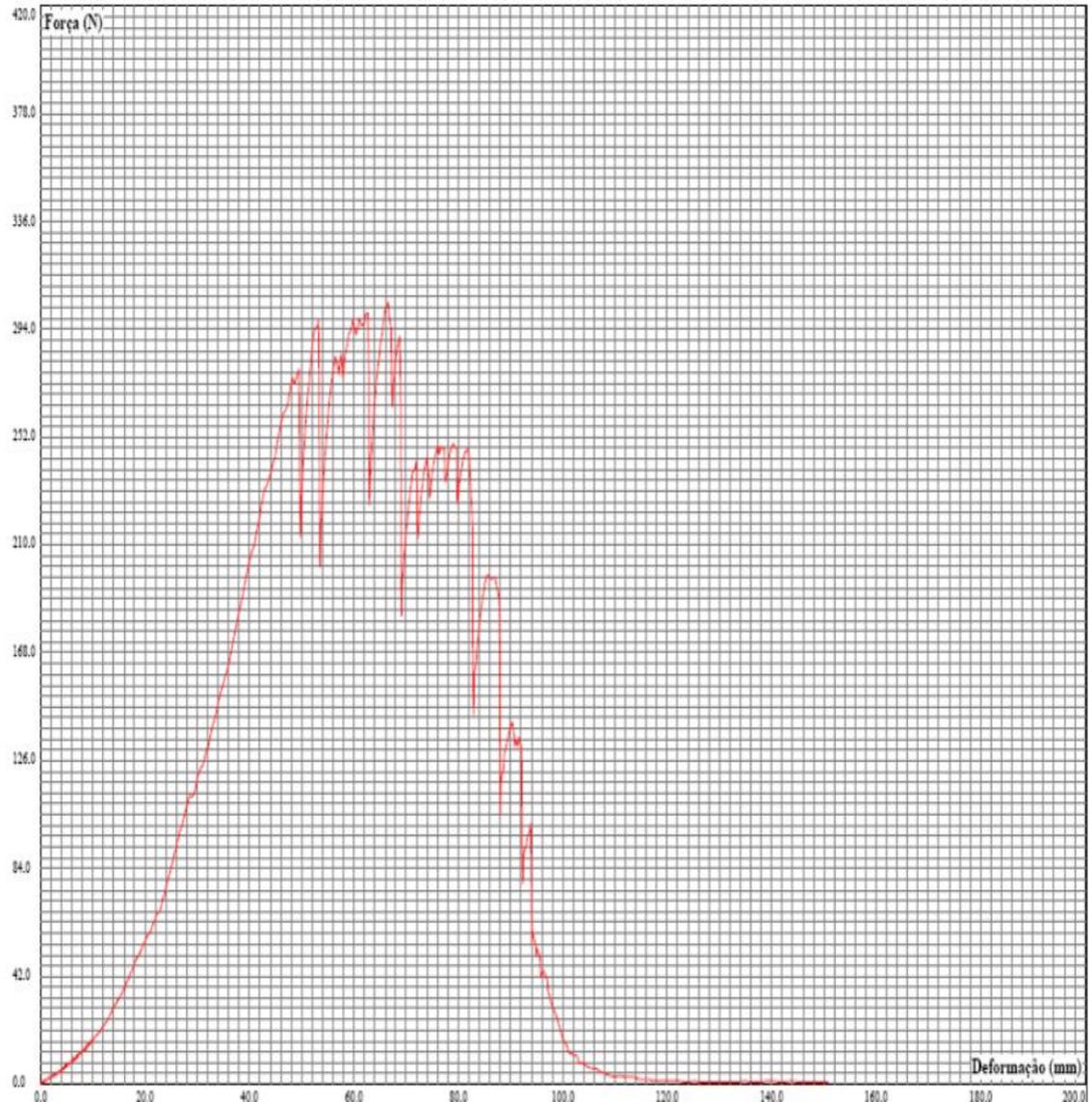


Figura 47. Curva obtenida en el laboratorio de fuerza – alargamiento

D. Determinación de la permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad.

Este ensayo tiene fundamental importancia en productos que serán utilizados con requerimientos de flujo a través de ellos. Se han utilizado muestras de Geotextil No Tejido de filamento continuo.

- Resultados obtenidos en los ensayos realizados a los distintos gramajes de Geotextiles No Tejidos:

Tabla 30 permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad

| Empresa | Gramaje | Muestras | Índice de pérdida de carga (mm) | Índice de velocidad (mm/s) |
|---------|---------|----------|---------------------------------|----------------------------|
| (1) | 120 gr. | 1 | 9,4 | 55,4 |
| | | 2 | 5 | 90,5 |
| | | 3 | 7 | 68,09 |
| | | 4 | 10 | 53 |
| | | 5 | 12 | 46 |
| | 150 gr. | 1 | 8,5 | 63,5 |
| | | 2 | 8,5 | 64,5 |
| | | 3 | 16 | 42 |
| | | 4 | 16 | 39 |
| | | 5 | 13 | 49 |
| | 300 gr. | 1 | 29 | 32 |
| | | 2 | 25 | 34 |
| | | 3 | 15 | 53 |
| | | 4 | 20 | 40 |
| | | 5 | 19,7 | 40,2 |
| (2) | 120gr. | 1 | 6,5 | 75,2 |
| | | 2 | 7,8 | 65,2 |
| | | 3 | 11,8 | 46,5 |
| | | 4 | 10 | 55,1 |
| | | 5 | 14 | 46,5 |
| | 150gr. | 1 | 12 | 51 |
| | | 2 | 14,8 | 44 |
| | | 3 | 10,2 | 57,6 |
| | | 4 | 6,5 | 62,5 |
| | | 5 | 7 | 66 |
| | 300gr. | 1 | 16,7 | 45,8 |
| | | 2 | 13,9 | 45,2 |
| | | 3 | 10,8 | 45,2 |
| | | 4 | 11,8 | 48,5 |
| | | 5 | 12,4 | 42,8 |
| (3) | 120 gr. | 1 | 6 | 80 |
| | | 2 | 7,4 | 77 |
| | | 3 | 8 | 71 |
| | | 4 | 8,5 | 67 |
| | | 5 | 9,5 | 61 |
| | 150 gr. | 1 | 11 | 62 |
| | | 2 | 13,5 | 56,5 |
| | | 3 | 10 | 71 |
| | | 4 | 14 | 56 |
| | | 5 | 10 | 61 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

Este tipo de ensayo no proporciona en forma directa el valor de permeabilidad de la muestra como lo hace el ensayo de permeabilidad planar basado en la Norma; sino que da a conocer rangos de índice de pérdida de carga e índice de velocidad,

aptos para establecer el nivel de aceptación o no del material. De esta manera el control de calidad en los productos queda justificado. Índice de pérdida de carga: Perdida de carga correspondiente a una velocidad de 20 mm/s a través de la muestra, redondeada al milímetro. Índice de velocidad: Velocidad correspondiente a una pérdida de carga de 50 mm a través de la muestra, redondeada al mm/s. En la siguiente planilla se observa el valor promedio de índice de pérdida de carga e índice de velocidad para cada gramaje de geotextil no tejido ensayado. (IGS Perú, 2010)

Tabla 31 *Permeabilidad al agua normal al plano (Valores Promedios) Método de carga hidráulica constante*

| Empresa | Gramaje | Índice de pérdida | Índice de velocidad |
|---------|---------|-------------------|---------------------|
| | | de carga (mm) | (mm/s) |
| (1) | 120 gr. | 8,68 | 62,6 |
| | 150 gr. | 12,4 | 51,6 |
| | 300 gr. | 21,74 | 39,84 |
| (2) | 120gr. | 10,02 | 57,7 |
| | 150gr. | 10,1 | 56,22 |
| | 300gr. | 13,12 | 45,5 |
| (3) | 120 gr. | 7,88 | 71,2 |
| | 150 gr. | 11,7 | 61,3 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

* Especificación del ensayo de una de las muestras de Geotextil No Tejido, tablas utilizadas, datos y gráficos obtenidos:

Permeabilidad al agua normal al plano: Método de carga hidráulica constante.

Empresa (2) 120gr.

Fecha = 14/10/18

Muestra N° 3:

Área del permeámetro = 0,0019635 (m²)

Temp. de ensayo = 22°C

Tabla 32 *Determinación de la carga máxima*

| Carga Hidráulica | Volumen de agua | Tiempo | Temp. del agua | Corrección de viscosidad | Velocidad |
|------------------|---------------------|--------|----------------|--------------------------|-----------|
| H (m) | V (m ³) | t (s) | T (°C) | RT | V (mm/s) |
| 0,00 | | | | | 0,000 |
| 0,02 | 0,00120 | 32 | 22 | 0,9535251 | 18,211 |
| 0,066 | | | | | 60,000 |

Nota: elaboración propia basado en IGS Perú, 2010

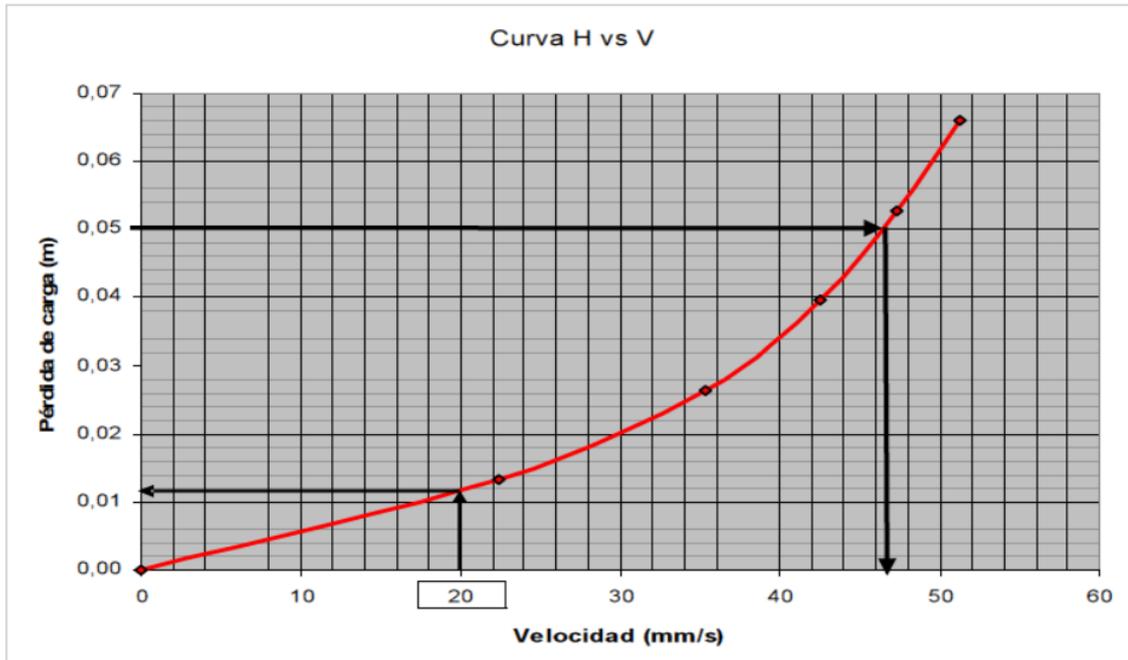


Figura 48. Curva H Vs. V

Tabla 33 Permeabilidad planar en productos geosintéticos (basado en la Norma IRAM 78010, siendo su correspondiente la ASTM D 4716)

| Carga Hidráulica H (m) | Volumen de agua V (m ³) | Tiempo t(seg) | Temp. del agua T (°C) | Corrección de viscosidad R _T | Velocidad V (mm/s) |
|--|-------------------------------------|---------------|-----------------------|---|--------------------|
| 0.066 | 0.0038 | 36 | 22 | 0.9535 | 51.260 |
| 0.053 | 0.0036 | 37 | 22 | 0.9535 | 47.250 |
| 0.040 | 0.0035 | 40 | 22 | 0.9535 | 42.492 |
| 0.026 | 0.0032 | 44 | 22 | 0.9535 | 35.318 |
| 0.013 | 0.0023 | 50 | 22 | 0.9535 | 22.339 |
| Índice de pérdida de carga (mm) | | | | | |
| 11,8 | | | | | |
| Índice de velocidad (mm/s) | | | | | |
| 46,5 | | | | | |

Nota: Norma IRAM 78010, siendo su correspondiente la ASTM D 4716

Este ensayo tiene fundamental importancia en productos que serán utilizados con requerimientos de flujo que sigue al geosintéticos en forma paralela sin atravesarlo. Se han utilizado muestras de Geotextil No Tejido de filamento continuo.

Tabla 34 Resultados más significativos obtenidos de los ensayos a los distintos gramajes de Geotextiles No Tejidos, en sentido longitudinal al rollo:

| Empresa | | 1 | | | | |
|--------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Gramaje | | 120 gr. | | | | |
| Sentido | | Longitudinal al rollo | | | | |
| Probeta | q20/0,1 (L/m.s) | q100/0,1 (L/m.s) | q200/0,1 (L/m.s) | q20/1,0 (L/m.s) | q100/1,0 (L/m.s) | q200/1,0 (L/m.s) |
| 1 | 0,00503073 | 0,00393206 | 0,00297966 | 0,06167939 | 0,01908206 | 0,01486914 |
| 2 | 0,00378487 | 0,00271775 | 0,00231298 | 0,02602099 | 0,01146432 | 0,01110229 |
| 3 | 0,00370791 | 0,00247194 | 0,00222475 | 0,01800986 | 0,00876416 | 0,00815741 |
| Media | 0,00417450 | 0,00304058 | 0,00250579 | 0,03523675 | 0,01310351 | 0,01137628 |

Nota: Norma IRAM 78010, siendo su correspondiente la ASTM D 4716

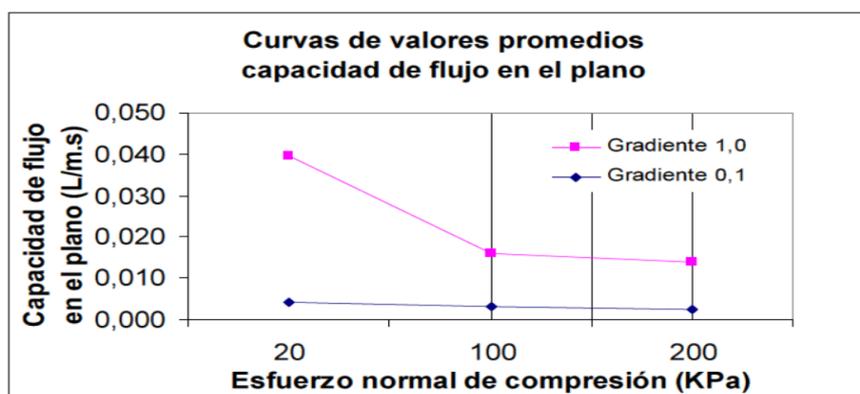


Figura 49. Curva de valores 1

Tabla 35 Resultados más significativos obtenidos de los ensayos a los distintos gramajes de Geotextiles No Tejidos, en sentido transversal al rollo:

| Empresa | | 1 | | | | |
|--------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Gramaje | | 120 gr. | | | | |
| Sentido | | Transversal al rollo | | | | |
| Probeta | q20/0,1 (L/m.s) | q100/0,1 (L/m.s) | q200/0,1 (L/m.s) | q20/1,0 (L/m.s) | q100/1,0 (L/m.s) | q200/1,0 (L/m.s) |
| 1 | 0,00378487 | 0,00283591 | 0,00231298 | 0,02449035 | 0,01114138 | 0,01110229 |
| 2 | 0,00383577 | 0,00278093 | 0,00236555 | 0,01575863 | 0,00850639 | 0,00829567 |
| 3 | 0,00329592 | 0,00258358 | 0,00187008 | 0,06417541 | 0,01934563 | 0,01334848 |
| Media | 0,00363885 | 0,00273347 | 0,00218287 | 0,03480813 | 0,01299780 | 0,01091548 |

Nota: Norma IRAM 78010, siendo su correspondiente la ASTM D 4716

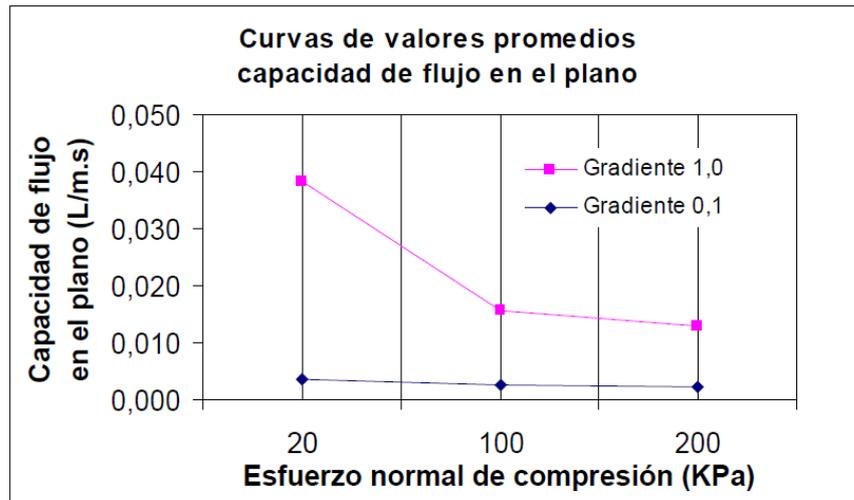


Figura 50. Curva de valores 2.

Equipamiento para efectuar el ensayo:



Equipo modular para mantener constante la carga de agua y lograr los gradientes hidráulicos necesarios para el ensayo.



Pórtico y celda de carga para aplicar esfuerzos de compresión sobre la probeta y lograr lecturas precisas.

Figura 51. Equipos para realizar ensayos de calidad.



- 1- Dispositivo para tomar las lecturas (digital)
- 2- Celda de carga para aplicar el esfuerzo de compresión.



Figura 52. Imágenes del dispositivo adoptado para la determinación de las características de permeabilidad planar.

III.2.2. Diseño del geotextil

Cálculo para el diseño del geotextil con datos de la obra: construcción de la planta de residuos sólidos de la localidad de JESÚS

Diseño del Geotextil para la construcción de la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de JESÚS se requiere colocar un geotextil de separación en la interfaz sub rasante — capa de Geomembrana como protección. (IGS Perú, 2010)

Las características del suelo de sub rasante de laguna de estabilización son las siguientes:

- Tipo de suelo SM Arena limosa.
- Diámetro por el cual pasa el 85% de partículas $d_{85}=2.0\text{mm}$
- CBR = 35.2 %
- Esfuerzo en la superficie del geotextil $p' = 690 \text{ kPa}$. (cartilla de especificación técnica)
- Sub base granular: Tamaño máximo: $d_a = 38.10 \text{ mm}$ (1 1/2")

Procedimiento de diseño:

a) Resistencia al reventado

Resistencia al Reventado:

$$R_{\text{reventado}} = \frac{F_{Sg} \times F_{Sp} \times p' \times d_v}{d_{\text{test}}} \text{ ----- (06)}$$

Dónde:

- $R_{\text{reventado}}$: Resistencia al reventado requerida del geotextil (kPa)
 F_{Sg} : Factor de seguridad global
 F_{Sp} : Factor de seguridad parcial (incluye: daños de instalación, degradación química y degradación biológica)
 p' : Esfuerzo en la superficie del geotextil (kPa)
 d_v : Diámetro máximo de los vacíos (mm)
 d_{test} : Diámetro del diafragma - ensayo Burst (= 30.48 mm)
 d_a : Diámetro máximo de las partículas de agregados (mm)

Calculando dv:

$$dv = 0.33 \times da = 0.33 \times 38.10 = 12.573 \text{ mm}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$\text{Reventado} = \frac{FSq \times FSp \times p' \times dv}{Dtest} = \frac{2 \times 2 \times 690 \times 12.573}{30.48} = 1,138.50 \text{ kPa}$$

$$\text{Reventado} = 1,138.50 \text{ kPa}$$

Se utiliza la Tabla 650-3 (Separación: CBR \geq 3%) de la Sección 650 de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras y considerando que se requiere un geotextil de Clase 2, se revisa el Cuadro de Especificaciones Técnicas de Geotextiles PAVCO y con la Resistencia al Reventado resultante, se elige NT — 1600. (IGS Perú, 2010)

b) Resistencia a la tracción

Resistencia a la Tracción

$$RSg = \frac{Rtraccion}{FSp \times p' \times 10^{-3} \times dv^2 \times f(\epsilon)} \Rightarrow FSg > 1 \text{ ----- (07)}$$

Dónde:

FSg : Factor de seguridad global

Rtracción : Resistencia a tracción del geotextil (N)

FSp : Factor de seguridad = 2

P' : Esfuerzo en la superficie del geotextil (kPa)

Dv : diámetro máximo de los vacíos (mm)

f(ε) : Función de deformación (elongación) del geotextil

Para esta fórmula se utilizan las especificaciones de PAVCO NT — 1600:

El cual tiene una Rtracción = 400 N

Elongación $\epsilon \geq 50\%$

$f(\epsilon)$ se define en función a la Elongación E del geotextil:

$$\epsilon (\%) > 50 \Rightarrow f(\epsilon) = 0.50$$

Utilizando la fórmula:

$$RSg = \frac{R_{traccion}}{FSp \times p' \times 10^{-3} \times d^2 \times f(\epsilon)} \Rightarrow FSg > 1$$

$$RSg = \frac{400}{2 \times 690 \times 10^{-3} \times 12.573^2 \times 0.50} = 3.66 \Rightarrow 3.66 > 1 \text{ OK!}$$

c) Resistencia a la perforación

Resistencia al Punzonamiento:

$$R_{punzonamiento} = FSg \times FSp \times 1.3 \times 10^{-3} \times p' \times da \dots\dots\dots (08)$$

Dónde:

$R_{punzonamiento}$: Resistencia al Punzonamiento (N) (ecuación 08)

FSg : Factor de seguridad global = 2

FSp : Factor de seguridad parcial = 2

p' : Esfuerzo en la superficie del geotextil (kPa)

da : Diámetro máximo de las partículas de agregados o de partículas angulares (mm).

Reemplazando:

$$R_{punzonamiento} = 2 \times 2 \times 1.3 \times 10^{-3} \times 690 \times 38.10 = 136.70 \text{ N}$$

Revisando el Cuadro de Especificaciones Técnicas de Geotextiles PAVCO, se observa que la Resistencia al Punzonamiento de PAVCO NT — 1600 es mayor a la requerida.

d) Criterio de retención por abertura

Suelos No Cohesivos

$$\text{AOS} < B \times d_{85}$$

- Arenas, Arenas Gravasas, Arenas Limosas y Arenas Arcillosas

$$U \leq 2 \text{ ó } U \geq 8 \Rightarrow B=1$$

$$2 \leq U \leq 4 \Rightarrow B = 0.5 \times U$$

$$4 < U < 8 \Rightarrow B = 8/U$$

- Suelos arenosos mal graduados

$$1.5 \leq B \leq 2$$

Suelos Cohesivos:

En este caso la AASHTO Task Force 25 recomienda que los geotextiles deben cumplir: $\text{AOS} < 0.3 \text{ mm}$

- Criterio de retención por Abertura Aparente de Poros: Como se trata de un suelo cohesivo (areno limoso) el geotextil NT — 1600 debe cumplir: $\text{AOS} < 0.3 \text{ mm}$

Dónde:

AOS : Tamaño de abertura aparente del geotextil (mm)

B : Coeficiente que depende del tipo de suelo en contacto con el geotextil

d_{85} : Diámetro del tamiz por el cual pasa el 85% de suelo (mm)

U : Coeficiente de uniformidad del suelo = d_{60}/d_{10}

Al revisar el Cuadro de Especificaciones Técnicas de Geotextiles PAVCO se observa que el Tamaño de Abertura Aparente (AOS) de NT-1800 es de 0.30 mm, el cual no cumple con la condición, para lo cual escogemos el NT-1600 el cual tiene un $\text{AOS} = 0.21$ cumpliendo así con este criterio.

e) Criterio de permeabilidad normal

Criterio de Permeabilidad Normal:

$$k_g > k_s$$

Reemplazando:

$$k_{GF} 200 = 0.3 \text{ cm/s} > 0.0000025 \text{ cm/s}$$

En donde:

k_g : Coeficiente de permeabilidad del geotextil (cm/s)

k_s : Coeficiente de permeabilidad del suelo (cm/s)

Conclusión:

Después de estos 5 pasos se puede concluir que PAVCO NT — 1600 es el geotextil indicado para colocar en nuestra sub rasante de la laguna de estabilización el cual tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 36 *Resumen de diseño del geotextil*

| CARACTERISTICA | VALOR |
|-----------------|----------------------------|
| Espesor Nominal | 1.5 mm |
| Ancho del Rollo | Variable de 4.00 m a 7.00m |
| Peso Bruto | 180 Kg |
| Área | 640 m ² |

Nota: Elaboración Propia

Después de estos 5 pasos se puede concluir que PAVCO NT — 1600 es el geotextil indicado.

III.2.3. Diseño de geomembranas

III.2.3.1. Diseño por espesor

Con las características del área proyecto de investigación se requiere diseñar una geomembrana lisa HDPE de polietileno de alta densidad, que se va a instalar en un sistema de impermeabilización de la planta de residuos sólidos, donde la trinchera tiene $H=7.80$ m y la poza de lixiviación tiene un $H=2.91$ m, y con un peso específico de 22.50 kN/m^3 . El área de los costados está conformada por unos taludes con pendiente 1H:3V. En la parte inferior se ha colocado un geotextil no tejido para proteger la geomembrana de los posibles daños durante la construcción. Se ha decidido utilizar arena como suelo de cobertura en un espesor de 30 cm y como relleno para la zanja de anclaje; esta arena tiene un ángulo de fricción interna de 30° y un peso específico de 18 kN/m^3 .

Solución

Diseño por espesor

$$t = \frac{sn \times (\tan dU + \tan dL)}{sadm (\cos b - \text{sen } b \tan dL)} \dots\dots\dots(02)$$

Donde:

- b : 68.20°
- sn : 4.5 x 22.5 Kn/m3 = 101.25 Kn/m2
- dU : 30° (geomembrana lisa en conjunto con la arena)
- dL : 8° (geotextil no tejido y una geomembrana lisa de polietileno de alta densidad)
- x : 50 mm (distancia más desfavorable para movilización de la geomembrana)
- sadm : 15000 kPa, Mayor esfuerzo soportado por las geomembranas HDPE (según Designing with Geosynthetic Cap 5, 5 Ed).

Reemplazando en los valores de la ecuación. Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana HDPE Vs Esfuerzo.

Obtenemos:

$$t = \frac{101.25(0.05) (\tan 30^\circ + \tan 8^\circ)}{15000(\cos 68.20^\circ - (\text{sen } 68.20^\circ) (\tan 8^\circ))}$$

$$t = \frac{3.63}{3613.16}$$

$$t = 1.005 \times 10^{-3} = 1.01 \text{ mm}$$

Entonces:

$$F.S. = \frac{t \text{ instalado}}{t \text{ requerido}}$$

$$F.S. = \frac{t \text{ instalado}}{t \text{ requerido}} = 1.49 > 1.0 \text{ (OK)}$$

III.2.3.2. Estabilidad de la cobertura del relleno

$$F.S. = \frac{(W \cos b) \tan dU (L) + Tadm}{W \sin b (L)}$$

Donde:

$$\begin{aligned} W &= (18 \times 0.50 \times 1) = 9 \text{ kN/m} \\ b &= 68.20^\circ \\ dU &= 30^\circ \text{ (la geomembrana es lisa en conjunto con la arena)} \\ L &= \text{Longitud de inclinación} \\ Tadm &= s_{adm} t = 15000 (0.0015) \end{aligned}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$F.S. = \frac{(9 \cos 68.20) \tan 30 (L) + (15000) (0.0015)}{9 \sin 68.20 (L)}$$

$$F.S. = \frac{1.93L + 22.5}{8.35L}$$

Asumiendo diferentes valores para la longitud de inclinación se obtienen diferentes resultados en el FS.

Tabla 37 *Resultados en el FS*

| L (m) | FS |
|-------|------|
| 4.00 | 0.90 |
| 6.00 | 0.68 |
| 8.00 | 0.57 |
| 10.00 | 0.50 |
| 12.00 | 0.37 |
| 30.00 | 0.32 |

Nota: Elaboración Propia

Por lo tanto, la longitud de inclinación máxima deberá ser de 4.0 m con el fin de obtener un factor de seguridad adecuado.

III.2.3.3. Diseño de la longitud y zanja de anclaje

$$F.S. = \frac{sn \text{ LRO} (\tan dU + \tan dL) - PA + PP}{\cos b - \text{sen } b \tan dL}$$

$$PA = (0.5 gAT \quad dAT + sn) KA \text{ dAT}$$

$$PP = (0.5 gAT \quad dAT + sn) KP \text{ dAT}$$

Donde:

$$gAT = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$sn = (18 \text{ kNm}^3) (0.30 \text{ m}) = 5.4 \text{ Kn/m}^2$$

$$f = \text{Ángulo de fricción del afirmado arena} = 30^\circ$$

$$KA = \tan^2(21.80 - f/2) = \tan^2(21.80 - 30/2) = 0.014$$

$$KP = \tan^2(21.80 + f/2) = \tan^2(21.80 + 30/2) = 0.56$$

$$du = 30^\circ \text{ (la geomembrana es lisa en conjunto con la arena)}$$

$$dL = 8^\circ \text{ (geotextil no tejido y una geomembrana lisa)}$$

$$b = 21.80^\circ$$

$$Tadm = \text{sadm } t = 15000 (0.0015)$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$(5.4)(\text{LRO})(\tan 30 + \tan 8) - ((0.5)(18)\text{Dat} + 5.4)(0.014)\text{Dat} + ((0.5)(18)\text{Dat} + 5.4)(0.56)\text{Dat}$$

$$F.S. = \frac{\dots}{\dots}$$

$$(\cos 68.20) - (\text{sen } 68.20) (\tan 8)$$

$$3.88(\text{LRO}) - 0.13\text{dAT} - 0.08 \text{ dAT}^2 + 3.024 \text{ dAT}$$

$$22.5 = \frac{\dots}{\dots}$$

$$0.2409$$

$$5.42 = 3.88(\text{LRO}) + 4.91 \text{ dAT}^2 + 2.944 \text{ dAT}$$

Entonces nos queda finalmente una ecuación con dos incógnitas, las cuales son:

$$\text{LRO} = \text{Longitud de desarrollo}$$

$$\text{dAT} = \text{Profundidad de la zanja de anclaje}$$

Se asume una de las dos incógnitas y se encuentra la otra. Asumiendo LRO = 0.6 m, se reemplaza en la ecuación quedando una cuadrática de la siguiente forma:

$$4.91 \text{ dAT}^2 + 2.94 \text{ dAT} - 3.09 = 0$$

Resolviendo para dAT = 0.548 m

Se recomienda que dAT sea ≥ 0.49 m por razones constructivas.

Por lo tanto, dAT = 0.50 m.

III.2.3.4. Chequeo por supervivencia

Se observa que para el caso de manejo de aguas residuales, producto de la lixiviación de los residuos sólidos se requiere tener en cuenta la condición más crítica, la cual exige como mínimo una geomembrana de 1.5 mm, motivo por el cual nuestra geomembrana HDPE (1.5 mm) cumple con todos los parámetros requeridos (espesor, resistencia a la tensión, rasgado, punzonamiento e impacto). (IGS Perú, 2010)

Tabla 38 Resumen del diseño por espesor de la geomembrana

| CUADRO RESUMEN DE DISEÑO | | | | |
|--------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------------|
| Elemento | DIMENSIONES | | | CARACTERISTICAS |
| | Longitud (m) | Ancho (m) | Espesor (mm) | |
| GEOTEXTIL | 160.00 | 4.00 | 1.50 | NT 1600 |
| GEOMEMBRANA | 150.00 | 4.00 | 1.50 | HDPE |
| ZANJA DE ANCLAJE | | 0.50 | 0.50 | |

Nota: Elaboración Propia

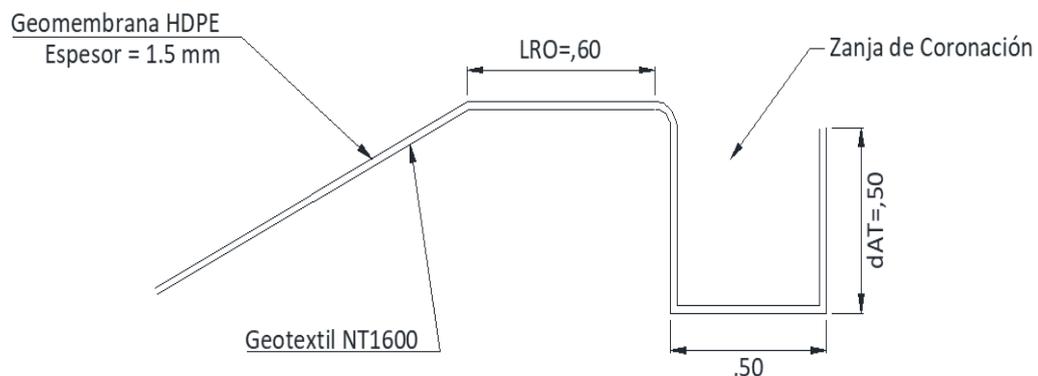


Figura 53. Dimensionamiento Longitud desarrollo y Zanja de anclaje.

III.2.4. Aplicación del software geosoft pavco v 3.0

Este software refleja todos los aspectos a controlar en el diseño como son: resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido, etc.

Reporte de diseño con geomembranas

Tabla 39 *Datos del proyecto*

| | |
|------------------------------|--|
| Nombre del Proyecto: | DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE RESIDUOS SOLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS 2020 |
| Nombre de la Empresa: | UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO |
| Nombre del Diseñador: | BACH. ALVAREZ RUIZ, WALTER ELOY |
| Cargo del Diseñador: | TESISTA |

Nota: software geosoft pavco v 3.0

País: PERU **Departamento:** CAJAMARCA **Ciudad:** JESÚS

Descripción del Proyecto:

Método correcto de diseño y aplicación adecuado de geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de residuos sólidos.

Tabla 40 *Parámetros de entrada*

| | |
|--|------------------------|
| Altura del Relleno H : | 7.80 m |
| Peso Específico Material : | 1.0 Ton/m ³ |
| Pendiente del talud (H:1 V) : | 1,3 |
| Fricción entre la geomembrana y el material superior : | 30.0 |
| Fricción entre la geomembrana y el material inferior : | 8.0 |
| Distancia de Movilización de la deformación de la geomembrana X : | 0.05 m |
| Grado Requerido de Supervivencia G : | MUY ALTO |
| Altura Efectiva de la Protuberancia (mm) h : | 0.0 |
| Peso específico del suelo Zanja : | 1.6 Ton/m ³ |
| Espesor Suelo Cobertura : | 0.0 |
| Peso específico del suelo Cobertura : | 1.0 Ton/m ³ |
| Longitud de Desarrollo : | 0.3 m |
| Factor de Seguridad Global FS : | 5.0 |
| Factor de modificación por forma de la protuberancia : | 1.0 |
| Factor de modificación por densidad del relleno : | 1.0 |

| | |
|--|-----|
| Factor de modificación por efecto de arco en sólidos : | 1.0 |
| Factor de reducción por fluencia del material : | 3.0 |
| Factor de reducción por colmatación química y biológica : | 1.5 |
| Espesor a instalar (mm) : | 1.5 |

Nota: software geosoft pavco v 3.0

Tabla 41 *Parámetros calculados y resultados*

| | |
|---|---------|
| Espesor calculado (mm) | 0,232 |
| Espesor recomendado por criterio de supervivencia (mm) | 1.5 |
| Espesor recomendado (mm) | 1.5 |
| Chequeo de espesor | 1.0 |
| Observación | CUMPLE |
| Recomendación geomembrana HDPE | 60 mils |
| Recomendación geotextil no tejido | NT1600 |
| RESISTENCIA A LA TENSIÓN (ASTM D4632) [N] | 400.0 |
| RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO METODO CBR (ASTM D6241) [N] | 1200.0 |
| RESISTENCIA AL ESTALLIDO (ASTM D3786) [kPa] | 1139.0 |
| Profundidad de la Zanja de Anclaje Calculado(m) | 0,87 |
| Profundidad de la Zanja de Anclaje Recomendado(m) | 0.9 |

Nota: Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPR) ó (MARV) por su nombre en inglés.



Figura 54. Página de Ingreso al programa GEOSOFT PAVCO V 3.0

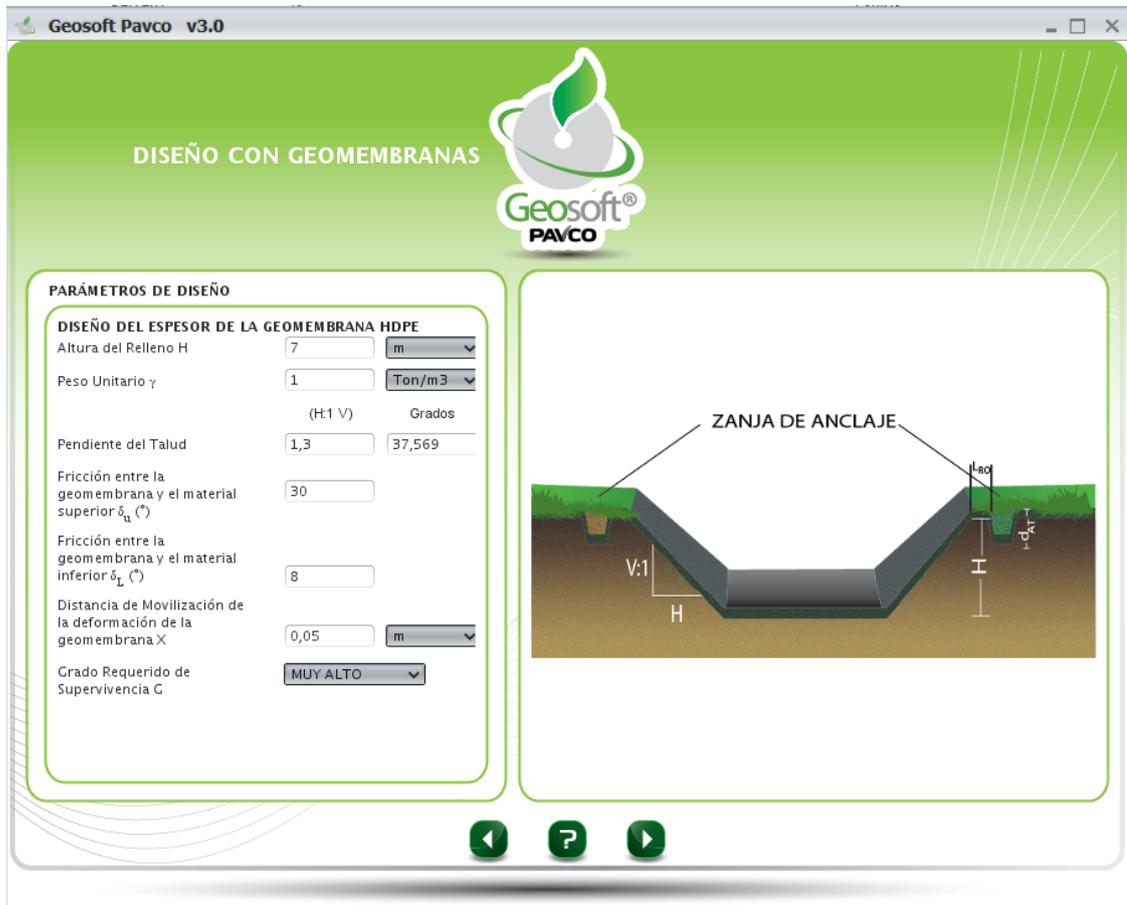


Figura 55. Ingreso de datos del proyecto

DISEÑO CON GEOMEMBRANAS

PÁRAMETROS DE DISEÑO

DISEÑO DE LA LONGITUD Y ZANJA DE ANCLAJE

SUELO DE COBERTURA

Espesor e: 0 m

Peso específico del suelo γ_T : 1 Ton/m³

MATERIAL RELLENO DE LA ZANJA

Ángulo de Fricción del suelo ϕ : 30,0 grad

Peso específico del suelo γ_T : 1,6 Ton/m³

Longitud de Desarrollo L_{RO} : 0,3 m

DETERMINACIÓN GEOTEXTIL NO TEJIDO DE PROTECCIÓN

Factor de Seguridad Global FS: 5

Altura Efectiva de la Protuberancia (mm) h: 0,0

FACTORES DE MODIFICACIÓN

Factor de modificación por forma de la protuberancia FM_s : 1

Factor de modificación por densidad del relleno FM_{DR} : 1

Factor de modificación por efecto de arco en sólidos FM_A : 1

Factor de reducción por fluencia del material FR_{FL} : 3,0

Factor de reducción por degradación Química - Biológica FR_{DBQ} : 1,5

Figura 56. Ingreso de datos del proyecto

DISEÑO CON GEOMEMBRANAS

DISEÑO DEL ESPESOR DE LA GEOMEMBRANA HDPE

Espesor Calculado (mm): 0,23

Espesor a Instalar (mm): 1,5

Espesor por Supervivencia (mm): 1,5

Chequeo del espesor: 1

Espesor Recomendado (mm): 1,5

Observación: Adecuado

DETERMINACIÓN GEOTEXTIL NO TEJIDO DE PROTECCIÓN

Se recomienda usar Geotextil No Tejido: NT1600

RESISTENCIA A LA TENSIÓN (ASTM D4632) [N]: 400,0

RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO METODO CBR (ASTM D6241) [N]: 1200,0

RESISTENCIA AL ESTALLIDO (ASTM D3786) [kPa]: 1139,0

DISEÑO DE LA LONGITUD Y ZANJA DE ANCLAJE

Longitud de Desarrollo L_{RO} : 0,3 m

Profundidad de la Zanja de Anclaje Calculado d_{AT} (m): 0,87

Profundidad de la Zanja de Anclaje Recomendado d_{AT} (m): 0,9

Figura 57. Salida de resultados del proyecto

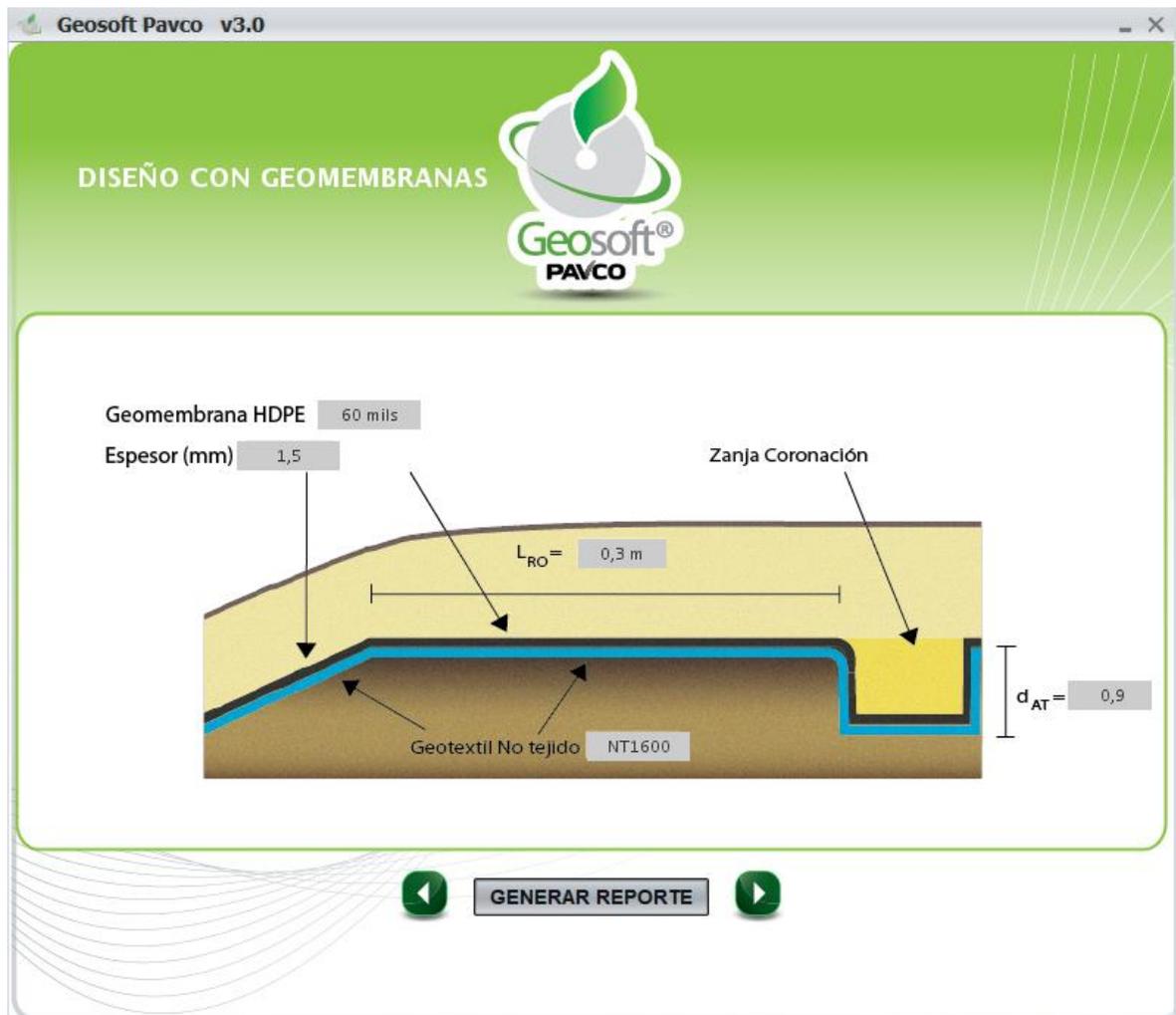


Figura 58. Resultados finales esquematizado y descripción

III.3. Aplicación del diseño proceso constructivo

Introducción

El objetivo principal de esta etapa es plasmar el diseño de los geotextiles y geomembranas en la impermeabilización de los rellenos sanitarios de la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad JESÚS - Cajamarca.

Este trabajo de investigación muestra procedimiento de instalación de los Geosintéticos. Se refiere a la instalación de Geotextiles no tejidos y Geomembranas de polietileno HDPE. También se recomienda la selección del tipo de geotextil, geomembrana y las especificaciones de acuerdo con los ensayos realizados, sin embargo, se recomienda que este diseño sea específico del proyecto. (IGS Perú, 2010)

El procedimiento es lo siguiente:

III.3.1. Preparación de la superficie:

III.3.1.1. Aspectos prácticos de construcción de rellenos sanitarios

El diseño de las trincheras consiste no solamente en determinar la superficie y profundidad si no, particularmente en resolver un sin número de detalles de construcción y especificaciones que asegurarán un funcionamiento y estabilidad adecuado de la unidad a lo largo de su vida útil. Muchos informes acerca de las trincheras y pozas de lixiviación existentes demuestran una serie de defectos en su funcionamiento, averías en las estructuras y molestias de una pobre ingeniería. (IGS Perú, 2010)

III.3.1.2. Movimiento de tierras

Volumen mínimo de movimiento de tierra

En un terreno llano es suficiente realizar una excavación poco profunda para conseguir el material requerido para la construcción de los diques. Dos condiciones son obligatorias:

- El nivel de agua en la laguna debe quedar situado debajo del nivel de la solera del último tramo de la alcantarilla de llegada si es por gravedad.
- El suelo removido debe ser adecuado para la compactación y mantener una cohesión cuando es humedecido.

La tierra orgánica y la arena no son adecuadas para la construcción de diques normalmente, un buen material se encuentra debajo de la superficie del suelo. Este terreno más adecuado puede ser utilizado para formar el núcleo impermeable y estable del dique y el sobrante utilizarse para completar el dique y para formar el talud. Ver figura 68. (IGS Perú, 2010)

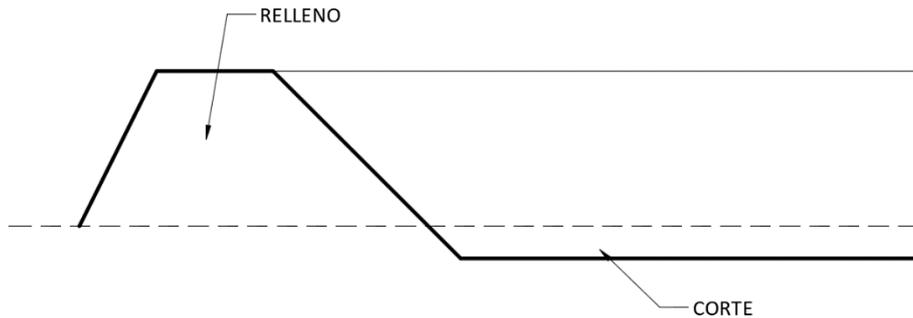


Figura 59. Balance entre relleno y excavación

Partiendo de un punto de vista puramente geométrico, el volumen excavado debe igualar al apilado. Debe hacerse una compensación adicional por la expansión durante la excavación y la reducción durante la compactación. Dependiendo de la compresibilidad de la tierra, contenido de humedad y otros factores, por lo general el volumen de suelo que entra en la conformación del dique es menor al excavado. (IGS Perú, 2010)



Figura 60. Excavación de las rincheras del rellenos sanitario

Geometría del Talud

Con la finalidad de mantener al mínimo la erosión causada por olas provocadas por el viento, la pendiente del dique en el lado húmedo debe ser suave, 1 en la parte vertical a 3.0 en la parte horizontal. Los taludes más empinados pueden ser adoptados en el caso de suelos muy duros y si se utiliza un revestimiento protector. (IGS Perú, 2010)

La coronación del dique debe ser hecha lo suficientemente ancha como para

permitir el fácil tráfico de camionetas o camiones en grandes instalaciones, considerando que en instalaciones pequeñas todo lo que se necesita es un sendero de 1 m de ancho y de por lo menos 3.0 m en instalaciones mayores para el acceso de vehículos. La parte de la coronación debe consolidarse adecuadamente para evitar su deterioro como consecuencia del tránsito y tener una geométrica curva que evite la acumulación del agua de lluvia. (IGS Perú, 2010)

El procedimiento de trabajo se muestra en la fotografía 70, los taludes son afinados a mano o mecánicamente por medio de una excavadora o motoniveladora.



Figura 61. Perfilado y compactado de los taludes

Relleno material para diques de rellenos sanitarios

Se ejecutarán con el material que cumplan las características establecidas en el diseño "material selecto" y/o "material seleccionado" que cumplan las siguientes características:

➤ Físicas

Debe estar libre de desperdicios orgánicos o material compresible o destructible, el mismo que no debe tener piedras o fragmentos de piedras mayores a Ø 4" en diámetro, debiendo además contar con una humedad óptima y densidad correspondiente. (IGS Perú, 2010)

➤ Químicas

Que no sea agresiva, a la estructura construida o instalada en contacto con ella.

Procedimiento

El material para la formación del relleno será colocado en capas horizontales de 30 a 40 cm de espesor de acuerdo a lo recomendado por el proyectista, deben abarcar todo el ancho de la sección y ser esparcidas suavemente, con equipo esparcidor u otro equipo aplicable. (IGS Perú, 2010)



Figura 62. Compactado de fondo de trinchera.

Los rellenos por capas horizontales deberán ser ejecutados en una longitud que hagan factible los métodos de acarreo, mezcla, riego o secado y compactación usados. (IGS Perú, 2010)

La superficie a ser impermeabilizada debe tener una textura suave y libre de presencia de rocas o piedras, puntas, raíces o cualquier otro elemento punzante que pudiera llegar a perforar o rasgar la Geomembrana. (IGS Perú, 2010)

La superficie debe estar preparada de manera que no presente protuberancias, irregularidades, presencia de vegetación. (IGS Perú, 2010)

El terreno debe garantizar la estabilidad geotécnica de la obra, lo cual comprende capacidad portante, estabilidad de los taludes, y estabilidad global general, así como los sistemas de subdrenaje necesarios; todo ello debe ser aprobado por el propietario del proyecto, quien se hará responsable. (IGS Perú, 2010)

Se debe tener especial cuidado al preparar la superficie sobre la cual se instalará el geotextil y la Geomembrana, el terreno será observado para evaluar las condiciones de la superficie. Cualquier daño en la superficie causada por condiciones de clima u otras circunstancias, será reparado por el contratista o propietario del proyecto. (IGS Perú, 2010)

III.3.2. Pruebas de control:

III.3.2.1. Pruebas de compactación de suelos:

En la preparación de la superficie de la planta de tratamiento de residuos sólidos de JESÚS, especialmente de los rellenos sanitarios se realizaron pruebas de compactación en los tramos:

- Fondo laguna, lado derecho, izquierdo y centro de laguna principales
- Taludes



Figura 63. Control de densidad de campo en fondo de laguna.

III.3.3. Impermeabilización de fondo de trinchera

El suelo de la base del fondo de la laguna es muy permeable por lo cual se colocará en un espesor de 30 cm como afirmado para mejorar la capacidad portante.

Luego en la capa superior se instalará el sistema geotextil — geomembrana. (IGS Perú, 2010)



Figura 64. Revestimiento de una relleno sanitario con polietileno

III.3.4. Impermeabilización de taludes

En términos generales, el revestimiento de un talud suave es innecesario. Para este propósito se recomienda pendientes de 3.0 en la vertical y 1 o 2 en la horizontal. En este caso las olas que resultan de la fricción del viento reventarán en el talud aligerándose, pero ello no significa que no dañe el talud. En caso de pendientes más pronunciadas el revestimiento puede hacerse obligatorio. Aparentemente, el revestimiento del sistema geotextil - geomembrana es lo más recomendable para el talud, siempre y cuando el material de afirmado sea compactado bien.

III.3.5. Otros detalles de construcción

III.3.5.1. Estructuras de ingreso

Existe bastante controversia en cuanto si la tubería de entrada a una laguna debe ir sumergida o sobre el nivel del agua. Los argumentos a favor de las tuberías sumergidas son su bajo costo y sencillos métodos de construcción. Los argumentos en su contra son: el asentamiento de lodo en caudales bajos con la consecuente obstrucción de la tubería y la aparición de material asentado alrededor de la desembocadura.

III.3.6. Instalación de geotextiles y geomembranas

Generalidades:

Después de la realización de las pruebas y de Inspección Técnica, tanto de suelos como de geosintéticos, a cargo del personal de supervisión y laboratorios especializados. (IGS Perú, 2010)

- Se almacena los geotextiles y geomembranas en obra.



Figura 65. Almacenamiento de la geomembrana

III.3.7. Sistema de impermeabilización geotextil-geomembrana

- Ensayo a los materiales verificando las características de diseño tipo, espesor, etc.
- Colocación de los geotextiles como protección a las geomembranas de objetos punzocortantes.
- Los rollos de geotextil son extendidos en tiras de 100 m. cada una. La colocación comienza por la cima de los taludes, donde se aseguran con la zanja de anclaje.



Figura 66. Extendido del geotextil en fondo de relleno

III.3.8. Proceso de sellado

Fijación con soplador de aire caliente:

Este tipo de fijación temporal consiste en un equipo generador de aire caliente con flujo regulado de aire y temperatura auto controlado y ajustable de 20 °C a 700°C. (IGS Perú, 2010)

Nota: Es utilizado para auxiliar la confección de las enmiendas y acabados en general y no debe ser utilizado como soldadura definitiva.

Identificación de la máquina utilizada (Triac S)



Figura 67. Máquina empleada



Figura 68. Fijación con el soplador de aire caliente

III.3.9. Colocación de las geomembranas

III.3.9.1. Características del material

La geomembrana a instalar será de HDPE de 1.5mm de espesor, según los resultados de diseño y la superficie será tipo lisa. (IGS Perú, 2010)

III.3.9.2. Almacenamiento

Las geomembranas pueden ser almacenadas en pilas máximas de 3 rollos y no necesitan ser estocadas en locales protegidos. Mientras no tarde la ejecución de la obra. (IGS Perú, 2010)



Figura 69. Almacenamiento de los rollos de geomembranas

Para los casos donde no existen equipos para transporte de las bobinas dentro de la obra, la bodega debe estar más cerca posible del lugar a revestir. (IGS Perú, 2010)

III.3.9.3. Instalación

III.3.9.3.1. Actividades previas

Abordaremos las actividades anteriores a la obra para una mejor planificación de las instalaciones a fin de obtener un aprovechamiento máximo de los rollos de geomembranas, minimizar las interferencias y auxiliar el personal de campo a empezar los trabajos de forma racional y coherente. (IGS Perú, 2010)

a) Plano de Instalación de los Paneles

Debe ser ejecutado por el responsable de la instalación (ingeniero/técnico calificado) y deben constar en el proyecto todos los paneles previamente numerados y todas las interferencias planeadas (enmiendas, tuberías, etc.). El plan de instalación consiste en proyectar en un plano la manera de cortar y lanzar los paneles en el local. (IGS Perú, 2010)

Para facilitar el trabajo del instalador en campo, debemos llevar en consideración los siguientes ítems:

- ✓ La disposición de los paneles debe ser planeada de modo a minimizar los encuentros de soldadura.
- ✓ La unión de los paneles del talud con los paneles de fondo debe tener un traslape mínimo de 1,00m del pie del talud (Fig. 4.5)

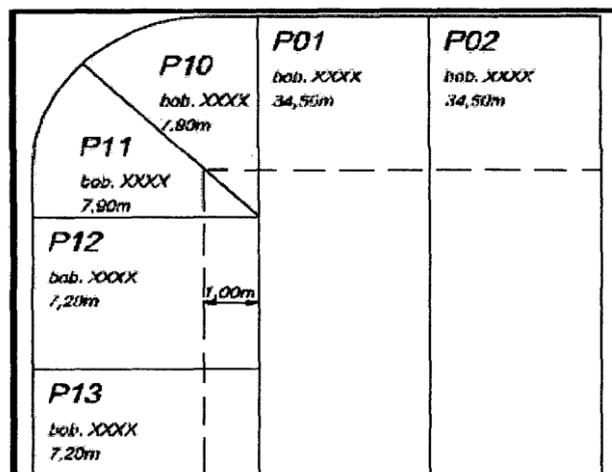


Figura 70. Numeración de las bobinas para instalación.

Nota: La identificación de los paneles en el plan de instalación difiere de la identificación de las bobinas. Podremos utilizar letras o números para caracterizar las bobinas. (IGS Perú, 2010)

El plan de instalación debe ser evaluado por el técnico en el local de la obra que irá a conferir las medidas "in loco" y confrontará con las medidas de proyecto. (IGS Perú, 2010)

Modificaciones en el plan de instalación deberán ser hechas en el local caso haya divergencias de medidas y/o interferencias. (IGS Perú, 2010)

b) Servicios de Terraplén

Preparación de la superficie de apoyo:

La superficie de apoyo deberá estar limpia, seca, regularizada y libre de cualesquiera objetos que puedan herir la geomembrana. Le corresponde al técnico-instalador examinar toda la superficie junto con el ingeniero residente y no permitir el lanzamiento de los paneles hasta que las condiciones mínimas aceptables sean cumplidas. (IGS Perú, 2010)



Figura 71. Preparación de la superficie

Nota: En el caso que el contratista solicite el lanzamiento de los paneles con la superficie deficiente, corresponderá al técnico-instalador reportar la solicitud en el cuaderno de obras que será debidamente firmado al final del día por el ingeniero residente. (IGS Perú, 2010)

Apertura de los dados de anclaje:

En el caso que el contratista no posea el diseño de los dados de anclaje, el mismo deberá tener dimensiones mínimas conforme fig. 47.

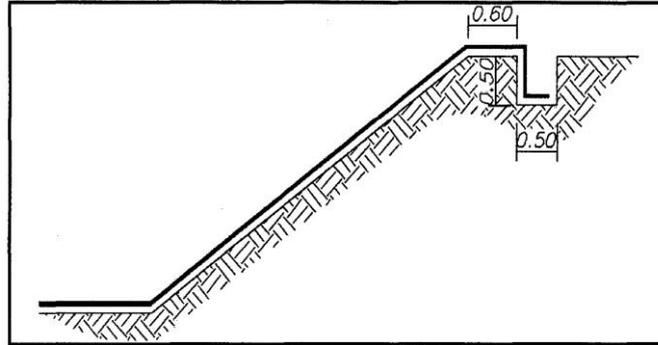


Figura 72. Dimensiones mínimas del dado de anclaje



Figura 73. Trazo y nivelación del dado de anclaje

III.3.9.3.2. Instalación de los paneles

a) Lanzamiento de los Paneles

Después de aprobar el plan de instalación, serán cortados los paneles y puesto en su lugar definitivo. Después el lanzamiento del panel, serán hechas las siguientes anotaciones: (IGS Perú, 2010)

- ✓ Número del panel;
- ✓ Número de la bobina (suministrada por el fabricante y anotada en el rollo);
- ✓ Largo del panel;
- ✓ Fecha de lanzamiento.



Figura 74. Colocación de cada panel de geomembrana.

Nota:

Típicamente, la cantidad de geomembrana lanzada en el día debe ser soldada para evitar formación excesiva de arrugas. Los paneles no pueden presentar vacíos y deberán estar en contacto íntimo con el suelo. (IGS Perú, 2010)

b) Traslape

Antes de la colocación de la geomembrana se realizan las pruebas de control con el tensiómetro con muestras tomadas de cada panel. (IGS Perú, 2010)

Procedimiento de control de las muestras

Cortar 2 cm de una muestra de 2,5 cm de ancho y proceda a realizar una prueba de pelado con un dispositivo de tracción sobre el terreno. La soldadura no se puede separar, la muestra debe demostrar la ruptura del material. (IGS Perú, 2010)

Los paneles del fondo deben ser traspasados en 10 (diez) centímetros para efectuarse la soldadura y posicionados de forma que el panel superior no se quede contra el flujo del líquido, conforme fig. 84: (IGS Perú, 2010)

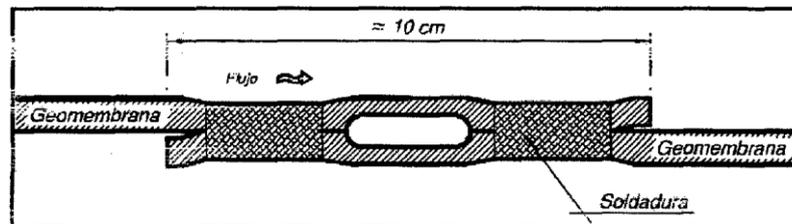


Figura 75. Traslape en los paneles del fondo

c) Fijación provisoria de los Paneles

Sacos de arena deberán ser puestos provisionalmente sobre los paneles para evitar que acciones del viento puedan erguir la misma dañando el material. Se recomienda la colocación de sacos de arena de aproximadamente 30 kg a cada 5,00 m o espaciados conforme indicación del fabricante. (IGS Perú, 2010)

Nota: En caso de viento excesivo no será desenrollada ninguna bobina.

III.3.9.3.3. Soldadura

En este ítem, abordaremos los tipos de soldaduras y sus peculiaridades, así como los acabados de las tuberías, fijaciones en hormigón y reparaciones existentes. (IGS Perú, 2010)

a) Parámetros de soldadura

Identificación de la máquina utilizada Leiter Comet:



Figura 76. Soldadura con la utilización de la máquina.



Figura 77. Soldadura con la utilización de la maquina

La soldadura por cuña caliente depende de tres parámetros fundamentales:

- Temperatura ambiente y de la cuña;
- Velocidad de la máquina;
- Presión de los roletes;

Nota: Ningún parámetro es más importante que otro, todos en conjunto determinan la calidad de la soldadura. Cada parámetro puede ser determinado por separado, sin embargo, la calidad de la soldadura será determinada por la combinación correcta de los tres parámetros, que dependerá de los siguientes factores: (IGS Perú, 2010)

- Espesor y tipo de material a ser soldado (HDPE);
- Tipo de la superficie de la geomembrana (Lisa o texturada);
- Temperatura ambiente;
- Temperatura de la geomembrana;
- Eficiencia de cada máquina.

(Tener en cuenta que máquinas del mismo modelo presentan desempeños diferentes).

Calibración de la Máquina:

La calibración de la máquina se realizará en el período de la mañana antes de empezar las soldaduras, en el inicio de la tarde (retorno del almuerzo) y cuando ocurran variaciones repentinas de temperatura ambiente. (IGS Perú, 2010)

Calibración de la velocidad y temperatura:

La velocidad y temperatura ideales para trabajo no se pueden determinar de forma constante y exacta ya que depende de diversos factores como el tipo de polímero a ser soldado, tipo de máquina utilizada y demás factores externos. (IGS Perú, 2010)

Ejecución de la soldadura por cuña caliente

Después que los paneles han sido lanzados en sus respectivos lugares verificar antes de poner la máquina los siguientes ítems: (IGS Perú, 2010)

- **Traspaso:**

Verificar si está correcto. La mayoría de las geomembranas viene con una marca de 10 cm del traspaso, sin embargo, caso no tenga esta marca, poner el traslapé correcto, conferir la medida de la misma y marcar una línea guía con la

utilización de una tiza de cera. (IGS Perú, 2010)

- **Limpieza en los locales de la soldadura:**

Con el auxilio de un paño húmedo, limpiar bien las superficies que serán soldadas, sacando todo el polvo, barro o agua existente. (IGS Perú, 2010)

Este procedimiento debe ser hecho con mucha atención, pues la existencia de alguna de las condiciones desfavorables arriba citadas afectará la calidad de la soldadura. (IGS Perú, 2010)

Soldadura por cuña caliente:

- Poner la máquina ya calibrada y acompañar de cerca la evolución de la soldadura, siempre buscando minimizar las arrugas existentes. (IGS Perú, 2010)

- Arrugas excesivas y "boca de pescado" serán cortadas cuando sea necesario de manera de formar un traspaso plano. En las arrugas cortadas serán puestos posteriormente reparos (enmiendas). (IGS Perú, 2010)

- Al principio y final de cada soldadura será retirado un trozo de prueba y cortado con el auxilio de dos alicates tipo "picoteo de pato" para garantizar que ocurrió fusión total de la soldadura (Rompimiento FTB). (IGS Perú, 2010)

- Al término de cada línea de soldadura, hacer aliado de la misma las anotaciones de control de calidad con el auxilio de un marcador industrial la siguiente información según el ejemplo:

- Numero de Soldadura (S-01)
- Entre paneles (P1/P2)
- Temperatura Ambiente (T.A. – 25°)
- Temperatura del panel (T.P. – 50°)
- Temperatura de la Cuña (T.C. – 450°)
- Velocidad de la cuña (Vel. 2.40m/min)
- Hora de Inicio de la línea de Soldadura (Inicio – 14:30h)
- Hora de Termino de la línea de Soldadura (Fin – 14:45h)
- Nombre del técnico.

La soldadura deberá ser interrumpida cuando ocurra cualquiera de las siguientes situaciones:

- Si la temperatura de los paneles medida con el termómetro infrarrojo sobrepasa los 75° C

- Ocurrencia de humedad / agua en los paneles

- Ocurrencia de lluvias;

Al encontrar con arrugas:

- Evitar soldar sobre arrugas que poseen tamaños diferentes en los paneles superior e inferior;

- Sacar la máquina, saltar la arruga e iniciar enseguida, marcando con un spray blanco el lugar para facilitar los procedimientos de control de calidad. (IGS Perú, 2010)

b) Soldadura por aporte de material (extrusión):

La soldadura por aporte de material consiste en depositar en el borde sobrepuesto del panel un filete extrudado desde un cordón o gránulos del mismo tipo de polímero de la geomembrana. (IGS Perú, 2010)



Figura 78. Máquina empleada

Calibración de la extrusora:

La calibración de la extrusora ocurrirá en el período de la mañana antes de empezar las soldaduras, en el inicio de la tarde (regreso del almuerzo) y cuando ocurran variaciones repentinas de temperatura ambiente. (IGS Perú, 2010)

Desbastar una de las tiras de prueba con el auxilio de una lija circular (esmeril) y fijar previamente con el auxilio del soplador de aire caliente como muestra a fig. 49.

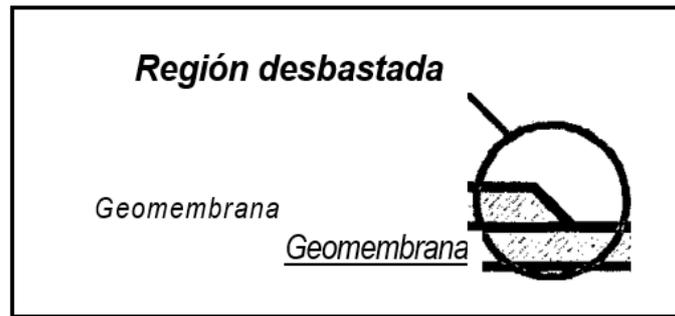


Figura 79. Región Desbastada.

Con el equipo de esmerilar, lijar toda la superficie donde recibirá la extrusión en por lo menos 2,50cm y deberá extenderse hasta 3,00 mm para fuera de cada lado de la extrusión. (IGS Perú, 2010)

Aplicar extrusión con una extrusora levemente inclinada para el lado de la geomembrana inferior de modo a permitir una sección transversal igual a la matriz (cavidad) de la zapata de teflón y con las rebabas iguales en los dos lados. (4.10). (IGS Perú, 2010)

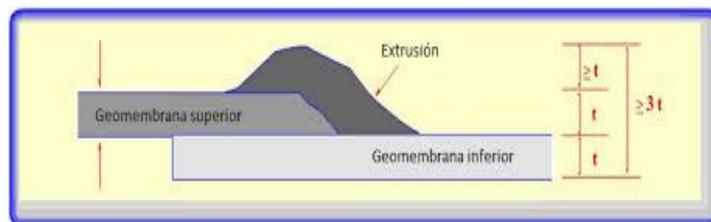


Figura 80. Extrusión

Ejecución de las soldaduras por extrusión:

– Ejecución de las enmiendas:

Definición: Enmiendas o reparos son partes de geomembrana cortadas con criterio para parchar agujeros u hoyos mayores que 5,00mm y también son colocadas en todo el encuentro de dos o más sueldas. (IGS Perú, 2010)

Ejecución de las enmiendas:



Figura 81. Preparar la enmienda conforme a fig. 51.

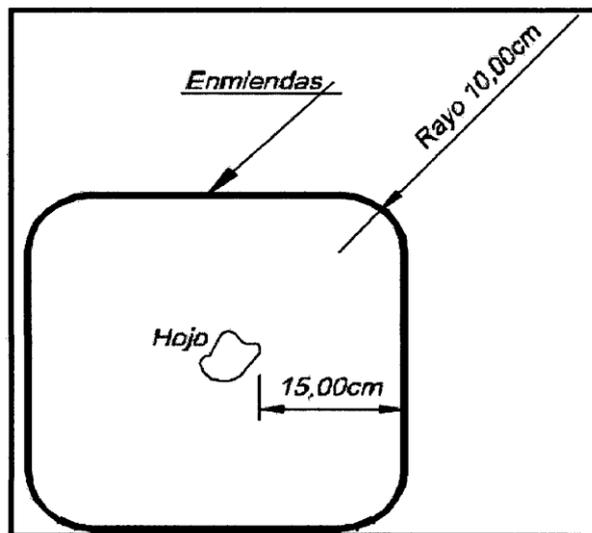


Figura 82. Enmienda

Nota:

Para una perfecta extrusión es necesario mantener el formato de la misma siempre constante. Este formato deberá ser el mismo de la matriz de la zapata de la extrusora. (IGS Perú, 2010)

Al término de la enmienda, deberán ser hechas anotaciones sobre la misma, como muestra el ejemplo:

- Número de la enmienda; (M 01)
- Número de la máquina; (Máq. 01/06)

- Velocidad de la extrusora; (V- 03)
- Temperatura de la extrusora; (T- 02)
- Nombre del técnico.

Ejecución de acabados en tuberías:

Para ejecución de un acabado de tuberías o una bota, deberemos observar los siguientes procedimientos:

Proceder con una tubería idéntica a la que será revestida, envolver toda la tubería con un pedazo de geomembrana y fijarlo con el auxilio del soplador. Recortar un pedazo de la geomembrana y hacer un agujero de mismo diámetro para que sea posible encajar en la tubería. (IGS Perú, 2010)

III.3.10. Pruebas de control final

III.3.10.1. Pruebas de estanqueidad

a. Pruebas No Destructivas:

Prueba de presurización:

Consiste en la inserción de aire dentro del canal formado por la soldadura por cuña caliente. (IGS Perú, 2010)

Para ejecución de este ensayo es necesario tener en manos una aguja con manómetro y bomba de aire, que puede ser eléctrica o manual. (IGS Perú, 2010)



Figura 83. Tenemos un ejemplo de una aguja ya posicionada para ejecutar la prueba.

Inyectar 205 kPa (30 PSI) de presión en el interior de la soldadura, aguardar la estabilización de misma y medir la pérdida de presión durante 05 (cinco) minutos y confrontar con la tabla abajo: (IGS Perú, 2010)

Tabla 42 *Parámetros calculados y resultados*

| Espesor (mm) | Presión (kPa) | Presión (PSI) | Pérdida de Presión (kPa) | Pérdida de Presión (PSI) |
|--------------|---------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| 1.00mm | 205 | 30 | 28 | 4 |
| 1.50mm | 205 | 30 | 21 | 3 |
| 2.00mm | 205 | 30 | 14 | 2 |
| 2.50mm | 205 | 30 | 14 | 2 |

Nota: elaboración propia



Figura 84. Realizando la prueba de presurización

En el caso que las pruebas reprobren la soldadura, deberemos localizar el punto de vaciamiento, corregir con una enmienda y rehacer la prueba. Caso no sea posible localizar tal punto, la soldadura debe ser rehecha. (IGS Perú, 2010)

Nota:

Las pruebas deberán ser realizadas el mismo día en el que las soldaduras fueron hechas.

Después de la realización de las pruebas deberá ser anotado al lado de la soldadura el control de calidad, conforme ejemplo abajo:

| Número de Prueba | |
|------------------|---------------|
| Hora | Presión (PSI) |
| 15:30h | 30 |
| 15:35h | 30 |
| P.A. (*) | Ok! |
| Operador | ----- |

(*) P .A - Prueba de aire.

Nota:

Las pruebas deberán ser realizadas en todo el segmento de soldadura.



Figura 85. Planta de tratamiento concluida

Ventajas en el diseño y uso de los Geosinteticos:

Existen otras alternativas muy conocidas y utilizadas de diseños en plantas de tratamiento residuos sólidos, como son las diseñadas mediante una excavación directa sobre el terreno natural, siendo vertida las aguas residuales sin ninguna protección y las diseñadas mediante una estructura de concreto. (IGS Perú, 2010)

Las ventajas del uso de geosintéticos en el diseño de plantas de tratamiento de residuos sólidos son las siguientes:

- a. Reducción del tiempo de ejecución y del costo financiero de los proyectos.
- b. Simplificación de los procesos constructivos.
- c. Disminución de costo de construcción respecto al uso de materiales o sistemas tradicionales (no geosintéticos).

- d. Aumento de la calidad en cierto tipo de construcciones (reservorios, pozas impermeabilizadas, etc).
- e. Mayor eficiencia en protección al medio ambiente.
- f. La mayoría de geosintéticos son inertes y resistentes a buena cantidad de agentes químicos.
- g. Contribuye a mejorar a la estética de las obras.

III.3.11. Presupuesto:
Presupuesto Primera Etapa

Proyecto: DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE
RESIDUOS
SOLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS 2020

| ITEM | CONCEPTO | CANTIDAD | UNIDAD | P.U. | SUB TOTAL |
|---------------------------------------|-------------------------------|----------|---------------|------------|---------------------|
| 1 | Topografía | 1 | Global | 20,000.00 | 20,000.00 |
| PREPARACIÓN DEL SITIO | | | | | |
| 2 | Corte de Material | 450 | Hora Tractor | 1,500.00 | 675,000.00 |
| 3 | Conformación (4,000m2) | 100 | Hora Moto Niv | 1,200.00 | 120,000.00 |
| 4 | Compactación (4,000m2) | 50 | Hora Compac | 800.00 | 40,000.00 |
| 5 | Agua para Compactación | 1 | Global | 8,000.00 | 8,000.00 |
| CALLE DE ACCESO | | | | | |
| 6 | Conformación y Cuneteo | 2.0 | Km | 125,000.00 | 250,000.00 |
| DRENAJE DE LIXIVIADOS | | | | | |
| 7 | Instalación Geomembrana | 4,267.31 | m2 | 47.60 | 203,123.96 |
| 8 | Instalación Tubería Perforada | 1 | Global | 10,000.00 | 10,000.00 |
| 9 | Material Granular | 2.400 | m3 | 125.00 | 300.00 |
| 10 | Geotextil | 4,267.31 | m2 | 22.40 | 95,587.74 |
| 11 | Geo Membrana (2 capas) | 4,267.31 | m2 | 240.00 | 1,024,154.40 |
| DRENAJE PLUVIAL | | | | | |
| 12 | Cuneta Revestida | 132 | m | 400.00 | 52,800.00 |
| 13 | Drenaje Francés | 130 | m | 224.00 | 29,120.00 |
| SISTEMA TRATAMIENTO LIXIVIADOS | | | | | |
| 14 | Fosa Séptica | 1 | Global | 40,000.00 | 40,000.00 |
| 15 | Biofiltros (2) | 1 | Global | 65,000.00 | 65,000.00 |
| 16 | Oficinas Administrativas | 1 | Global | 350,000.00 | 350,000.00 |
| 17 | Supervisión | 1 | Global | 200,000.00 | 200,000.00 |
| TOTAL | | | | | 3,183,086.10 |

Nota: Los precios incluyen IGV

IV. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. Con la metodología de diseño por función en geotextiles y por espesor en geomembranas se logra la correcta aplicación y el procedimiento de diseño en plantas de tratamiento de residuos sólidos. En la tabla N° 39 se muestra el diseño adecuado para la Planta de Tratamiento de residuos sólidos de la localidad de JESÚS.
2. El suelo de fundación de la planta de tratamiento influye en gran medida de los parámetros geotécnicos y propiedades. En la zona del proyecto, están constituidos principalmente por suelo granular limoso, gravas con arena, arenas gravosas, en estado denso a medianamente denso, no plásticos y en estado seco, presentando parámetros geotécnicos favorables en cuanto su resistencia y capacidad de carga del suelo.
3. Con el avance de la tecnología en diseño de soluciones con geosintéticos, he logrado ampliar de manera significativa conocimientos en conceptos y procedimientos de diseño que resultan indispensables reflejados en software como el GEOSOFT PAVCO V 3.0 para mayor rapidez y hacer más fácil el diseño de geomembranas.
4. Durante la construcción de la Planta de Tratamiento de residuos sólidos, se respetaran los estándares, ASTM, normas y procedimientos de control de calidad, tanto en movimiento de suelos como en geosintéticos, que permitan garantizar la calidad de los trabajos. Estas incluyen muestras en materiales, muestras en soldaduras de fusión y extrusión (elongamiento y rotura) y pruebas de estanqueidad final.
5. El costo del proyecto está estimado en 3,183,086.10, (Tres millones ciento ochenta y tres mil ochenta y seis con 10/100 nuevos soles, Inc. IGV)

Recomendaciones

1. Se recomienda el estudio de suelos muy especializado para determinar las propiedades geotécnicas de los materiales y de la composición química para conformación de los terraplenes y fondo de la trinchera y la poza de lixiviación y así garantizar la estabilidad de los taludes tanto los ejes y la corona del talud.
2. se recomienda antes de la impermeabilización de las trincheras y pozas de lixiviación de una planta de tratamiento de residuos sólidos para los geotextiles realizar los ensayos necesarios para cumplir dicha función lo cual nos conllevara para su aplicación pueda ser sostenible nuestro diseño.
3. Antes de las instalaciones se deben realizar las pruebas de control de densidad de campo para determinar el grado de compactación de dicha base y así garantizar un buen terreno de fundación.
4. Es importante tener una perspectiva del comportamiento in situ de los geosintéticos de uso en construcción, pues las condiciones naturales del medio donde se implementa una estructura o proyecto de ingeniería, siempre tienden a prevalecer sobre las condiciones ideales con las que generalmente diseñamos, por lo que también se hace realmente importante, seguir la normativa de diseño para los diferentes casos, la cual establece, factores de seguridad que nos proveen un margen de error para mitigar sucesos extraordinarios.
5. Los diseños que se desarrollan, requieren de un análisis previo, de las condiciones físicas y externas del proyecto en plan de desarrollo, luego de esto se plantean las posibles soluciones con el geosintético requerido y se procede a desarrollar la propuesta de diseño, ya que puede ser alterado por distintas condiciones como el estado del clima a la hora de ejecución en obra, etc.

V. Referencias bibliográficas

JIMENEZ FERNANDEZ, LEONARDO ALFONSO (2006), Los Geosintéticos como solución a la estabilidad de taludes.

JONES, (1996), Primeras geogrillas para la estabilización de terraplenes en Japón.

MACAFERRI, (2008). Manual De Diseño Geosintéticos, Manual Técnico, Lima — Perú.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, (2001). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2001), Lima - Perú.

MANUAL DE DISEÑO CON GEOSINTÉTICOS, (2011). Octava Edición, Departamento De Ingeniería, Bogotá D.C. — Colombia.

MARTÍNEZ BACAS, A. (2009). "Comportamiento Resistente Al Deslizamiento De Geosintéticos", Santander.

ORTEGA LANDEO, Yesica Natali (2016). Tesis "DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES PARA POBLACIONES PEQUEÑAS"

VARA HORNA, A. (2008). "El Proyecto de tesis", Tomo I, Tomo II, Lima - Perú.

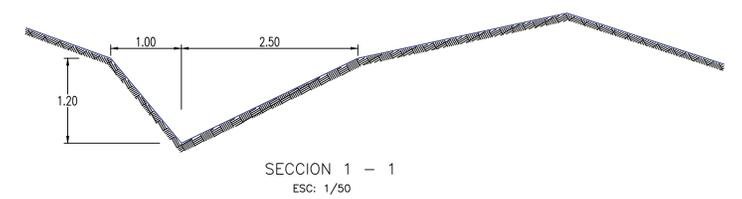
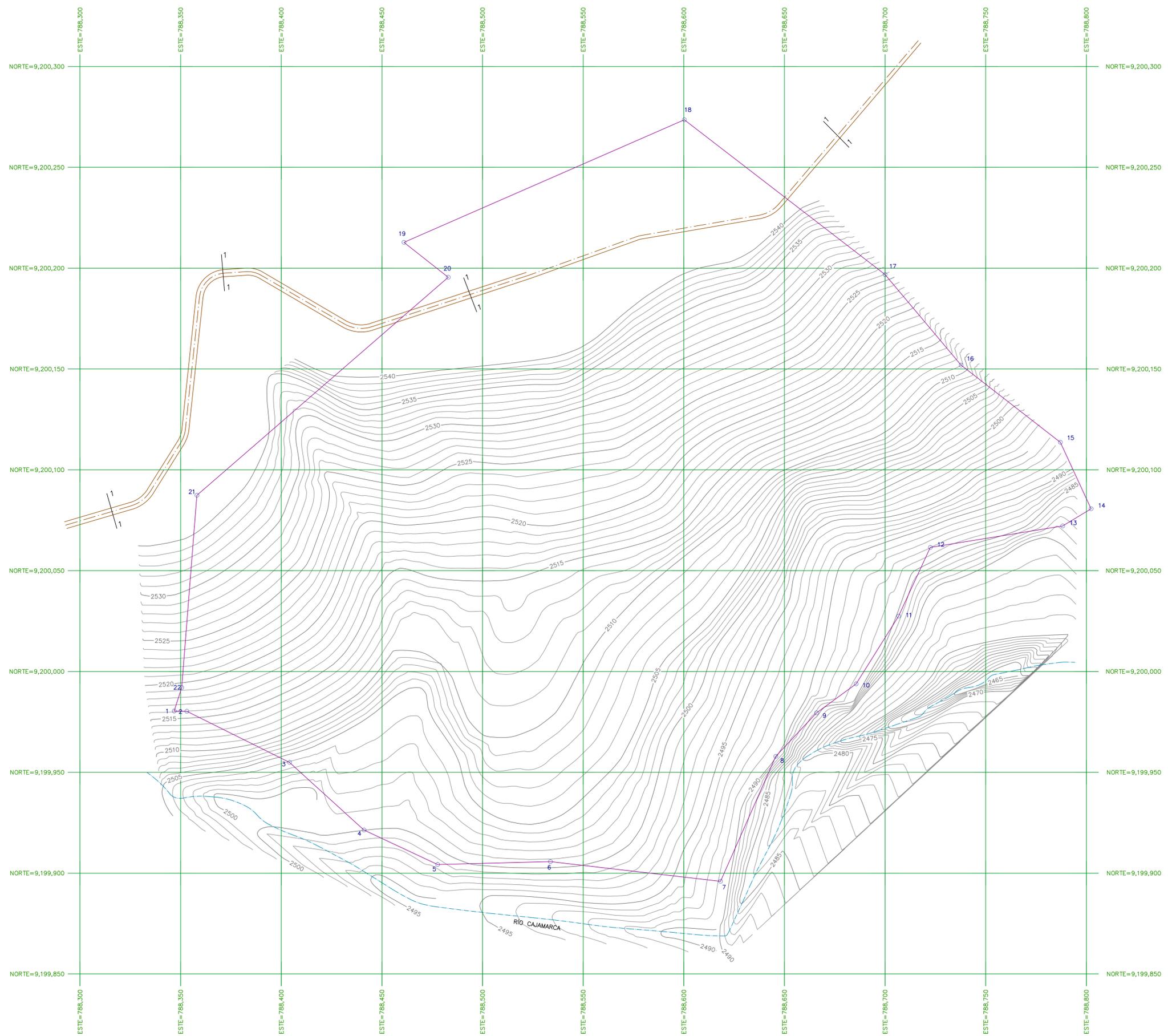
VI. Anexos

Presupuesto Primera Etapa

Proyecto: DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE
RESIDUOS
SOLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS 2020

| ITEM | CONCEPTO | CANTIDAD | UNIDAD | P.U. | SUB TOTAL |
|--------------|---------------------------------------|----------|---------------|------------|---------------------|
| 1 | Topografía | 1 | Global | 20,000.00 | 20,000.00 |
| | PREPARACIÓN DEL SITIO | | | | |
| 2 | Corte de Material | 450 | Hora Tractor | 1,500.00 | 675,000.00 |
| 3 | Conformación (4,000m2) | 100 | Hora Moto Niv | 1,200.00 | 120,000.00 |
| 4 | Compactación (4,000m2) | 50 | Hora Compac | 800.00 | 40,000.00 |
| 5 | Agua para Compactación | 1 | Global | 8,000.00 | 8,000.00 |
| | CALLE DE ACCESO | | | | - |
| 6 | Conformación y Cuneteo | 2.0 | Km | 125,000.00 | 250,000.00 |
| | DRENAJE DE LIXIVIADOS | | | | - |
| 7 | Instalación Geomembrana | 4,267.31 | m2 | 47.60 | 203,123.96 |
| 8 | Instalación Tubería Perforada | 1 | Global | 10,000.00 | 10,000.00 |
| 9 | Material Granular | 2.400 | m3 | 125.00 | 300.00 |
| 10 | Geotextil | 4,267.31 | m2 | 22.40 | 95,587.74 |
| 11 | Geo Membrana (2 capas) | 4,267.31 | m2 | 240.00 | 1,024,154.40 |
| | DRENAJE PLUVIAL | | | | - |
| 12 | Cuneta Revestida | 132 | m | 400.00 | 52,800.00 |
| 13 | Drenaje Francés | 130 | m | 224.00 | 29,120.00 |
| | SISTEMA TRATAMIENTO LIXIVIADOS | | | | - |
| 14 | Fosa Séptica | 1 | Global | 40,000.00 | 40,000.00 |
| 15 | Biofiltros (2) | 1 | Global | 65,000.00 | 65,000.00 |
| 16 | Oficinas Administrativas | 1 | Global | 350,000.00 | 350,000.00 |
| 17 | Supervisión | 1 | Global | 200,000.00 | 200,000.00 |
| TOTAL | | | | | 3,183,086.10 |

Nota: Los precios Incluyen IGV

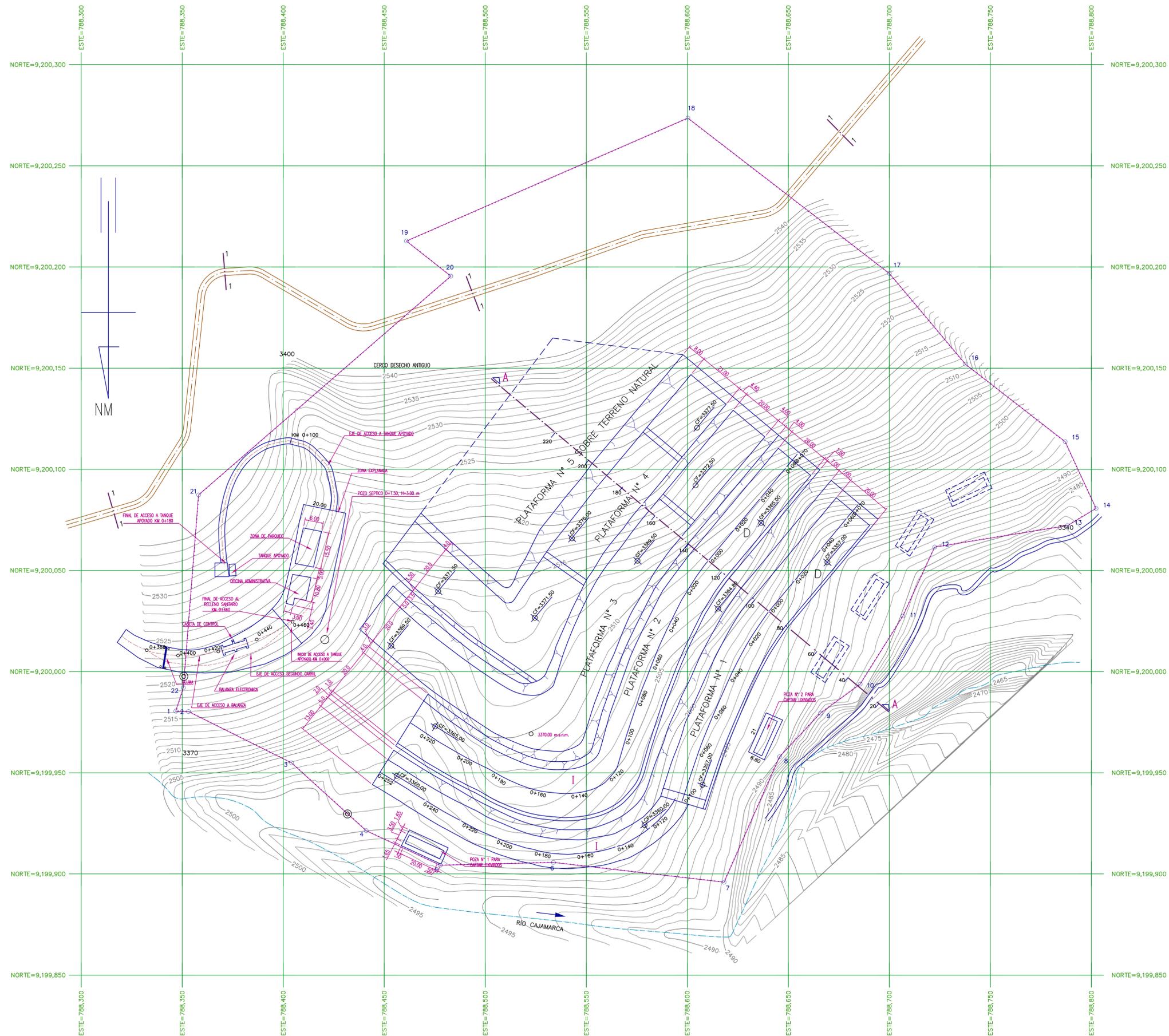


| CUADRO DE CONSTRUCCION | | | | | | |
|------------------------|----|------------------|-----------|----|--------------|------------|
| LADO EST | PV | RUMBO | DISTANCIA | V | COORDENADAS | |
| | | | | | Y | X |
| 1 | 2 | S 88°31'34.94" E | 6.325 | 1 | 9,199,980.40 | 788,346.77 |
| 2 | 3 | S 63°35'10.08" E | 56.950 | 3 | 9,199,980.24 | 788,353.09 |
| 3 | 4 | S 47°47'55.82" E | 49.950 | 4 | 9,199,921.35 | 788,441.10 |
| 4 | 5 | S 64°58'26.79" E | 40.361 | 5 | 9,199,904.28 | 788,477.67 |
| 5 | 6 | N 88°33'46.05" E | 56.045 | 6 | 9,199,905.68 | 788,533.70 |
| 6 | 7 | S 83°24'32.60" E | 85.088 | 7 | 9,199,895.91 | 788,618.22 |
| 7 | 8 | N 23°52'21.78" E | 67.800 | 8 | 9,199,957.91 | 788,645.66 |
| 8 | 9 | N 43°14'06.61" E | 29.580 | 9 | 9,199,979.46 | 788,665.92 |
| 9 | 10 | N 53°51'34.82" E | 24.352 | 10 | 9,199,993.83 | 788,685.59 |
| 10 | 11 | N 32°07'27.47" E | 39.699 | 11 | 9,200,027.45 | 788,706.70 |
| 11 | 12 | N 24°47'56.33" E | 37.537 | 12 | 9,200,061.52 | 788,722.44 |
| 12 | 13 | N 80°48'13.84" E | 66.611 | 13 | 9,200,072.17 | 788,788.20 |
| 13 | 14 | N 59°00'08.77" E | 16.492 | 14 | 9,200,080.66 | 788,802.34 |
| 14 | 15 | N 24°52'06.54" W | 36.346 | 15 | 9,200,113.64 | 788,787.05 |
| 15 | 16 | N 52°10'44.09" W | 62.426 | 16 | 9,200,151.92 | 788,737.74 |
| 16 | 17 | N 40°01'54.24" W | 58.694 | 17 | 9,200,196.86 | 788,699.99 |
| 17 | 18 | N 52°25'10.58" W | 125.838 | 18 | 9,200,273.60 | 788,600.26 |
| 18 | 19 | S 66°25'40.56" W | 152.011 | 19 | 9,200,212.81 | 788,460.93 |
| 19 | 20 | S 51°47'08.91" E | 28.018 | 20 | 9,200,195.48 | 788,482.95 |
| 20 | 21 | S 49°06'41.06" W | 165.197 | 21 | 9,200,087.35 | 788,358.06 |
| 21 | 22 | S 04°30'22.79" W | 95.635 | 22 | 9,199,992.01 | 788,350.55 |
| 22 | 1 | S 18°01'50.52" W | 12.207 | 1 | 9,199,980.40 | 788,346.77 |

SUPERFICIE = 102,840.07 m²

AREA TOTAL = 10.40 Ha
PERIMETRO = 1311.85 ml

| | | | |
|---|---|-----------------|---------------------------|
| | UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL | | ESCALA: |
| | DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE RESIDUOS SOLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS 2020 | | 1/1000 |
| | PLANO: TOPOGRÁFICO | | FECHA: diciembre del 2020 |
| | AUTORES: Bachiller: ALVAREZ RUIZ, WALTER ELOY | | Página N°: T-1 |
| ASESORES: ING. GUIDO ROBERT MARIN CUBAS | | | |
| Departamento: CAJAMARCA | Provincia: CAJAMARCA | Distrito: JESÚS | |

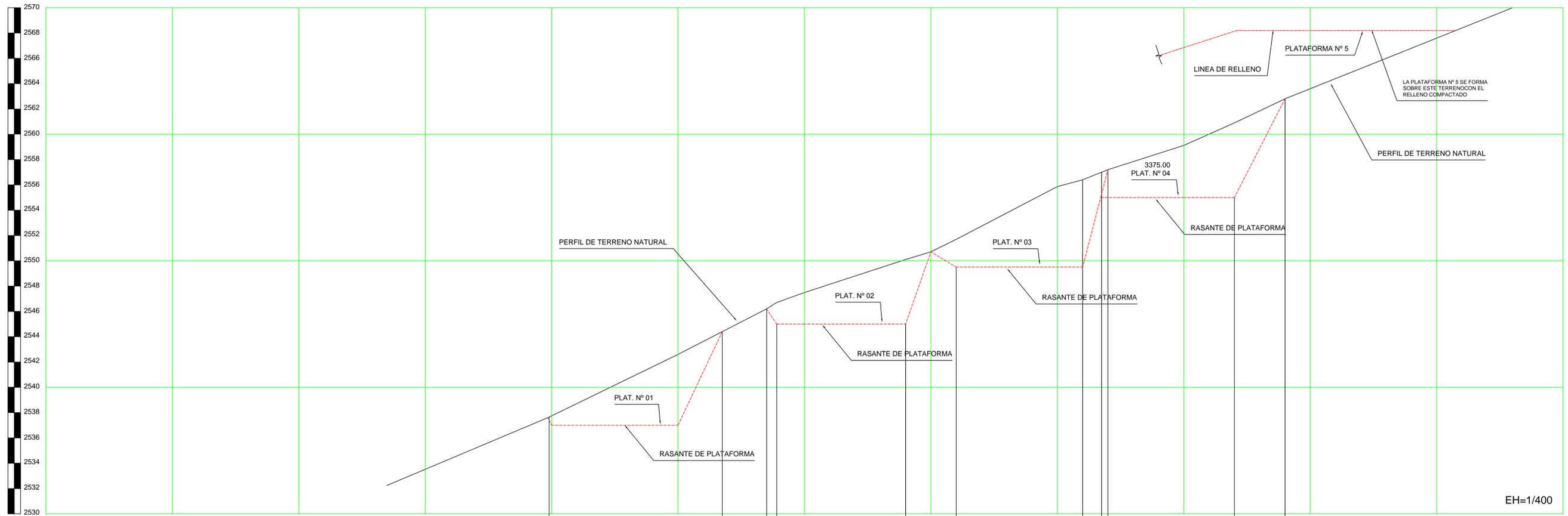


PLANTA PLATAFORMAS RELLENO SANITARIO
ESC. 1/1000

| | | | |
|---|--|-----------|-----------|
|  | UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL | | ESCALA: |
| | TESIS: DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS 2020 | | 1/1000 |
| | PLAN: PLANTA | | FECHA: |
| | AUTORES: Bachiller: ALVAREZ RUIZ, WALTER ELOY | | Plano N°: |
| ASESORES: ING. GUIDO ROBERT MARIN CUBAS | | P-1 | |
| Departamento: | Provincia: | Distrito: | |
| CAJAMARCA | CAJAMARCA | JESUS | |

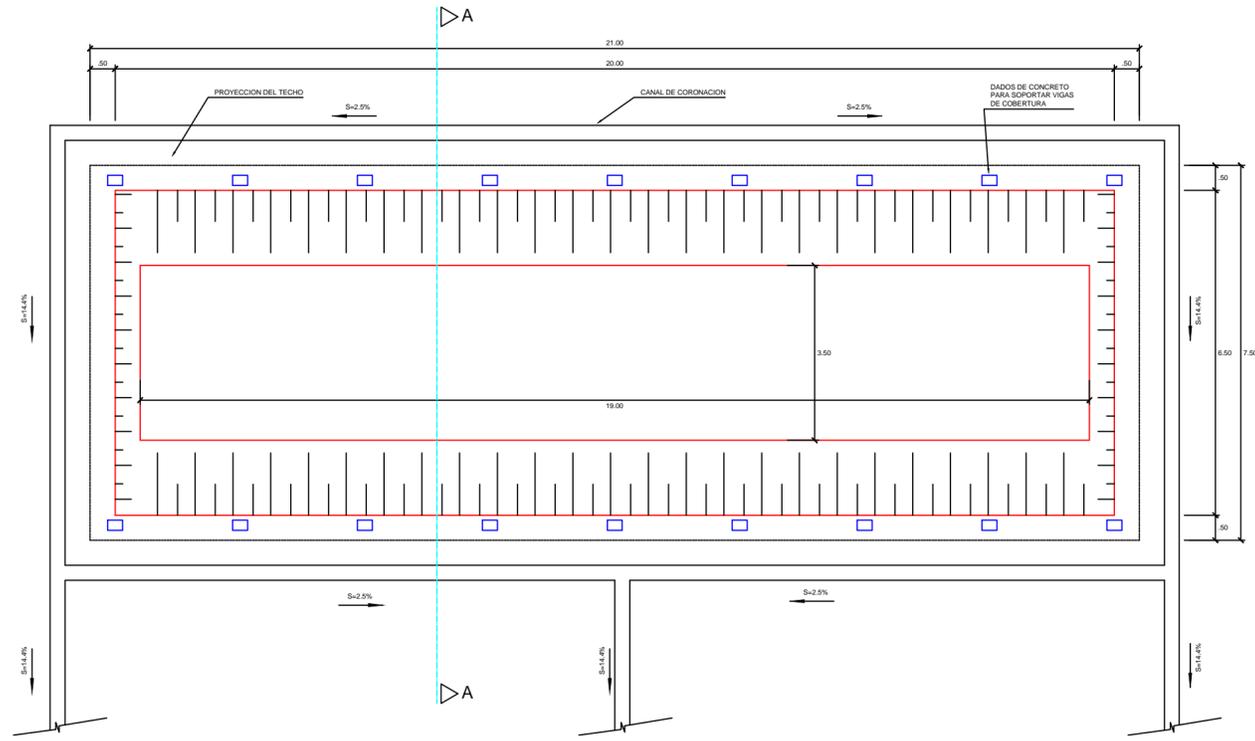
PLATAFORMAS DE RELLENO SANITARIO CORTE A - A

EV=1/200

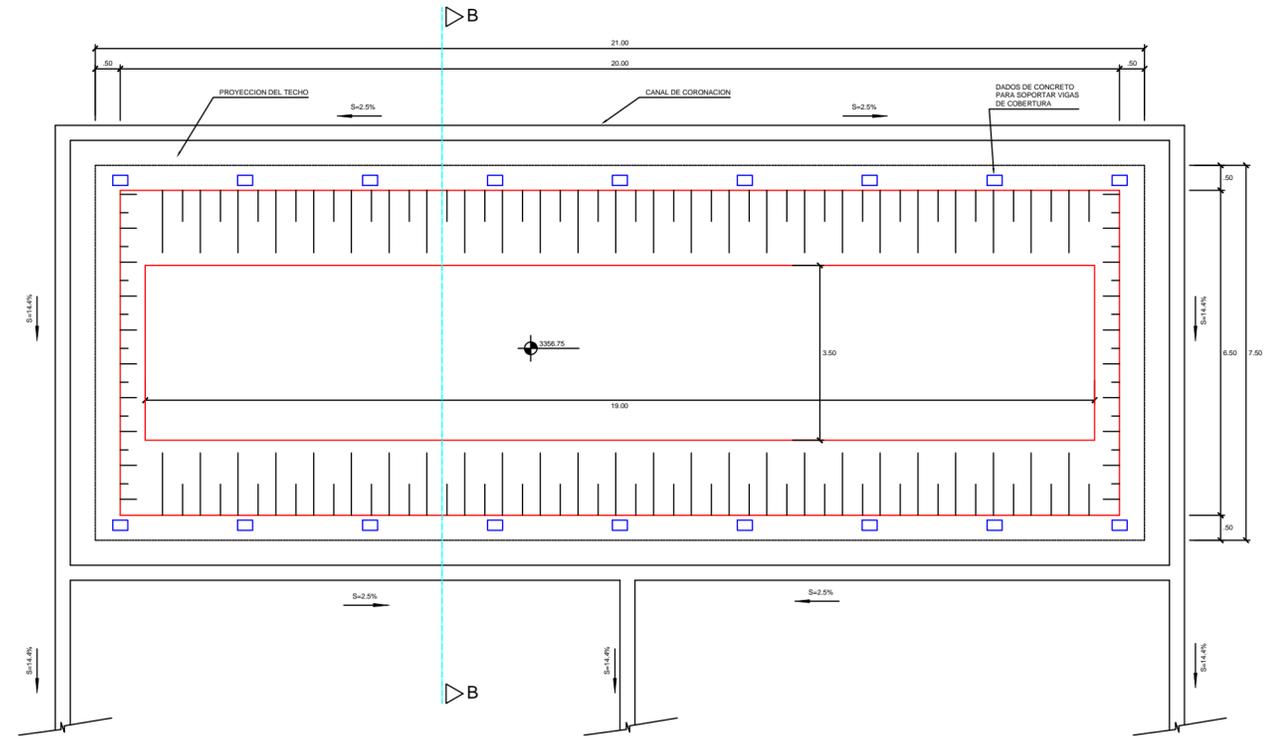


| COTA RASANTE | COTA TERRENO | KILOMETRAJE |
|--------------|--------------|-------------|
| | | 0+060 |
| | 3353.52 | |
| | | 0+079.6 |
| | 3357.64 | |
| | 3357.74 | 0+080 |
| | | 0+100 |
| | 3362.60 | |
| | 3364.40 | 0+107 |
| | | 0+114 |
| | 3366.20 | |
| | 3366.70 | 0+115.60 |
| | | 0+120 |
| | 3367.49 | |
| | | 0+136 |
| | 3370.10 | |
| | 3370.71 | 0+140 |
| | | 0+144 |
| | 3371.70 | |
| | | 0+160 |
| | 3375.87 | |
| | 3369.50 | 0+164 |
| | 3376.40 | |
| | 3377.00 | 0+167 |
| | 3377.20 | 0+168.40 |
| | | 0+180 |
| | 3379.12 | |
| | 3375.00 | 0+188 |
| | 3380.90 | |
| | 3382.80 | 0+196 |
| | 3387.60 | 0+200 |
| | | 0+220 |
| | | 0+060 |

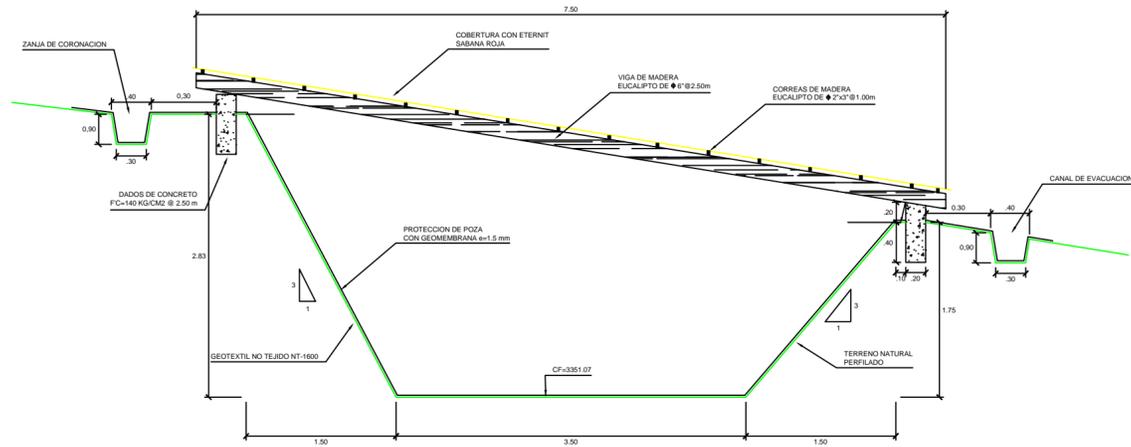
| | | | |
|---------------|---|--|------------------------------|
| | UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO | | |
| | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL | | |
| | TEMA: | DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS 2020 | ESCALA: 1/1000 |
| | PLANO: | CORTE A - A | FECHA: diciembre del 2020 |
| | AUTORES: | Bachiller: ALVAREZ RUIZ, WALTER ELOY | Plano N°: C-1 |
| ASESORES: | ING. GUIDO ROBERT MARIN CUBAS | | |
| Departamento: | CAJAMARCA | Distrito: JESUS | |



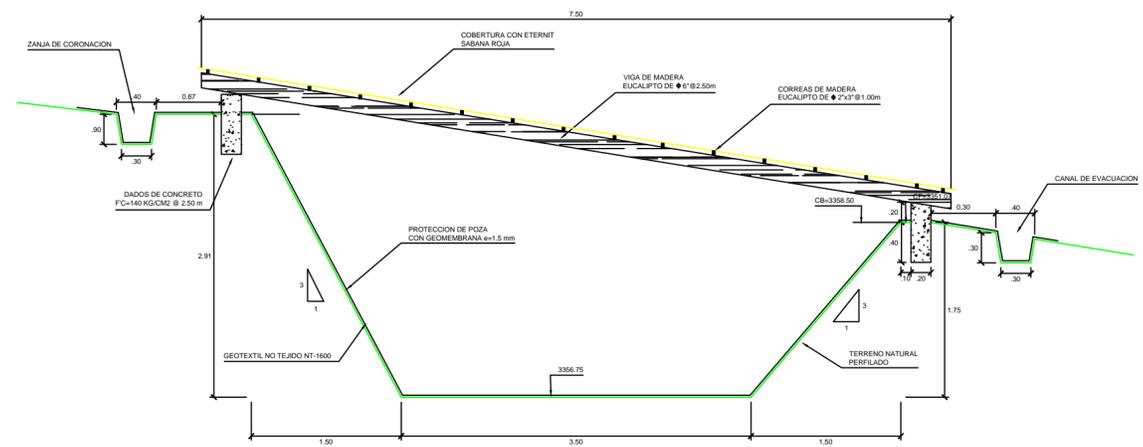
PLANTA DE POZA DE LIXIVIACION N° 1
(ESC. 1/50)



PLANTA DE POZA DE LIXIVIACION N° 2
(ESC. 1/50)



CORTE A - A
(ESC. 1/25)



CORTE B - B
(ESC. 1/25)

| | | |
|---|---|------------------------------|
|  | UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL | |
| | TESIS: DISEÑO Y APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE RESIDUOS SOLIDOS DE LA LOCALIDAD DE JESÚS 2020 | ESCALA: 1/100 |
| | PLANO: DETALLE DE ZANJAS DE CORONACION | FECHA: diciembre del 2020 |
| | AUTORES: Bachiller: ALVAREZ RUIZ, WALTER ELOY | Plano N°: DZC-1 |
| | ASESORES: /ING. GUIDO ROBERT MARIN CUBAS | |
| Departamento: CAJAMARCA | Provincia: CAJAMARCA | Distrito: JESÚS |