

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE
CONFORMIDAD ACREDITADO DE GEOTEXILES EN EL PERÚ**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Lía Masiel Díaz Calderón

ASESOR:

Augusto Martín Alza Vilela

Lima, octubre, 2022

Declaración jurada de autenticidad

Yo, Augusto Martín Alza Vilela, docente de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE CONFORMIDAD ACREDITADO DE GEOTEXTILES EN EL PERÚ

de la autora Lía Masiel Díaz Calderón, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 22%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 14/11/2022.
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 2 de diciembre de 2022.....

Apellidos y nombres del asesor: <u>Alza Vilela, Augusto Martín</u>	
DNI: 08703104	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3129-3227	

Resumen

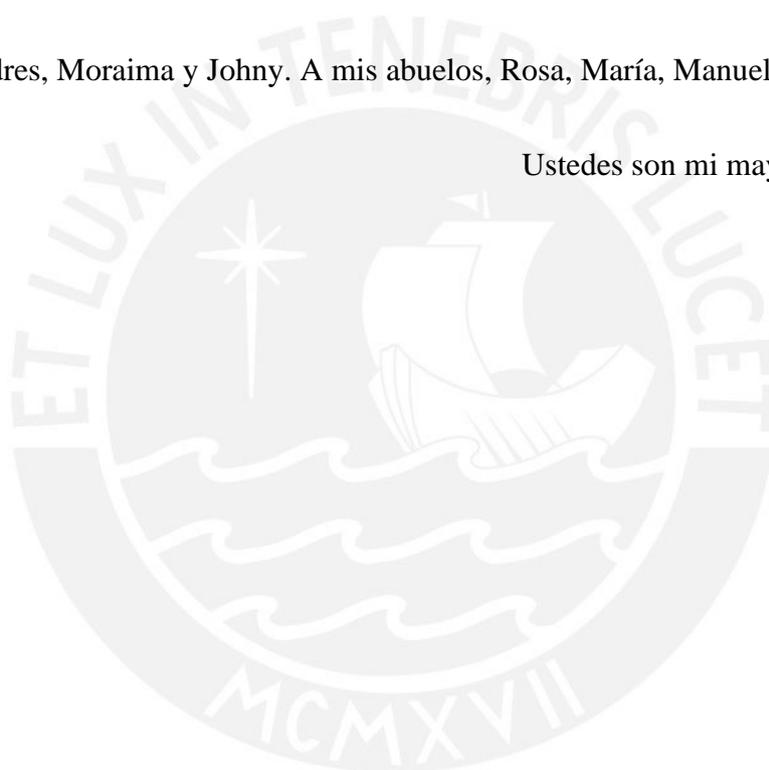
La presente tesis tiene como principal objetivo la implementación de un laboratorio de geotextiles acreditado (no fabricante) que realice los ensayos físicos, mecánicos e hidráulicos normados, para que, de esta manera, se pueda asegurar la calidad y cumplimiento según la norma ASTM de estos geosintéticos.

Para ello, es necesario definir y comparar las normas involucradas en el uso de los geotextiles para las aplicaciones ingenieriles. Existen dos normas que detallan esta información: la norma AASHTO M288 y la normativa peruana EG-2013. Una vez comparadas ambas normas, se seleccionan los ensayos que verifican las propiedades de los geotextiles para proceder a la postulación a la acreditación internacional GAI-LAP, la cual es regulada por el Instituto de Geosintéticos. También, en el presente documento se desarrolla un ejemplo de diseño comparativo entre una solución tradicional versus un diseño con el uso de geotextiles no tejidos para la función de separación de una vía pavimentada.

Se concluye que el compendio de una normativa peruana que abarque el diseño con geotextiles por especificación y función es necesaria, sobre todo, en los sectores viales, minería y geotecnia. Además, con el ejemplo de diseño descrito, se demuestra que con el uso de geotextiles no tejidos en la vía pavimentada se reducen espesores de material granular y se logran ahorros económicos de por lo menos el 2%. Finalmente, la propuesta de implementación de un laboratorio de geotextiles en la Pontificia Universidad Católica del Perú debe ir acompañada de la acreditación GAI-LAP, ya que de esta manera se garantiza la competencia técnica y confiabilidad de los organismos que postulan a la evaluación.

A mis padres, Moraima y Johny. A mis abuelos, Rosa, María, Manuel y Washington.

Ustedes son mi mayor inspiración.



ÍNDICE

Capítulo 1: Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo General	1
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Antecedentes	2
1.4 Metodología	3
Capítulo 2: Requerimientos Generales	6
2.1. Definiciones	6
2.1.1 American Association of State Highway and Transportation (AASHTO).....	6
2.1.2 Normas ASTM.....	6
2.1.3 Acreditación GAI-LAP	7
2.2 Norma AASHTO M288-06 (2011).....	8
2.2.1 Diseño por separación.....	8
2.2.2 Diseño por drenaje	9
2.2.3 Diseño de geotextiles en pavimentación.....	9
2.3 Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013	10
2.3.1 Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil.....	10
2.3.2 Subdrenes con geotextil y material granular para estructuras	11
2.3.3 Geotextil para pavimentación	11

Capítulo 3: Marco Teórico	12
3.1 Definiciones	12
3.1.1 Geosintéticos.....	12
3.1.2 Geotextiles	12
3.1.2.1 Geotextiles tejidos.....	13
3.1.2.2 Geotextiles no tejidos.....	14
3.2 Proceso de diseño.....	16
3.2.1 Proceso de diseño por costo y beneficio.....	16
3.2.2 Proceso de diseño por especificación	16
3.2.3 Proceso de diseño por función.....	17
3.3 Ensayos	17
3.3.1 Ensayos ASTM a los geotextiles	17
3.3.1.1 Ensayos mecánicos principales.....	18
3.3.1.1.1 ASTM D 4632: Método de prueba estándar para la carga de rotura por agarre y elongación de geotextiles	18
3.3.1.1.2 ASTM D 6241: Método de prueba estándar para resistencia a la perforación estática de geotextiles y productos relacionados con geotextiles utilizando un pistón de 50 mm.....	18
3.3.1.1.3 ASTM D 4533: Método de prueba estándar para resistencia al desgarro trapezoidal de geotextiles	19
3.3.1.2 Ensayos hidráulicos principales.....	20

3.3.1.2.1 ASTM D 4751: Métodos de prueba estándar para determinar el tamaño de abertura aparente de un geotextil	20
3.3.1.2.2 ASTM D 4491: Métodos de prueba estándar para la permeabilidad al agua de geotextiles por permisividad.....	20
3.3.1.3 Ensayos físicos principales	21
3.3.1.3.1 ASTM D 5261: Método de prueba estándar para medir la masa por unidad de área de geotextiles	21
3.3.1.3.2 ASTM D 4355: Método de prueba estándar para el deterioro de geotextiles por exposición a la luz, la humedad y el calor en un aparato de arco de xenón	21
Capítulo 4: Diseño con geotextiles y comparativa de las normas involucradas.....	22
4.1 Diseño comparativo de solución con geotextiles y solución tradicional	22
4.1.1 Diseño por especificación con geotextiles: Separación de capas granulares y subrasante con geotextiles no tejidos	25
4.1.1.1 Análisis técnico.....	25
4.1.1.2 Presupuesto	26
4.1.1.3 Impacto ambiental.....	27
4.1.1.4 Impacto social	27
4.1.2 Diseño tradicional: Construcción de vía pavimentada	28
4.1.2.1 Resumen de Metrado	28
4.1.2.1 Presupuesto	28
4.1.2.4 Impacto social	29
4.1.3 Comparativo de ambas soluciones y elección de diseño	29

□	Análisis técnico.....	32
□	Análisis económico.....	33
□	Procesos constructivos con geotextiles.....	33
	4.2 Comparativa de las normas involucradas.....	35
	4.2.1 Similitudes.....	35
	4.2.2 Diferencias.....	44
	4.2.3 Comparación con la nueva norma M288-17.....	46
	Capítulo 5: Propuesta de implementación de un laboratorio de aseguramiento de calidad de geotextiles en una empresa tercera (no fabricantes) en el Perú.....	52
	5.1 Propuesta de ubicación de laboratorio.....	52
	5.1.1 Metrado del lugar.....	53
	5.1.2 Búsqueda de implementos necesarios.....	54
	5.1.3 Costos de maquinaria e instalación.....	59
	5.1.4 Construcción de laboratorio.....	61
	5.2 Postulación a la acreditación GAI-LAP.....	62
	5.2.1 Elección de ensayos de laboratorio.....	64
	5.2.2 Acreditación anual.....	69
	Capítulo 6: Conclusiones y lecciones aprendidas.....	69
	6.1 Conclusiones.....	69
	6.2 Lecciones aprendidas.....	72

FIGURAS

Figura 1. Diseño comparativo de vía sin refuerzo y con refuerzo.....	4
Figura 2. Diagrama de flujo GAI-LAP.....	5
Figura 3. Laboratorio de Mecánica de Suelos	6
Figura 4. Sistema de drenaje con geotextiles no tejidos.....	9
Figura 5. Geotextil tejido.....	13
Figura 6. Microfotografía de geotextil tejido multifilamento	14
Figura 7. Geotextil no tejido punzonado por agujas.....	15
Figura 8. Microfotografía de geotextil tejido multifilamento	15
Figura 9. Ensayo Grab en geotextil tejido.....	18
Figura 10. Ensayo de punzonamiento CBR en geotextil no tejido.....	19
Figura 11. Ensayo trapecial a geotextil tejido.....	19
Figura 12. Ensayo de Tamaño de Abertura Aparente en geotextil no tejido.	20
Figura 13. Ensayo de permeabilidad en geotextil no tejido.	21
Figura 14. Mecanismos de falla entre capas granulares y finas.	30
Figura 15. Mecanismo de membrana.	31
Figura 16. Preparación del terreno.	33
Figura 17. Instalación de los geotextiles en obra.	34
Figura 18. Instalación de capa granular.....	35
Figura 19. Geotextil no tejido de drenaje	45
Figura 20. Geotextil de drenaje a lo largo.	45
Figura 21. Geotextil de drenaje forrado.	46

Figura 22. Ubicación del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la PUCP.....	53
Figura 23. Máquina de Ensayo de Tensión Instron 68SC-5.....	55
Figura 24. Equipo para ensayo de punzonamiento CBR.....	56
Figura 25. Permeámetro GE TE FLOW.....	57
Figura 26. Troqueladora.	57
Figura 27. RO-TAP.	58
Figura 28. Equipo de arco de Xenón.....	59
Figura 29. Área designada para colocar la maquinaria	61
Figura 30. Propuesta de distribución de la maquinaria a implementar.	62
Figura 31. Resultados del ensayo de tensión Grab.....	65
Figura 32. Geotextil de separación entre capas subrasante y granular.....	66
Figura 33. Comportamiento del geotextil al punzonamiento.....	66
Figura 34. Muestra del ensayo de masa por unidad de área a geotextil tejido	68

TABLAS

TABLA 1.....	23
<i>Sectores de la vía en estudio.</i>	23
TABLA 2.....	23
<i>Características del suelo en cada sector.</i>	23
TABLA 3.....	24
<i>Estructura final adoptada de acuerdo con la metodología AASTHO-1993</i>	24
TABLA 4.....	25
<i>Propiedades requeridas para geotextiles de separación.</i>	25
TABLA 5.....	26
<i>Presupuesto para la propuesta con geotextiles no tejidos</i>	26
TABLA 6.....	29
<i>Resumen del presupuesto para los materiales tradicionales</i>	29
TABLA 7.....	34
<i>Tipos de costuras a los geotextiles no tejidos.</i>	34
TABLA 8.....	37
<i>Clases de geotextiles no tejidos en valores MARV</i>	37
TABLA 9.....	38
<i>Requisitos para que los geotextiles cumplan la función de subdrenaje</i>	38
TABLA 10.....	39
<i>Requisitos para que los geotextiles cumplan la función de separación</i>	39
TABLA 11.....	40

<i>Requisitos para que los geotextiles cumplan la función de estabilización</i>	<i>40</i>
TABLA 12.....	41
<i>Control permanente de erosión con geotextiles</i>	<i>41</i>
TABLA 13.....	42
<i>Requisitos para función de defensa temporal</i>	<i>42</i>
TABLA 14.....	43
<i>Requisitos para función de pavimentación.....</i>	<i>43</i>
TABLA 15.....	48
<i>Requisitos de propiedades de resistencia del geotextil</i>	<i>48</i>
TABLA 16.....	48
<i>Clases del geotextil.....</i>	<i>48</i>
TABLA 17.....	49
<i>Requisitos de propiedades para separación de geotextiles.....</i>	<i>49</i>
TABLA 18.....	49
<i>Requisitos para grados de supervivencia en función a distintas condiciones</i>	<i>49</i>
TABLA 19.....	50
<i>Requisitos de propiedades para fabricación de pavimentos</i>	<i>50</i>
TABLA 20.....	51
<i>Requisitos de propiedades para reforzamiento con geosintéticos</i>	<i>51</i>
TABLA 21.....	51
<i>Mínima durabilidad del polímero para valor de RF D.....</i>	<i>51</i>

TABLA 22.....	51
<i>Agresividad de Ambiente para Valor de RF D.....</i>	<i>51</i>
TABLA 23.....	60
<i>Equipos, marcas y precios.....</i>	<i>60</i>



ANEXOS

ANEXO A: PLANO DE PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE GEOTEXTILES.....78

ANEXO B: RESUMEN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO Y ACREDITACIÓN GAI-LAP.....80



Capítulo 1: Generalidades

1.1 Introducción

Los geosintéticos, de acuerdo con la norma ASTM D4439 (2020), son materiales fabricados a partir de distintos polímeros. Gracias a su proceso de fabricación y propiedades adquiridas, son utilizados en contacto con el suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica. Cumplen diferentes funciones como la de separación, drenaje, refuerzo, filtración, control de erosión, entre otras.

Fundamentalmente, los geosintéticos son indispensables ya que interactúan con el suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica para mejorar las propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas de los proyectos de ingeniería. Cabe destacar que existen diferentes tipos de geosintéticos; sin embargo, los geotextiles no tejidos son uno de los más comunes y comercializados en el Perú. Estos se definen como telas permeables formadas por fibras o filamentos de polipropileno o poliéster de manera aleatoria.

El estudio de los geotextiles data de más de 85 años a nivel mundial. Su aplicación ha permitido mejorar el comportamiento de las diferentes estructuras civiles en diversos ámbitos (sector vial, infraestructura, minería, etc.). En concordancia a lo presentado, esta tesis tiene como objetivo el estudio y comparativa de los geotextiles en el país en base a la norma AASHTO M288-06 (2011) y el manual proporcionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones titulado “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Estudiar y comparar la normativa AASHTO M288 del año 2006 (revisión 2011) y normativa peruana de los geotextiles con el fin de proponer la implementación de un

laboratorio acreditado (no fabricante) que realice los ensayos físicos, mecánicos e hidráulicos establecidos que permitan el aseguramiento de calidad de estos geosintéticos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Describir e interpretar las normas que involucran las aplicaciones con geotextiles
- Identificar los ensayos de laboratorio involucrados en los geotextiles
- Demostrar el porqué se debe realizar un correcto control de calidad en laboratorio para los geotextiles mediante los estándares de acreditación GAI-LAP.
- Realizar un análisis comparativo entre una solución tradicional y una solución con geotextiles no tejidos que demuestre el ahorro económico, impacto ambiental positivo y mayor rendimiento en una obra civil existente
- Proponer los lineamientos para la implementación de un laboratorio de calidad de geotextiles en la Pontificia Universidad Católica del Perú

1.3 Antecedentes

En el Perú, la tecnología de los geosintéticos ha permitido que las obras ingenieriles tengan un mejor comportamiento a lo largo de su vida útil. Sin embargo, la ausencia de actualización normativa ha ocasionado que en muchos sectores de la ingeniería civil se desconozca la existencia de nuevas soluciones tales como los geotextiles, y que no se aprecien los beneficios que estos pueden aportar a un proyecto.

En relación con lo expuesto, para ampliar el conocimiento de esta tecnología innovadora, es fundamental que quienes deseen diseñar y construir con geotextiles tengan entendimiento de la normativa AASHTO M288, el Manual de Especificaciones Generales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), el control de calidad de los geotextiles y los estándares internacionales de acreditación GAI-LAP de laboratorio para los geosintéticos.

Respecto a los dos primeros términos, la norma peruana es un resumen de lo especificado por la norma AASHTO M288. Como consecuencia, las realidades en el país no pueden ser determinadas por estándares internacionales y deben ser adaptadas a los comportamientos que han tenido las obras civiles con geotextiles hasta el momento.

Por otra parte, en el aspecto de calidad, un correcto control de fabricación garantizará que la solución o estructura civil cumpla con los estándares necesarios. Sin embargo, para lograr esto, es necesaria no solo la existencia de una planta y laboratorio del fabricante que asegure la calidad de dichos geotextiles, sino también la implementación de un laboratorio externo que compruebe los valores de los ensayos físicos, mecánicos e hidráulicos para que se genere una mayor confianza en el sector de ingeniería civil en la decisión de optar por un diseño con geotextiles.

1.4 Metodología

En primer lugar, se definió qué son los geosintéticos y los geotextiles, para de esta manera, comprender cómo surgieron como soluciones alternativas a las tradicionales. También, se especificó su origen, proceso de fabricación, aplicaciones y los beneficios que este tipo de geosintético tiene. Con la información recopilada se identificó el principal motivo por el cual se debe diseñar y construir con geotextiles en el Perú.

En segundo lugar, se listaron y definieron los principales ensayos ASTM que se realizan a los geotextiles para simular su comportamiento físico, mecánico e hidráulico real en un proyecto u obra.

En tercer lugar, se realizó un diseño comparativo entre una solución tradicional de diseño de una vía pavimentada y un diseño con el uso de geotextiles no tejidos para la misma aplicación. La comparativa se desarrolló para un diseño existente de una vía pavimentada

sin refuerzo y una vía pavimentada con geotextiles no tejidos para la función de separación. En la Figura 1, se visualiza el esquema de ambas soluciones.

Con los resultados obtenidos, se presentaron los beneficios económicos, sociales y ambientales de optar por una solución con geosintéticos.



Figura 1. Diseño comparativo de vía sin refuerzo y con refuerzo

Tomado de "Manual de Diseño con Geosintéticos", por Pavco Wavin, 2012

En cuarto lugar, se compararon las normas AASHTO M288-06 (2011) y normativa peruana con el fin de evaluar las similitudes y diferencias entre ambas, y se concluyó si estas involucran las condiciones de construcción reales en el Perú. Adicionalmente, se realizó una comparativa de la norma AASHTO M288 del año 2017 que incluye nuevas aplicaciones, valores y tipos de geosintéticos para el diseño por especificación.

En quinto lugar, se analizó la acreditación a los laboratorios que regulan los estándares internacionales de calidad de los geosintéticos, es decir la acreditación GAI-LAP. Se describieron los requisitos necesarios, los cuales se resumen en la Figura 1, para que un laboratorio postule a esta acreditación y se sustentó la importancia que tiene un laboratorio de este tipo.

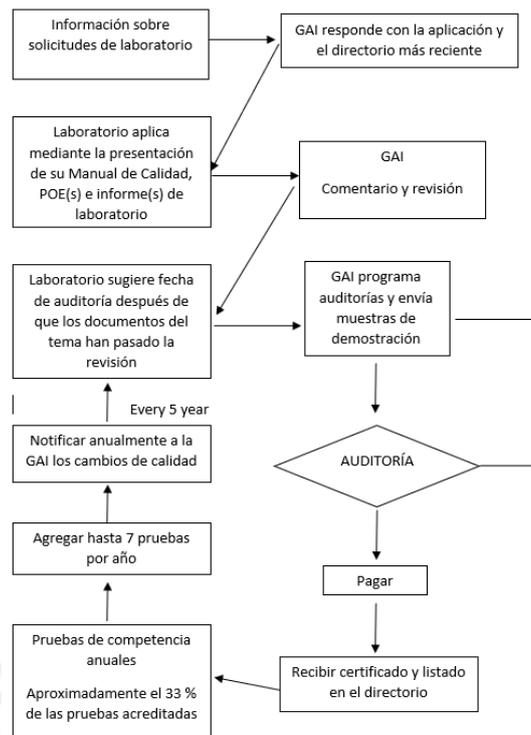


Figura 2. Diagrama de flujo GAI-LAP

Tomado de "Geosynthetic Institute", 2021

Finalmente, se desarrolló la propuesta de implementación de un laboratorio de aseguramiento de calidad de geotextiles en una empresa tercera (no fabricante) en el Perú. Para ello, se realizó una visita técnica al único laboratorio de geotextiles acreditado en nuestro país. Este laboratorio pertenece al fabricante Pavco Wavin. Esta visita tuvo como finalidad la obtención de información necesaria tales como costos de maquinaria, construcción de laboratorio, metrado, distribución de ambientes y capacitación del personal. También, se obtuvieron los planos del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Pontificia Universidad Católica del Perú para desarrollar la propuesta de implementación del laboratorio de aseguramiento de calidad de geotextiles en esta área. A continuación, en la Figura 3, se muestra una fotografía del laboratorio existente para la propuesta de implementación de equipo para los ensayos a los geotextiles:



Figura 3. Laboratorio de Mecánica de Suelos

Tomado de "Innova PUCP", por Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021

Capítulo 2: Requerimientos Generales

2.1. Definiciones

2.1.1 American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)

La American Association of State Highway and Transportation Officials es una entidad que establece normas en los Estados Unidos con respecto a todo sistema de transporte en el país. Además, publica lineamientos generales para los diferentes elementos usados en el diseño y construcción de autopistas. Por último, publica especificaciones y describe el proceso constructivo a realizar, así mismo, señala los requisitos mínimos que ciertos componentes requieren para asegurar la durabilidad y funcionamiento de la obra ingenieril en cuestión. Cabe resaltar que esta entidad está conformada por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, así como de Puerto Rico y del Distrito de Columbia.

2.1.2 Normas ASTM

La American Society for Testing and Materials (ASTM) es una organización internacional de desarrollo de diversas normas. Esta organización se fundó en 1898 y reúne a productores, usuarios y consumidores alrededor del mundo para crear normas voluntarias de consenso.

Las normas de ASTM se establecen gracias a un procedimiento que adopta los principios del Convenio de barreras técnicas al comercio de la Organización Mundial del Comercio. Debido a que abarcan diversas áreas como los geosintéticos, petróleo, construcción, medio ambiente, entre otros, son utilizadas en investigaciones y proyectos de desarrollo, procesos de calidad y aceptación de productos.

2.1.3 Acreditación GAI-LAP

GAI-LAP es un programa de acreditación de laboratorios de ensayos a geosintéticos para realizar métodos de ensayo normalizados por consenso en lo que respecta al equipo, la documentación y el protocolo de ensayo.

Se basa en auditorías anuales del sitio y pruebas de aptitud dirigidas por el Instituto de Geosintéticos (GSI). Se divide en el programa GAI que enmarca los programas de acreditación alrededor de los siguientes tres estándares internacionales conocidos: ISO 9000 Requisitos de los Sistemas de Gestión de la Calidad, ISO 17025 Requisitos Generales de Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración e ISO 17011 Evaluación de la Conformidad - Requisitos Generales Aplicables a los Organismos de Acreditación que Acreditan a los Organismos de Evaluación de la Conformidad, y el programa LAP que se encarga de evitar errores e inexactitudes mediante la utilización de un plan y procedimientos aprobados.

En conjunto, esta acreditación tiene un doble efecto en los ensayos geosintéticos. En primer lugar, verifica que los laboratorios de geosintéticos estén equipados y preparados para realizar las pruebas respectivas. En segundo lugar, descarta a los laboratorios que no están equipados para realizar pruebas específicas. Además, los laboratorios deben contar con un Manual de Calidad, escribir procedimientos operativos estándar específicos para cada ensayo

y preparar informes de ensayo para cada método de ensayo para el que se desea la acreditación anual.

2.2 Norma AASHTO M288-06 (2011)

La Norma AASHTO M288 del año 2006, revisión 2011, describe el diseño por especificación para los geotextiles en las funciones de drenajes superficiales, separación, estabilización, control de erosión, barreras temporales contra sedimentos y repavimentación. Se basa en la supervivencia de los geotextiles por los esfuerzos de instalación.

Esta especificación establece un conjunto de propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas que deben ser cumplidas o superadas por el geotextil. Si bien garantiza calidad en el rendimiento de los geotextiles seleccionados, se debe considerar que no se realiza un diseño detallado para un proyecto en específico, sino para aplicaciones en general. En la presente tesis se estudian tres de las aplicaciones para los geotextiles: separación, drenaje y pavimentación.

2.2.1 Diseño por separación

En el diseño por separación se utiliza el geotextil con el objetivo de prevenir la mezcla entre las capas subrasante y granular (subbase, base, capa asfáltica, etc.). Es decir, se aplica cuando se busca separar dos materiales diferentes donde la filtración del agua no es una función crítica. Esta aplicación se recomienda en vías donde el CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante sea mayor o igual a 3%, ya que se asume que la deformación de la subrasante no generará esfuerzos significativos de tensión en el geotextil. En resumen, se requiere un geotextil que impida la migración de partículas entre dos tipos de suelo y el lavado de finos pero que a su vez permita el paso del agua.

2.2.2 Diseño por drenaje

El diseño por drenaje se aplica cuando se coloca un geotextil en el suelo deseado para permitir el paso o filtración de agua hacia un sistema de drenaje subterráneo que retiene el suelo in situ a largo plazo.

Un sistema de drenaje está compuesto por un medio filtrante y un medio drenante. El medio filtrante es el geotextil que será capaz de retener el suelo y permitir el libre paso del agua. El medio drenante es un medio poroso natural o sintético que se encarga de transportar el agua que pasa a través del filtro. En la Figura 4 se muestra el sistema de drenaje con geotextiles no tejidos:

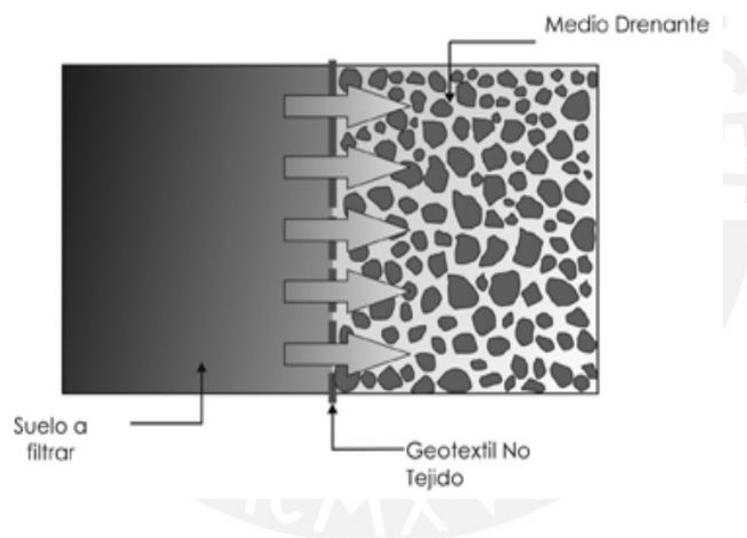


Figura 4. Sistema de drenaje con geotextiles no tejidos.

Tomado de "Manual de Diseño con Geosintéticos", por Pavco Wavin, 2012

2.2.3 Diseño de geotextiles en pavimentación

El diseño para pavimentación involucra al uso de geotextiles entre las capas de pavimento saturado con cemento asfáltico. Estos geotextiles cumplirán la función de alivio de tensión dentro de la estructura del pavimento. Los geotextiles no tejidos permitirán reducir la aparición de grietas y los fenómenos de ahuellamiento en vías. Esta especificación no

incluye el diseño de los sistemas de membranas para juntas de pavimento y reparaciones localizadas.

La función de membrana impermeabilizante impedirá que se infiltre agua superficial que entre las capas granular y subrasante y, por otro lado, evitará el incremento de presiones de poros que afectan la vida útil de las vías.

La función de membrana de alivio de tensión en la aplicación de repavimentación evitará los agrietamientos por reflexión, debido a que el geotextil no tejido suministrará una capa flexible que absorberá un porcentaje de los esfuerzos entre la capa de pavimento antiguo y la nueva capa.

2.3 Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

Este manual forma parte de los manuales de carreteras que brinda el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Tiene como finalidad promover la uniformidad y consistencia de las partidas y materiales que son habituales en proyectos y obras viales.

La presente tesis se enfoca en los Capítulos 4 (Sección 414) y 5 (Sección 511 y Sección 513). Estos capítulos definen los requerimientos generales para las funciones de separación, drenaje y repavimentación con geotextiles.

2.3.1 Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil

La función o aplicación de separación de capas con el uso de geotextiles consiste en la colocación de un geotextil y una capa de material granular sobre una superficie de suelo con el objetivo de evitar efectos de contaminación en el proyecto.

Los geotextiles utilizados para este trabajo deberán satisfacer los requerimientos del proyecto y los requisitos mínimos establecidos por la EG-2013. Estos requisitos

corresponden a condiciones normales de instalación y dependen de otros factores como tipo de geotextil, la clase a la que este pertenece y la presión del equipo contra el suelo.

2.3.2 Subdrenes con geotextil y material granular para estructuras

Esta aplicación consiste en la construcción de filtros para subdrenaje con geotextiles que cumplirán la función de filtro y material drenante natural. Se utilizarán geotextiles tejidos o no tejidos que cumplan con los requisitos hidráulicos mínimos establecidos en la EG-2013. La elección dependerá del suelo a drenar y la capacidad para dejar pasar el agua a lo largo del tiempo. También, indica que es importante que la granulometría del material drenante esté entre los tamices 3/8" y 1" y que, en caso, se instalen tuberías perforadas, estas sean capaces de resistir las cargas de construcción y sobrecargas.

2.3.3 Geotextil para pavimentación

Esta aplicación consiste en el uso de geotextiles para ser colocado entre las capas de pavimento antigua y la capa de pavimento nueva con el objetivo de evitar la formación de grietas en las nuevas capas asfálticas, así mismo, este busca impedir la filtración de agua al suelo.

El geotextil solicitado para esta aplicación es un no tejido de fibras cortas o largas y punzonado por agujas, de preferencia de polipropileno. La EG-2013, adicionalmente, presenta los requerimientos para el riego de liga.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Definiciones

3.1.1 Geosintéticos

Los geosintéticos son materiales fabricados a partir de distintos polímeros y/o fibras naturales. Gracias a su proceso de fabricación y propiedades adquiridas, son utilizados en contacto con el suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica.

Se utilizan en distintos campos como las obras viales, geotécnicas, hidráulicas, aplicaciones ambientales, entre otros. En cada uno de estos proyectos, cumplen diferentes funciones como la de separación, drenaje, refuerzo, filtración, control de erosión, entre otras.

3.1.2 Geotextiles

El geotextil es una tela porosa, laminar y flexible que es elaborado a partir de fibras sintéticas, cortas o largas, hechas principalmente de polipropileno y/o de poliéster, estas fibras presentan un enlace mecánico o químico entre ellas, lo cual permite que los geotextiles tengan propiedades mecánicas e hidráulicas útiles para las obras ingenieriles, estas propiedades abarcan la resistencia mecánica al punzonamiento o perforación y a la tracción, así como su capacidad de filtración o drenaje.

Estos se pueden fabricar de forma tejida (woven) o no tejida (non woven) dependiendo del uso que se le vaya a dar en obra o dependiendo de los requisitos que requiere algún proyecto. De igual forma, estos están reglamentados por la AASHTO y deben cumplir con los estándares que esta exige para asegurar su funcionalidad y durabilidad en el proyecto a elaborar.

Los geotextiles cumplen diversas funciones en proyectos ingenieriles tales como separación de suelos para evitar efectos de contaminación, drenaje del agua para redirigirla

hacia un sistema de drenaje, repavimentación de vías para evitar la filtración de agua y para evitar grietas en la nueva vía pavimentada, control de erosión en suelos, etc.

3.1.2.1 Geotextiles tejidos

Son estructuras planas y regulares producidas a través del entrelazamiento, generalmente en ángulos rectos, de dos o más juegos de hilos en dos direcciones preferenciales, que constituyen así los hilos de urdidura (paralelos al sentido de producción) y los hilos de la trama (perpendiculares a los hilos de urdidura). En la Figura 5 se visualiza un ejemplo de geotextil tejido de polipropileno:

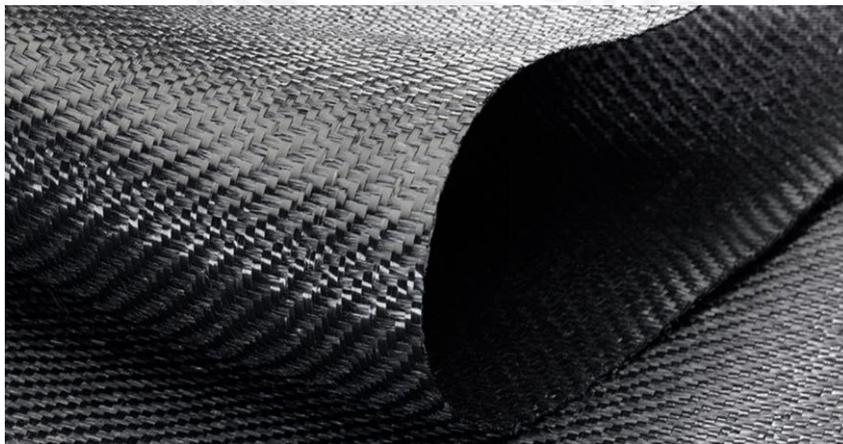


Figura 5. Geotextil tejido.

Tomado de Huesker, 2021

- Fabricación: Los geotextiles tejidos se elaboran con polipropileno virgen o poliéster, donde se entrelazan sus fibras entre sí en ángulos perpendiculares, como lo detalla la Figura 6:



Figura 6. Microfotografía de geotextil tejido multifilamento

Tomado de "Diseño con Geosintéticos", por Robert Koerner, 2005

- **Materia Prima:** Los geotextiles tejidos están compuestos de fibras poliméricas elaboradas de polipropileno o poliéster.
- **Clasificación:** Los geotextiles tejidos pueden distinguirse en función de la sección de las fibras (Geotextiles tejidos de tipo monofilamento, geotextiles tejidos multifilamento y geotextiles tejidos del tipo "bandalette" - cintas achatadas)

3.1.2.2 Geotextiles no tejidos

Los geotextiles no tejidos (non woven) son un tipo de geotextil que se caracteriza por ser materiales planos y permeables que tienen como principal función la filtración y el drenaje; sin embargo, también se utilizan para la separación de suelos, estabilización de suelos y control de erosión en suelos. En la Figura 7 se muestra un geotextil no tejido de polipropileno punzonado por agujas:



Figura 7. Geotextil no tejido punzonado por agujas.

Tomado de Huesker, 2021

- Fabricación: Los geotextiles no tejidos se elaboran con polipropileno virgen o poliéster, donde se entrelazan sus fibras entre sí, de manera aleatoria, como se visualiza en la Figura 8, por medios químicos, mecánicos, por aplicación de calor o por una combinación de métodos.

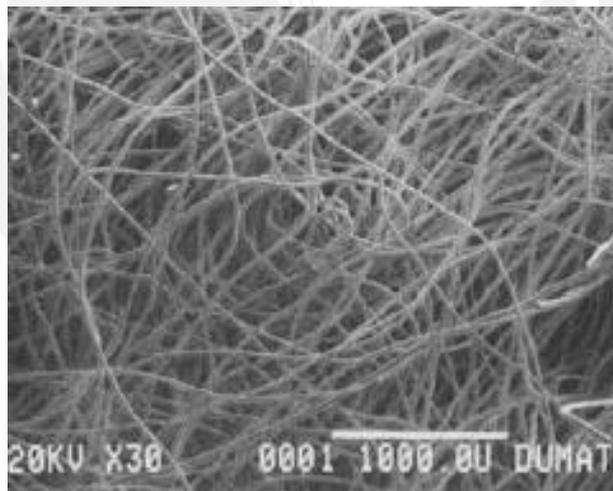


Figura 8. Microfotografía de geotextil tejido multifilamento

Tomado de "Diseño con Geosintéticos", por Robert Koerner, 2005

- Materia prima: Los geotextiles no tejidos están compuestos de fibras poliméricas termoplásticas cortas o largas, las cuales son elaboradas de polipropileno o poliéster

- Clasificación: De acuerdo con su forma de fabricación, los geotextiles no tejidos pueden clasificarse en geotextiles punzonados por agujas, geotextiles no tejidos termosoldados y geotextiles no tejidos ligados químicamente

3.2 Proceso de diseño

Para la elección de uno o más geosintéticos (en este caso geotextiles) en una aplicación ingenieril, existen tres procesos utilizados en la actualidad. Sin embargo, actualmente solo se recomienda el diseño por especificación y el diseño por función ya que consideran requerimientos mínimos para cada tipo de proyecto (infraestructura, minería, vial, etc.).

3.2.1 Proceso de diseño por costo y beneficio

Este proceso de diseño se basa en un método empírico. Involucra el costo y disponibilidad de cada tipo de geosintético. Para su elección, se prioriza el menor costo y geosintético más común de acuerdo con el país en el que se encuentre el proyecto. Sin embargo, no involucra un diseño técnico según las condiciones de cada proyecto y a consecuencia de ello, podría generar riesgos en la operación, funcionamiento y vida útil de las obras. Este método no es recomendable en la actualidad.

3.2.2 Proceso de diseño por especificación

Este método consiste en determinar el material que cumpla con las propiedades mínimas requeridas en un proyecto determinado según la aplicación de dicho material. En el caso de los geotextiles, las especificaciones están dadas por la norma AASHTO M288-06 y estas se deben cumplir para elaborar correctamente un diseño con geotextiles en vías. Los criterios que se toman en cuenta en este tipo de diseño fueron acordados por la AASHTO y el comité TASK FORCE #25.

Las aplicaciones que se describen en el diseño por función de los geotextiles (AASHTO M288-06 revisión 2011) son la función de separación, estabilización, drenaje,

filtración, control de erosión temporal y permanente, y pavimentación. Las propiedades de los geosintéticos en el diseño por función deben ser valores mínimos promedio por rollos, y estos valores, los debe garantizar el fabricante acreditado.

3.2.3 Proceso de diseño por función

Este método consiste en evaluar y definir la función o funciones principales para la cual se especifica el geosintético (separación, refuerzo, drenaje, filtración, entre otros). Una vez obtenida la función principal, se calculan los valores numéricos de la propiedad requerida.

En primer lugar, se debe calcular el valor numérico requerido de la propiedad referida a la función principal. En segundo lugar, se debe obtener el valor permisible de dicha propiedad para un determinado geosintético. Finalmente, se debe encontrar el factor de seguridad que es igual a la división entre el valor permisible entre el valor requerido. Esta división debe ser mayor a uno. Este diseño involucra también al proceso de fabricación controlado mediante estándares de calidad y al correcto proceso de instalación en obra.

3.3 Ensayos

Existen diversos ensayos que se realizan a los geosintéticos. La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) es la encargada de desarrollar y publicar acuerdos voluntarios de normas técnicas en estas soluciones y actualizarlas constantemente.

3.3.1 Ensayos ASTM a los geotextiles

Los ensayos realizados a los geotextiles evalúan sus propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas para que estos cumplan las funciones de separación, drenaje, filtro y protección.

3.3.1.1 Ensayos mecánicos principales

3.3.1.1.1 ASTM D 4632: Método de prueba estándar para la carga de rotura por agarre y elongación de geotextiles

Este método permite determinar la carga de rotura de agarre (Grab) y la elongación de geotextiles. De igual forma, este ensayo se utiliza para hallar la “fuerza efectiva de fábrica” del geotextil. Cabe resaltar que los valores mínimos exigidos por la norma varían dependiendo del tipo de geotextil y de su clase. En la Figura 9, se visualiza el inicio y final (rotura) del ensayo Grab a un geotextil tejido:



Figura 9. Ensayo Grab en geotextil tejido.

Tomado de Instron, 2022

3.3.1.1.2 ASTM D 6241: Método de prueba estándar para resistencia a la perforación estática de geotextiles y productos relacionados con geotextiles utilizando un pistón de 50 mm

Este método consiste en aplicar presión al geotextil mediante una sonda para hallar la fuerza requerida para punzar un geotextil. Corresponde a una propiedad índice y de igual forma, dependiendo del tipo de geotextil y su clase variarán los valores mínimos exigidos por la norma. En la Figura 10 se muestra el equipo requerido para realizar el ensayo ASTM D 6241 a un geotextil no tejido:



Figura 10. Ensayo de punzonamiento CBR en geotextil no tejido.

Tomado del Laboratorio de Pavco Wavin Perú, 2020

3.3.1.1.3 ASTM D 4533: Método de prueba estándar para resistencia al desgarro trapezoidal de geotextiles

Este método permite determinar la fuerza requerida para continuar o propagar un rasgado en geotextiles tejidos y no tejidos por el método trapezoidal. Corresponde a una propiedad índice y no ofrece la información suficiente para considerarse un criterio de diseño en todas las aplicaciones de geotextiles. La resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles tejidos es determinada por las propiedades de las cintas o elementos que los constituyen, los cuales están sujetos por las mordazas, como las que se visualizan el a Figura 11.



Figura 11. Ensayo trapezoidal a geotextil tejido.

Tomado de Instron, 2022

3.3.1.2 Ensayos hidráulicos principales

3.3.1.2.1 ASTM D 4751: Métodos de prueba estándar para determinar el tamaño de abertura aparente de un geotextil

Este método consiste en usar un geotextil como un medio para retener partículas de suelo del suelo adyacente a este. Existen dos métodos para este ensayo, los cuales son el método A y el método B. En el caso del método A se utiliza el tamizado en seco de perlas de vidrio a través del geotextil, mientras que en el método B se utiliza un parámetro capilar. La Figura 12 muestra las partículas de vidrio que se retienen en el tamiz, en el cual se encuentra el geotextil no tejido:

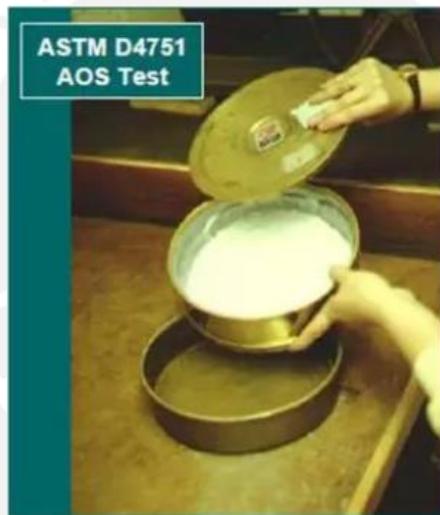


Figura 12. Ensayo de Tamaño de Abertura Aparente en geotextil no tejido.

Tomado de Diccionario Geotecnia, 2021

3.3.1.2.2 ASTM D 4491: Métodos de prueba estándar para la permeabilidad al agua de geotextiles por permisividad

Este método de ensayo 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. En la Figura 13 se muestra una fotografía de la prueba tomada a un geotextil no tejido.



Figura 13. Ensayo de permeabilidad en geotextil no tejido.

Tomado del Laboratorio de Pavco Wavin Perú, 2020

3.3.1.3 Ensayos físicos principales

3.3.1.3.1 ASTM D 5261: Método de prueba estándar para medir la masa por unidad de área de geotextiles

Este ensayo se utiliza como método de control de calidad, ya que permite determinar la conformidad de la muestra al cumplir las especificaciones de masa por unidad de área. Se debe comparar la masa por unidad de área del geotextil entregado y la masa especificada por unidad de área establecida por la norma.

3.3.1.3.2 ASTM D 4355: Método de prueba estándar para el deterioro de geotextiles por exposición a la luz, la humedad y el calor en un aparato de arco de xenón

Este método consiste en la evaluación de la disminución de la resistencia a la tensión de los geotextiles expuestos a los rayos ultravioleta. Emplea como fuente de luz un arco de xenón. La radiación cambia según el tiempo de exposición, el ángulo de inclinación sobre el horizonte, condiciones topográficas, atmosféricas y la geografía del lugar. Sin embargo, el

ensayo que usa el arco de Xenón no simula todas estas variables, por ello, se debe relacionar directamente este ensayo con la luz artificial.

Evalúa geotextiles bajo condiciones normalizadas de humedad y temperatura para tres diferentes periodos de tiempo junto con probetas sin exposición a la luz ultravioleta. Este método de ensayo permite al usuario desarrollar curvas de degradación de los geotextiles que se estén ensayando.

Capítulo 4: Diseño con geotextiles y comparativa de las normas involucradas

4.1 Diseño comparativo de solución con geotextiles y solución tradicional

Uno de los objetivos de la presente tesis es realizar un diseño comparativo entre una vía existente con el uso de geotextiles y la misma vía con el uso de materiales tradicionales. Para desarrollar este capítulo se tomó como ejemplo un estudio que se realizó a un tramo de la carretera Ayacucho-Abancay ubicado entre Andahuaylas y el desvío Kishuara (Sicha, 2018).

Este proyecto se ubica en la provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. Consta de una longitud total de 53.20 km. Esta carretera consta de bermas de 0.50 metros a ambos lados y cunetas triangulares en zonas rurales y rectangulares en zonas urbanas. El ancho de la superficie de rodadura es de 6 metros (con 2 carriles: uno en cada sentido). Ambos diseños se plantearon para un tiempo de vida de 10 años.

Por otro lado, la velocidad directriz empleada para el diseño fue de 40 km/h y el radio mínimo de 25 metros. La pendiente de la carretera oscilaba entre 0.50% y 7.00%. La empresa a cargo del proyecto dividió la vía en seis sectores de estudio para determinar el perfil estratigráfico y CBR. Las Tablas 1 y 2 muestran el detalle por sector:

TABLA 1.

Sectores de la vía en estudio.

SECTOR	INICIO	TÉRMINO	LONGITUD (km)
I	km 256+500	km 261+500	5.00
II	km 261+500	km 268+500	7.00
III	km 268+500	km 277+500	9.00
IV	km 277+500	km 295+500	18.00
V	km 295+500	km 303+500	8.00
VI	km 303+500	km 310+750	7.25

Nota: Tomado de “Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles”, por Gino Sicha ,2018

TABLA 2.

Características del suelo en cada sector.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO			
SECTOR	0.00 m a 0.20 m	0.20 m a 0.70 m	0.70 m a 1.50 m
I	Granulares transportados de canteras de talud existentes en la vía. Suelos arenosos de baja plasticidad.	Limos arcillosos, con una densificación media a baja. CBR promedio igual a 5.6 %.	Limos arcillosos de baja plasticidad, con densificación media a baja
II	Arcillas de mediana y alta plasticidad. Limos de mediana plasticidad	Limos de mediana y alta plasticidad, arcillas de mediana a alta plasticidad. CBR promedio igual a 3.4 %.	Limos arcillosos de media a alta plasticidad, con densidad media a baja.
III	Arcillas de mediana y alta plasticidad. Limos de mediana plasticidad.	Limos de media a alta plasticidad. Arcillas de media a alta plasticidad. CBR promedio igual a 10.1 %.	Limos arcillosos de media a alta plasticidad, con densificación media a baja.
IV	Gravas y arenas limosas de baja a media plasticidad, con densidad media y con bajo contenido de humedad.	Arcillas de mediana a alta plasticidad, con presencia de suelos muy blandos y medianamente densos. CBR promedio igual a 3.8 %.	Limos arcillosos de media a alta plasticidad, con densificación media a baja.
V	Arenas limosas con gravas limosas de media a baja plasticidad, con densidades in-situ media y contenido de humedad bajos.	Arenas limosas y gravas limosas de baja y mediana plasticidad, con presencia de suelos duros y medianamente densos. CBR promedio igual a 10.2 %.	Arenas limosas y gravas limosas.
VI	Gravas limosas de baja plasticidad, con contenidos de humedad bajos y medianamente densos.	Limos de baja plasticidad y arcillas de mediana a alta plasticidad. CBR promedio igual a 13.4 %.	Arenas limosas, gravas limosas, limos de mediana a alta plasticidad, medianamente densos.

Nota: Tomado de “Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles”, por Gino Sicha ,2018

Además, para el cálculo del número estructural y ejes equivalentes de la vía con y sin geotextiles se consideraron los siguientes parámetros:

- Confiabilidad: 90%
- Desviación global = 0.45 (Pavimentos flexibles y construcciones nuevas)
- Índice de serviciabilidad inicial = 4.2 (Bueno)
- Índice de serviciabilidad final = 2

La estructura final diseñada de acuerdo con la metodología AASHTO-1993, es la que se presenta en la Tabla 3:

TABLA 3.

Estructura final adoptada de acuerdo con la metodología AASTHO-1993

SECTOR	Carpeta asfáltica (D1)	Base granular (D2)	Subbase granular (D3)	LONGITUD (km)	Ancho vía (m)
I	2.4 pulg (0.06 m)	8 pulg (0.2 m)	8 pulg (0.2 m)	5.00	6.00
II	2.4 pulg (0.06 m)	6 pulg (0.15 m)	7 pulg (0.175 m)	7.00	6.00
III	2.4 pulg (0.06 m)	6 pulg (0.15 m)	6 pulg (0.15 m)	9.00	6.00
IV	2.4 pulg (0.06 m)	6 pulg (0.15 m)	6 pulg (0.15 m)	18.00	6.00
V	2.4 pulg (0.06 m)	6 pulg (0.15 m)	6 pulg (0.15 m)	8.00	6.00
VI	2.4 pulg (0.06 m)	6 pulg (0.15 m)	6 pulg (0.15 m)	7.25	6.00

Nota: Tomado de “Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles”, por Gino Sicha ,2018

La comparación entre el diseño tradicional y el diseño con geosintéticos consiste en el análisis de dos escenarios independientes: variación de serviciabilidad y ahorro económico.

4.1.1 Diseño por especificación con geotextiles: Separación de capas granulares y subrasante con geotextiles no tejidos

Este diseño consiste en la inclusión de geotextiles no tejidos para la función de separación de capas granulares y subrasantes. La metodología se basa en lo expuesto por la AASHTO M288-06 (2011) y se debe cumplir que el suelo de subrasante presente un CBR mayor o igual a 3% en condición no saturada.

Según los datos recolectados, todos los tramos evaluados presentan un CBR de subrasante mayor al 3%, es decir, la deformación del suelo de subrasante no generará grandes esfuerzos a la vía. Los geotextiles no tejidos diseñados por especificación según la norma AASHTO deben cumplir los requerimientos en valores MARV que presenta Tabla 4:

TABLA 4.

Propiedades requeridas para geotextiles de separación.

Elongación del geotextil			> 50%
Clase del geotextil			Clase 2
Equipo de Presión de Tierra Media (Entre 25 y 50 kPa)			
Ensayo	Norma	Unidades	
Tensión Grab	ASTM D4632	N	700
Resistencia a la costura	ASTM D4632	N	630
Resistencia al rasgado	ASTM D4533	N	250
Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D6241	N	1375
Permitividad	ASTM D4491	s-1	0.02
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm	0.60 (valor máximo)
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D4355	%	50% luego de 500 h de exposición

Nota: Tomado de “Norma AASHTO M288-06”, 2011

4.1.1.1 Análisis técnico

El análisis técnico consiste en la colocación de tres capas (carpeta asfáltica, base granular y subbase granular) y la instalación de geotextiles no tejidos clase 2 entre la subbase granular y subrasante, Para esta evaluación, el espesor de la subbase granular se mantiene a lo largo de su vida útil (D3=8 pulg):

- Cálculo del número estructural:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

$$SN = 1.37 + 1.12 + 0.88$$

$$SN = 3.37$$

- Valor W18 para pavimento con geotextil:

$$W18c = 2312732 \text{ ESAL's}$$

4.1.1.2 Presupuesto

Para realizar el presupuesto se consideraron los siguientes precios unitarios obtenidos de fabricantes locales (IGV incluido):

- Carpeta asfáltica: 190 USD/m³
- Base granular: 40 USD/m³
- Subbase granular: 32 USD/m³
- Geotextil: 0.76 USD/m²

Finalmente, la Tabla 5 resume el presupuesto en dólares por m²:

TABLA 5.

Presupuesto para la propuesta con geotextiles no tejidos

	CARPETA ASFÁLTICA (\$/m ²)	BASE GRANULAR (\$/m ²)	SUBBASE GRANULAR (\$/m ²)	COSTO TOTAL DEL PAVIMENTO (\$/m ²)
Espesores por capa	2.4 pulg (0.06 m)	8 pulg (0.2 m)	8 pulg (0.3 m)	
Costo	11.58	8.13	6.50	26.97

4.1.1.3 Impacto ambiental

Un estudio de investigación que realizó la asociación europea de geotextiles no tejidos llamada “EDANA” concluyó que el 70% de las carreteras construidas en la Unión Europea con geotextiles no tejidos representan un ahorro de 4.8 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Además, compara que, si todas las carreteras nuevas hubieran sido construidas con no tejidos, el ahorro se hubiera incrementado a 6.8 millones de toneladas de CO₂ equivalentes.

El mayor impacto ambiental negativo, en un diseño sin geotextiles, proviene del peso de los materiales tradicionales. En el diseño comparativo, para el caso de una vía sin geotextiles se considera un espesor de sacrificio en la capa granular adyacente a la subrasante de diseño inicial igual a 5 cm. Si se considera que la grava pesa alrededor de 690 kg por m² y los geotextiles no tejidos que se usaron en estas vías tienen un gramaje promedio de 175 g/m², estos geosintéticos son casi 4000 veces más ligeros.

Adicionalmente, desde su fabricación hasta su instalación, 1 m² de grava para cubrir carreteras con un espesor estándar de 30 cm equivale a 11.2 kg de CO₂ mientras que cada m² de geotextil equivale a 0.6 kg de CO₂. Es decir, 20 veces más eficiente.

4.1.1.4 Impacto social

Gracias al uso de geotextiles en la construcción de la vía podemos reducir notablemente la contaminación sonora que normalmente se produciría al usar soluciones tradicionales, ya que la instalación de los geotextiles no tejidos no requiere de maquinaria especializada que produzca sonidos bruscos al ensamblarlos. De igual forma, el uso de los geotextiles no tejidos mejora el rendimiento en obra, debido a que estos requieren de menos esfuerzo por parte del personal de obra para instalarlos. Por último, estos no requieren de un

personal capacitado para su aplicación, por lo que los mismos obreros del proyecto pueden aprender rápidamente a colocarlo sin ninguna complicación.

4.1.2 Diseño tradicional: Construcción de vía pavimentada

El diseño tradicional consiste en una vía pavimento con capas granulares según la metodología AASTHO-1993. La carpeta asfáltica consistirá en una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS al igual que para la berma. El tiempo de vida de la vía será de 10 años.

4.1.2.1 Resumen de Metrado

Para el diseño de la vía tradicional (carpeta asfáltica, base granular y subbase granular) se considera que un espesor igual a 2 pulgadas de la subbase granular no aportaría en el número estructural del pavimento ya que se contaminaría en el tiempo. A consecuencia de ello, el espesor de la subbase granular será igual a 6 pulgadas.

- Cálculo del número estructural sin geotextil:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

$$SN = 1.37 + 1.12 + 0.66$$

$$SN = 3.15$$

- Valor W18 para pavimento sin geotextil:

$$W18c = 1473567 \text{ ESAL's}$$

4.1.2.1 Presupuesto

Para realizar el presupuesto se consideraron los siguientes precios unitarios obtenidos de fabricantes locales (IGV incluido):

- Carpeta asfáltica: 190 USD/m³
- Base granular: 40 USD/m³
- Subbase granular: 32 USD/m³

Finalmente, la Tabla 6 resume el presupuesto en dólares por m²:

TABLA 6.

Resumen del presupuesto para los materiales tradicionales

	CARPETA ASFÁLTICA (\$/m ²)	BASE GRANULAR (\$/m ²)	SUBBASE GRANULAR (\$/m ²)	COSTO TOTAL DEL PAVIMENTO (\$/m ²)
Espesores por capa	2.4 pulg (0.06 m)	8 pulg (0.2 m)	10 pulg (0.3 m)	
Costo	11.58	8.13	8.13	27.84

4.1.2.4 Impacto social

Al no usar geotextiles no tejidos como solución para la separación de la vía, se utilizarán métodos convencionales para el proyecto por lo que la contaminación sonora mediante el ruido de la maquinaria afectará a las personas que vivan en los alrededores, así como también a los mismos obreros que elaboran la vía. Por otro lado, las soluciones tradicionales requieren de muchas más horas y personal capacitado trabajando en la vía, por lo que, los trabajadores tendrán que realizar más horas de trabajo para cumplir una tarea en comparación a si se utilizara geotextiles no tejidos en la vía.

Por último, cabe resaltar que, elaborando la vía tanto con geotextil no tejido como sin este, igual servirá para conectar dos destinos que mejorará la comunicación y transporte entre comunidades, así como también facilitar otras actividades como el comercio.

4.1.3 Comparativo de ambas soluciones y elección de diseño

La incorporación de geotextiles no tejidos no aumenta significativamente el costo del proyecto, por el contrario, aporta mejoras significativas en el rendimiento, vida útil y capacidad de servicio de la carretera. En cambio, en un diseño tradicional, es decir, cuando

no existe un elemento separador entre las capas subrasante y granular se generan dos mecanismos:

- El primer mecanismo se denomina bombeo o "pumping". En este caso, lo que ocurrirá es que los materiales finos de la subrasante se intruyen en los espacios vacíos que tiene la capa de grava.
- El segundo mecanismo que puede ocurrir es el comportamiento opuesto: la granulometría gruesa se intruye sobre la fina. Se produce un punzonamiento.

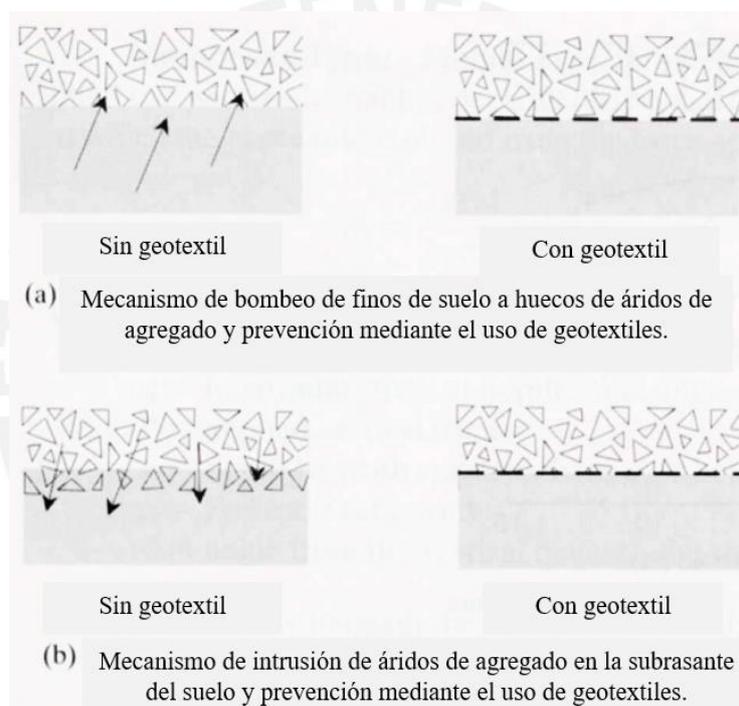


Figura 14. Mecanismos de falla entre capas granulares y finas.

Tomada de "Diseño con Geosintéticos", por Robert Koerner, 2005

Los geotextiles no tejidos punzonados por agujas tienen una combinación de propiedades que les permite ser utilizados de manera efectiva en tres áreas importantes de aplicación en vías. Es decir, no solo actúan como elemento separador, sino también cumplen las funciones de drenaje y revestimiento. La función de separación que cumplen los geotextiles no tejidos es la más utilizada y extendida, sobre todo en Norteamérica y Europa.

Un estudio realizado en la década de 1980 (Schaeffner, M y Khay, M, 1982, Bell, A L et al 1982, Sowers, GF et al, Delmas, PH, et al 1986, Degardiei, R y Javor E) demuestra que la experiencia en campo de un geotextil colocado debajo de una base de material granular compactado de alta resistencia al cizallamiento reduce la contaminación de esta capa por material fino durante el movimiento de los vehículos sobre la carretera. Además, se evita la pérdida de capacidad de carga. Por otro lado, en arcillas, los geotextiles también tienen una función “habilitadora”, ya que agiliza el proceso de instalación y conformación de la vía.

También es importante la capacidad de deformación de los geotextiles. Esta propiedad permite que se produzca un mecanismo de membrana (el cual ocurre cuando una fuerza vertical es aplicada a un geotextil colocado sobre un suelo deformable) sin que el geosintético se rompa y deje de funcionar. Los geotextiles no tejidos se deforman más del 50% de su condición inicial. En la Figura 15, se presenta un esquema del mecanismo de membrana que se activa al instalar un geotextil en una vía.

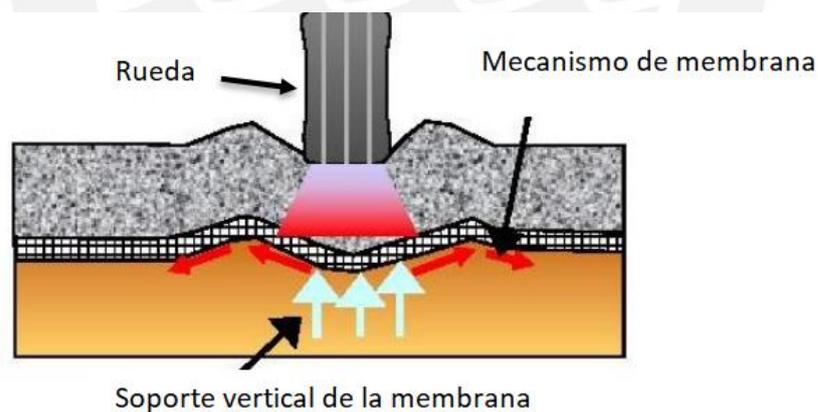


Figura 15. Mecanismo de membrana.

Tomado de USACE, 2003

Adicionalmente, por ejemplo, un geotextil no tejido punzonado por agujas puede contener hasta 2 l/m² de agua. Si se coloca en una caída, se puede evacuar a un desagüe de borde, lo cual mejora aún más la capacidad de servicio de la estructura de la carretera (Perfetti, J - Sangster, T, 1990).

La función de drenaje toma gran importancia en los lugares donde la precipitación es constante y se busca la integridad y rendimiento de la estructura de la carretera a la vez. Un buen drenaje, no solo involucra a la escorrentía superficial, sino también intercepta las entradas de aguas subterráneas. La base granular funciona mejor cuando está en condición seca, por ello se debe diseñar de tal manera que esta capa permanezca así. Tradicionalmente, se colocan zanjas laterales, sin embargo, en periodos de precipitación intensa pueden colapsar y necesita un constante mantenimiento. La solución con geosintéticos, puede consistir, por ejemplo, en el revestimiento de la zanja (llena de grava) con geotextiles para que el material granular esté envuelto y pueda mejorar el rendimiento y longevidad del drenaje. Es decir, el geotextil actúa como un filtro, el cual permite el libre paso del agua, pero a su vez, retiene las partículas del suelo que contaminan el material de drenaje granular.

Por último, existen carreteras que no se optan por pavimentar por ser consideradas de bajo tráfico o limitaciones económicas. Como solución, se agrega una superficie a una vía sin pavimentar. Como consecuencia, estas superficies pueden deteriorarse de manera rápida y aumentar los costos que se querían evitar en un primer momento. Ello sucede por la deformación de la vía y la baja tensión en la superficie. Como solución, los geotextiles no tejidos punzonados por agujas garantizarán una alta capacidad de deformación y una alta porosidad que permitirá, por ejemplo, retener una cantidad de betún para sellar la superficie y adherirse al revestimiento de esta. Es posible, entonces, utilizar un geotextil y una emulsión bituminosa sencilla para proporcionar características óptimas a bajo costo.

- Análisis técnico

Para el primer escenario, al comparar el número total de ejes equivalentes en ambos diseños, se concluye que la serviciabilidad sin el uso de los geotextiles no tejidos se reduce en un 36.3%.

Reducción de servicialidad= $(W18c-W18s) / W18c = 36.3\%$

- Análisis económico

Para el segundo escenario, si se considera que tanto en el diseño tradicional como en el diseño con geotextiles no tejidos se mantiene el mismo número estructural. se logrará un ahorro económico de por lo menos el 2.30% si en el diseño se incluyen a los geotextiles que cumplirán la función de separación:

Ahorro en materiales= $(\text{Precio sin gnt} - \text{Precio con gnt}) / \text{Precio sin gnt} = 2.30\%$

- Procesos constructivos con geotextiles

El proceso constructivo con geotextiles para la función de separación no requiere de personal calificado y, por el contrario, disminuye los tiempos de ejecución de obra. Son procesos sencillos pero que deben manejarse con el debido cuidado. El libro “Especificaciones Generales de Pavco Wavin” (2020) detalla el proceso paso a paso:

En primer lugar, los rollos de geotextiles deben estar empacados para evitar la degradación por la acción de los rayos UV, la humedad o el polvo. Además, cada rollo debe estar correctamente etiquetado.

Antes de la instalación de los geotextiles en obra se debe preparar la superficie del suelo que será designado como subrasante para evitar el daño de los geosintéticos por objetos punzantes, bloques, etc. La Figura 16 muestra un esquema de la preparación del terreno:



Figura 16. Preparación del terreno.

Los geotextiles no tejidos se extienden en dirección de la construcción de la vía. Los traslapos o uniones por costura son permitidos según se decida en obra. El traslapo mínimo es de 30 cm y varía de acuerdo con el CBR y al nivel de tráfico de la vía. La Figura 17 muestra la instalación de 3 rollos de geotextiles extendidos en dirección de la futura vía:

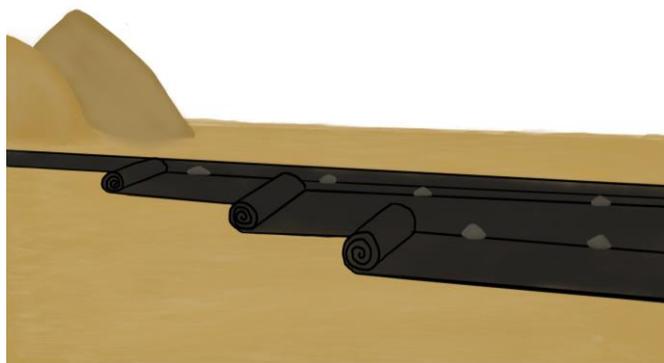


Figura 17. Instalación de los geotextiles en obra.

Por otro lado, si se decide realizar la unión con costuras, se deberán utilizar máquinas diseñadas para esta función. El hilo que se utiliza se recomienda que sea de polipropileno o fibra natural. Además, la costura debe cumplir el 90% de la resistencia Grab. Algunos tipos de costura son los que se detallan en la Tabla 7:

TABLA 7.

Tipos de costuras a los geotextiles no tejidos. Fuente: Pavco Wavin Geosintéticos

Costura Simple	Costura en J	Costura Mariposa
		

Nota: Tomado de “Especificaciones Generales de Pavco Wavin”, 2020

Luego de extender los rollos de geotextil se debe cubrir con la capa siguiente para evitar la degradación del geosintético por los rayos UV. Los geotextiles no pueden quedar expuestos por un rango mayor a 3 días. En la Figura 18 se muestra un esquema de la instalación de la capa granular luego de finalizar la instalación total del geotextil:

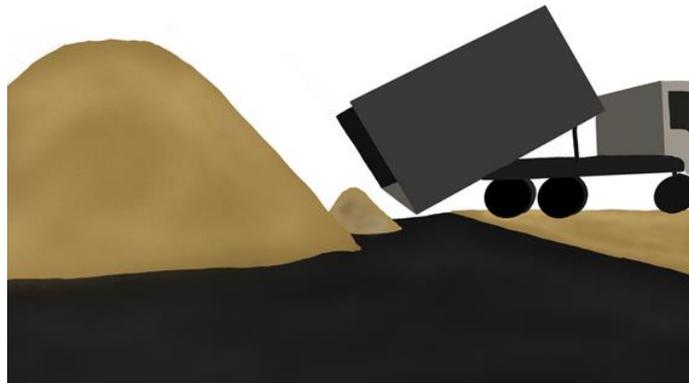


Figura 18. Instalación de capa granular.

Finalmente, luego de colocada la capa granular se debe compactar la base según las especificaciones del diseño.

4.2 Comparativa de las normas involucradas

Uno de los objetivos de la presente tesis es realizar un comparativo (similitudes y diferencias) entre la norma AASHTO M288-06 y el manual proporcionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones titulado “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)” según el diseño y comentarios que cada uno especifica en su contenido. Adicionalmente, se realizará un comparativo entre las revisiones de los años 2006 y 2017 de la AASHTO M288.

4.2.1 Similitudes

La Norma AASHTO M288-06 se titula “STANDARD SPECIFICATION FOR GEOTEXTILE - SPECIFICATION FOR HIGHWAY APPLICATIONS”. Consta de 21

páginas que incluyen el alcance, biografía, definiciones y tablas según la aplicación para la cual se utilizará el geotextil.

El Manual de “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” fue desarrollado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú en el año 2013. Consta de 605 páginas en las que se incluyen los requisitos, procedimientos y parámetros de las obras viales en el país. Los capítulos IV y V describen las especificaciones para el uso de geotextiles como separación de subrasante y capa granular (SECCIÓN 414) y drenaje (SECCIÓN 511 y 512) para los subdrenes con geotextiles y material granular.

Ambos documentos definen a los geotextiles, su proceso de fabricación y los dividen de acuerdo con las propiedades mínimas (con excepción del Tamaño de Abertura Aparente que es una propiedad máxima) que deben de cumplir para cada función que cumplirán.

La primera tabla que presenta la AASHTO divide a los geotextiles en tres clases con los valores mínimos de propiedades mecánicas que debe cumplir. Los valores representan al Valor Mínimo Promedio por Rollo (MARV). La EG-2013 también presenta estas tres clases con los mismos valores y propiedades. A continuación, se muestra la Tabla 8, la cual es un resumen que divide a los geotextiles no tejidos en clases:

TABLA 8.

Clases de geotextiles no tejidos en valores MARV

			AAHSTO M288-06 y EG 2013		
			Clase 1	Clase 2	Clase 3
Elongación		%	>50		
Ensayo mecánico	Norma	Unidades	Valores mínimos		
Resistencia Grab	ASTM D4632	N	900	700	500
Resistencia a la costura	ASTM D4632	N	810	630	450
Resistencia al rasgado	ASTM D4533	N	350	250	180
Resistencia al punzonado	ASTM D6241	N	1925	1375	990

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, 2011 y 2013

Además, ambos subdividen a los geotextiles en no tejidos y tejidos según la elongación de rotura. La elongación se define como la deformación lateral del geotextil por efecto del ensayo a tensión. El porcentaje de elongación se halla al comparar el geotextil en estado natural, es decir sin ser tensionado, con el estado final del geotextil sometido al ensayo de tensión Grab. Según las propiedades que adquieren los geosintéticos en su proceso de fabricación, los geotextiles no tejidos tienen una elongación mayor al 50%, por otro lado, los geotextiles tejidos tienen una elongación menor al 50%.

Para ambas tablas, a medida que el número de “clase” aumenta, sus propiedades mecánicas disminuyen. Por ejemplo, los geotextiles de Clase 1 son los que mejores propiedades mecánicas deben cumplir.

Si bien ambas tablas contienen los valores mínimos para las propiedades mecánicas, también mencionan que según su aplicación (drenaje, separación, estabilización y control de erosión) los geotextiles deberán cumplir las propiedades hidráulicas que se muestran en las tablas subsiguientes de ambas normas.

La segunda tabla que presentan las normas resume los requisitos para que los geotextiles cumplan la función de subdrenaje. A continuación, la Tabla 9 resume los requisitos para que los geotextiles cumplan esta función:

TABLA 9.

Requisitos para que los geotextiles cumplan la función de subdrenaje

			AAHSTO M288-06 y EG 2013		
			Porcentaje de suelo in situ que pasa el tamiz #200		
			<15	15-50	>50
Clase del geotextil			Clase 2		
Permitividad	ASTM D4491	s-1	0.5	0.2	0.1
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D4751	mm	0.43 (valor máximo)	0.25 (valor máximo)	0.22 (valor máximo)
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, 2011 y 2013

En ambos escritos, las tablas muestran los valores mínimos hidráulicos (a excepción del tamaño de abertura aparente que es un valor máximo) que deben cumplir los geotextiles que serán usados en subdrenaje. Un geotextil debe cumplir como mínimo ser un “clase 2”, y

si, por ejemplo, el porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200 es menor al 15% entonces deberá cumplir con un valor mínimo de permitividad de 0.5 s^{-1} , un tamaño de abertura aparente máximo de 0.43 mm y una estabilidad ultravioleta mayor al 50% después de 500 horas de exposición. Los valores presentados dependen del porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200.

La tercera y cuarta tabla que presentan las normas describen las propiedades que debe cumplir un geotextil que se aplique para la función de separación. A continuación, Tabla 10 resume los requisitos para que los geotextiles cumplan esta función:

TABLA 10.

Requisitos para que los geotextiles cumplan la función de separación

			AAHSTO M288-06 y EG 2013
Clase del geotextil			Según el grado de durabilidad en función de la subrasante, equipo y espesores de elevación
Permitividad	ASTM D4491	s^{-1}	0.02
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D4751	mm	0.6 (valor máximo)
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D4355	%	50% después de 500 horas de exposición

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, 2011 y 2013

Además de cumplir las propiedades hidráulicas, según el grado de durabilidad en función de la subrasante, equipo y espesor de elevación se elegirá la “clase” mínima que debe cumplir el geotextil para esta función. Es decir, un “Clase 1” indica una condición alta, un “Clase 2” una condición moderada y un “Clase 3” una condición baja.

Por ejemplo, si decido diseñar por especificación un geotextil de separación y mi subrasante no tiene obstáculos y está nivelada escogeré un geotextil que cumpla la primera fila. Si el equipo de presión es de Tierra Media, el geotextil que seleccionará será un “clase 2” que cumpla con un valor mínimo de permitividad de 0.02 s^{-1} , un tamaño de abertura aparente máximo de 0.60 mm y un porcentaje de protección a los rayos UV mayor al 50% luego de una exposición de 500 horas.

Las siguientes propiedades que se muestran en ambas normas son los valores necesarios que deben de cumplir los geotextiles para la función de estabilización. De igual manera que en las tablas anteriores, ambos documentos son similares en las propiedades, ensayos, unidades y valores. A continuación, la Tabla 11 resume los requisitos para que los geotextiles cumplan esta función:

TABLA 11.

Requisitos para que los geotextiles cumplan la función de estabilización

			AAHSTO M288-06 y EG 2013
Clase del geotextil			Clase 1
Permitividad	ASTM D4491	s^{-1}	0.05
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D4751	mm	0.43 (valor máximo)
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D4355	%	50% después de 500 horas de exposición

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, 2011 y 2013

Para el diseño por especificación de un geotextil que cumplirá la función de estabilización este debe ser un “Clase 1”, y deberá cumplir con un valor mínimo de permitividad de 0.05 s^{-1} , un tamaño de abertura aparente máximo de 0.43mm y un valor

mayor al 50% de estabilidad UV luego de 500 horas de exposición. Además, se menciona que la permisividad del geotextil debe ser mayor a la del suelo.

La siguiente aplicación que describen ambas tablas de las normativas es la de control permanente de erosión con geotextiles. La Tabla 12 resume los valores mínimos (a excepción del Tamaño de Abertura Aparente, el cual es un valor máximo) requeridos para esta aplicación:

TABLA 12.

Control permanente de erosión con geotextiles

			AAHSTO M288-06 y EG 2013		
			Porcentaje de suelo in situ que pasa el tamiz #200		
Clase 1			<15	15-50	>50
Permitividad	ASTM D4491	s-1	0.7	0.2	0.1
Tamaño de Abertura Aparente (valor máximo)	ASTM D4751	m m	0.43	0.25	0.22
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, 2011 y 2013

En ambos casos, se indica que los geotextiles deberán ser de “Clase 1” para que cumpla la función de control de erosión permanente. Dentro de las propiedades hidráulicas, estas dependen del porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200.

Por ejemplo, si selecciono un geotextil no tejido punzonado por agujas, este deberá ser un “Clase 1” y si el porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200 es mayor al 50% entonces deberá cumplir con un valor de permitividad mínimo de 0.1 s^{-1} , un tamaño de abertura

aparente máximo de 0.22mm y una estabilidad UV mayor al 50% luego de 500 horas de exposición.

La aplicación que describen a continuación ambos documentos es la del geotextil para defensas temporales o “silt fence”. A continuación, la Tabla 13 resume los requisitos para que los geotextiles cumplan esta función:

TABLA 13.

Requisitos para función de defensa temporal

			AAHSTO M288-06 y EG 2013	
			Defensa de Arcilla con Soporte	Defensas No Soportada
Máximo espaciamento de postes		m	1.2	1.2
Resistencia Grab	ASTM D4632	N		
Dirección de la Máquina			400	550
Dirección Transversal			400	450
Permitividad	ASTM D4491	s-1	0.05	
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D4751	mm	0.6 (valor máximo)	
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D4355	%	70% después de 500 horas de exposición	

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, 2011 y 2013

Ambas tablas tienen las mismas propiedades y valores de cada ensayo. Sin embargo, a diferencia de las anteriores presentadas, tienen un requerimiento adicional que varía si la defensa de arcilla tiene soporte o si la defensa no tiene soporte.

Para que un geotextil pueda ser usado como defensa temporal, en sus propiedades mecánicas basta que se describa la resistencia Grab en ambas direcciones de la máquina. Por ejemplo, si en el requerimiento se menciona que la defensa será de arcilla con soporte, entonces, el máximo espaciamiento de postes será de 1.2 m y deberá cumplir con una resistencia Grab en dirección a la máquina de 400N y en la dirección transversal de 400N. Dentro de las propiedades hidráulicas, el valor mínimo de permitividad será de 0.05 s^{-1} , un valor máximo de tamaño de abertura aparente igual a 0.60 mm y un valor de estabilidad UV mayor al 70% posterior a las 500 horas de exposición.

La última aplicación que mencionan ambos documentos es la de los geotextiles para pavimentación saturadas con cemento asfáltico entre dos capas de pavimento. En esta función, el geotextil actúa como una membrana impermeable y aliviadora de esfuerzos dentro de una estructura de pavimento. La Tabla 14 resume los requerimientos para la función de pavimentación con geotextiles:

TABLA 14.

Requisitos para función de pavimentación

			AAHSTO M288-06 y EG 2013
Resistencia Grab	ASTM D4632	N	450
Elongación en Rotura	ASTM D4632	%	>50
Masa por Unidad de Área	ASTM D5261	g/m ²	140
Retención Asfáltica	ASTM D6140	l/m ²	Debe ser suministrada por el fabricante en el Certificado de Calidad
Punto de Fusión	ASTM D276	°C	150

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, 2011 y 2013

Para pavimentación, ambas tablas indican que el geotextil debe tener una elongación mayor al 50%, es decir solo cumplirán los geotextiles no tejidos. El valor mínimo Grab será de 450 N y debe cumplir con un gramaje mínimo de 140 g/m².

Una propiedad adicional que se menciona en esta aplicación en específico es la retención asfáltica que debe cumplir el geotextil. Este valor depende tanto del diseñador como del fabricante. Además, el punto de fusión de la fibra con la que se fabricará el geotextil debe ser igual a 150°C.

4.2.2 Diferencias

La principal diferencia entre ambos documentos comparados es que la AASHTO M288 es una norma, mientras que la EG-2013 es un manual de carreteras que incluye las especificaciones técnicas generales para la construcción de estas. La primera se enfoca solo en los geotextiles, la segunda no solo es una norma de geosintéticos, sino que dentro de sus capítulos se mencionan a los geotextiles en dos secciones.

Cada sección, en el manual proporcionado por el MTC, incluye una descripción, materiales e información de granulometría que no se incluyen en la norma AASHTO. Además, para la función de drenaje, el manual describe un tipo de tubería adecuado para esta aplicación.

En la norma M288-06 a diferencia del manual proporcionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones titulado “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, se coloca un apartado llamado “Apéndices” donde se coloca información adicional como los procesos y pasos necesarios para llevar a cabo una correcta construcción con el uso de geotextiles o las precauciones para tener en cuenta para que no exista falles en la aplicación de geotextiles.

Así mismo, dentro de este apartado de apéndices se especifica el procedimiento necesario para el uso de geotextiles para construcción, geotextiles para drenaje, geotextiles para separación y estabilización, geotextiles para control de erosión y geotextiles para fabricación de pavimentos, en todos estos tipos se especifica la preparación del terreno, la colocación del geotextil, la calidad del geotextil y cómo solucionar ciertos errores que puedan ocurrir en todo el proceso. También se adjuntan imágenes referenciales para ilustrar el proceso constructivo explicado en cada apéndice. Las Figuras 19,20 y 21 detallan el uso de geotextiles para drenaje.

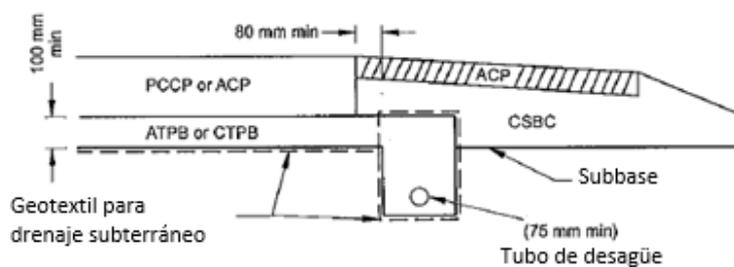


Figura 19. Geotextil no tejido de drenaje

Tomada de "AASHTO M288-06", 2011

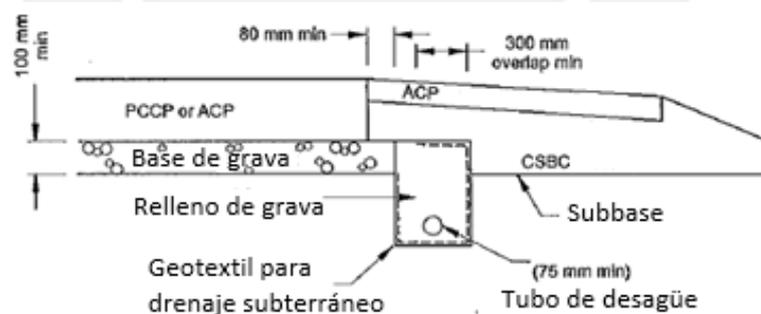


Figura 20. Geotextil de drenaje a lo largo.

Tomada de "AASHTO M288-06", 2011

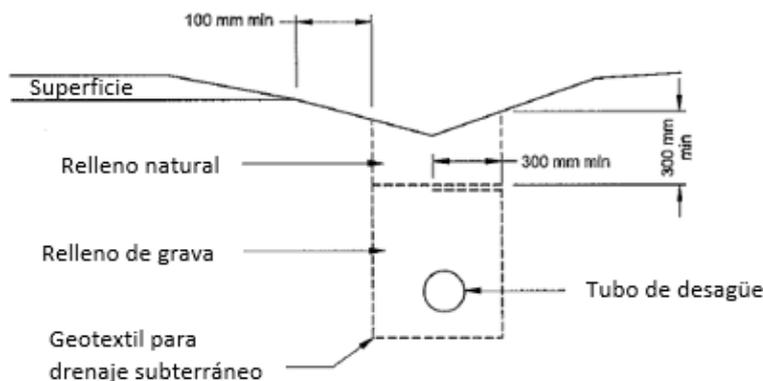


Figura 21. Geotextil de drenaje forrado.

Tomada de "AASHTO M288-06", 2011

4.2.3 Comparación con la nueva norma M288-17

Actualmente, en el diseño por especificación, se utilizan las tablas y valores que pertenecen a la AASHTO 288-06 (2011) en el Perú. Sin embargo, en el año 2017, la norma se actualizó.

La principal diferencia entre ambas normas es que la versión actualizada incluye no solo a los geotextiles, sino también a las geomallas. Por ello, en el alcance se menciona que es una especificación que cubre a los "geosintéticos". Además, debido a que la geomalla tiene propiedades mecánicas adicionales, también se detalla que se incluye la aplicación de refuerzo.

En los documentos de referencia, se adicionan dos bibliografías de la AASHTO: la "Determinación de la Resistencia a Largo Plazo para Geosintéticos Reforzados" (R 69) y la "Determinación del pH del Suelo para su Uso en Pruebas de Corrosión" (T 289). También, se añaden ensayos ASTM relacionados a determinar las propiedades de tracción de los geotextiles por el método de tira ancha, las propiedades de tracción de las geomallas a una o dos "costillas", la viscosidad del polietileno, entre otros. Otros métodos incluidos en la norma del 2017 son las ISO 13438-2004(en) y GRI-GG8. La primera determina la resistencia

a la oxidación de los geotextiles y la segunda determina el peso molecular promedio en número de hilos PET basado en un valor de viscosidad relativa.

Las definiciones que se incluían en la norma M288-06 (2011), en la norma del 2017 se les llama terminologías. Se agregan dos términos: temperatura de diseño efectiva y geosintéticos.

En los requerimientos físicos de la norma actualizada, se mantiene el uso de la palabra “fibras”, pero también se adicionan “hilos” y “tiras”. Esto se debe a que se integran especificaciones para las geomallas.

Una adición importante en la M288 del año 2017 es la inclusión de la Acreditación GAI-LAP como requisito para los laboratorios que fabriquen geosintéticos. También, agregan especificaciones para la aplicación de muros.

En las recomendaciones de cuidado y almacenamiento, la nueva norma, resalta que los geotextiles no pueden quedar expuestos al sol, debido a que están fabricados a partir de polipropileno o poliéster que se degradan a lo largo del tiempo. Para el HDPE, no precisa una obligatoriedad de almacenamiento, pero sí la recomienda. Luego de estos apartados comentados, se describe cada tabla con sus propiedades y valores mínimos a cumplir.

La primera tabla tiene los mismos valores y ensayos que la norma con revisión del año 2011, sin embargo, adiciona una columna, la cual se detalla en la Tabla 15, que describe la “Clase 1A” para los geotextiles que cumplirán la aplicación de mejoramiento. Los geotextiles Clase 2 y Clase 3 mantienen sus propiedades como lo detalla la Tabla 16.

TABLA 15.

Requisitos de propiedades de resistencia del geotextil

			Clase de Geotextil		
			Clase 1A	Clase 1	
Elongación (%)			<50	<50	>50
Resistencia Grab	ASTM D4632/D4632M	N	-	1400	900
Resistencia de costura cosida	ASTM D4632/D4632M	N	-	1260	810
Resistencia al desgarre trapezoidal	ASTM D4533/D4533M	N	-	500	350
Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D6241	N	-	2750	1925
Permisividad	ASTM D4491	s ⁻¹	Según propiedad de mejoramiento		
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm			
Ultravioleta	ASTM D4355/D4355M	%			

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

TABLA 16.

Clases del geotextil

	Ensayos	Unidades	Clase 2		Clase 3	
			Elongación <50%	Elongación ≥50%	Elongación <50%	Elongación ≥50%
Resistencia Grab	ASTM D4632/D4632M	N	1100	700	800	500
Resistencia de costura cosida	ASTM D4632/D4632M	N	990	630	720	450
Resistencia al desgarre trapezoidal	ASTM D4533/D4533M	N	400	250	300	180
Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D6241	N	2200	1375	1650	990

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

La siguiente tabla que describe los requerimientos para los geotextiles de drenaje no varía. La tabla de requerimientos para la aplicación de separación actual sí cambia. El nuevo valor mínimo requerido para la propiedad de permitividad es de 0.05 s⁻¹ y no 0.02 s⁻¹ como se indicaba en la versión pasada.

TABLA 17.

Requisitos de propiedades para separación de geotextiles

	Ensayos	Unidades	Requerimientos
Clase de Geotextil	Según el grado de durabilidad		
Permitividad	ASTM D4491	sec ⁻¹	0.05
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm	0.60 valor promedio
Estabilidad Ultravioleta	ASTM D4355/D4355M	%	50% después de 500 horas

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

Esta tabla, al igual que la norma M288-06 (2011) tiene una continuación para determinar la clase del geotextil necesario según la presión aplicada y la función del suelo. Sin embargo, adiciona un tipo de clase denominado “Clase 1A”, el cual llega a ser adecuado para equipos de alta presión sobre el suelo (>50 kPa) y una preparación mínima de terreno requerida. La Tabla 18 detalla la adición de la “Clase 1”:

TABLA 18.

Requisitos para grados de supervivencia en función a distintas condiciones

	Equipo de baja presión	Equipo de presión media	Equipo de alta presión
Subbase despejada de todo objeto excepto por pasto, hojas, etc.	Bajo (Clase 3)	Moderado (Clase 2)	Alto (Clase 1)
Subbase despejada de objetos de moderado tamaño como ramas y rocas	Moderado (Clase 2)	Alto (Clase 1)	Muy Alto (Clase 1A)
Subbase despejada de troncos de árboles y rocas enormes	Alto (Clase 1)	Muy Alto (Clase 1A)	Muy Alto (Clase 1A)

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

La tabla que especifica los valores requeridos para la aplicación de estabilización mantiene los mismos parámetros. Una tabla nueva (Tabla 19) que no contiene la norma antigua es la aplicación de mejora que se utiliza para geotextiles en condiciones húmedas y

saturadas para proporcionar las funciones de separación, filtración y mejoramiento. Es aplicable a estructuras de pavimento construidas sobre suelos con CBR menor a 1%.

TABLA 19.

Requisitos de propiedades para fabricación de pavimentos

	Ensayos	Unidades	Requerimientos Tipo I	Requerimientos Tipo II
Resistencia Grab	ASTM D4632/D4632M	N	-	450
Resistencia a la tensión	ASTM D5035, Tipo 2C-E	N	200	-
Última elongación	ASTM D4632/D4632M	%	-	≥50
Masa por unidad de área	ASTM D5261	gm/m ²	125	140
Retención de Asfalto	ASTM D6140	l/m ²	-	-
Punto de fusión	ASTM D276	°C	205	150

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

Las siguientes tablas de control de erosión permanente y cercos temporales son iguales. La última tabla que describe el uso de geotextiles en la aplicación de pavimentación tiene modificaciones en los valores y métodos de ensayo.

La nueva norma subdivide la tabla de pavimentación en dos tipos: tipo I y tipo II. El tipo I contiene los valores de la norma revisada en el 2011 y el tipo II tiene valores de tensión y elongación adicionales.

Además, la norma M288-17 agrega 3 tablas donde se indican diversos requerimientos en los geotextiles para distintos usos y aplicaciones. La Tabla 20 que se muestra a continuación, indica las propiedades necesarias para utilizar un geotextil como reforzamiento:

TABLA 20.

Requisitos de propiedades para reforzamiento con geosintéticos

	Geosintético	Ensayos	Unidades	Requerimientos
Resistencia al daño de instalación	Geomalla	ASTM D6637/D6637M	kN/m	10
Resistencia a tensión última	Geotextil	ASTM D6637/D6637M	kN/m	Clase 1
	Geomalla	ASTM D4595	kN/m	$T_{max} \times FS \times RF$
RF	Todos	R69	-	$T_{max} \times FS \times RF$
RF CR			-	R69 según geosintético
RF D			-	1.3
Rigidez Secante			kN/m	Según ubicación

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

La segunda tabla nueva incluida en la norma presentada en el 2017 indica la durabilidad mínima del polímero para justificar su uso. A continuación, se muestra la Tabla 21 resumen con los criterios requeridos:

TABLA 21.

Mínima durabilidad del polímero para valor de RF D

Propiedad	Tipo de Polímero	Ensayos	Unidad	Criterio para usar valor de RF
Resistencia a la oxidación UV	PP y HDPE PET	ASTM D4355/D4355M	-	Mín. 70%
Resistencia a la termo-oxidación	PP y HDPE	ISO 13438:2004 (cn)	kN/m	Mín. 50%
Resistencia a la hidrólisis	PET	ASTM D4603 y GRI GG8	-	Mín. Número promedio molecular
Material reciclado	Todos	Certificación de materiales usados	%	Máx. 300

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

La tercera tabla nueva incluida indica la agresividad que debe tener el geotextil con el medio ambiente. A continuación, se muestra la Tabla 22 con los criterios requeridos:

TABLA 22.

Agresividad de Ambiente para Valor de RF D

	Ensayos	Unidades	Requerimientos
Temperatura de diseño	-	°C	30
Relleno Ph	T 289	-	4.5 a 9

Nota: Basado en norma “AAHSTO M288-06” y “AAHSTO M288-17”, 2011 y 2017

Por otro lado, en el apartado de apéndices se agregó el “Apéndice X1.1.2.2.” que indica que se debe asegurar que el geosintético esté acompañado con su respectiva acreditación. Además, en la nota “X10” de la norma M288-17 se señala que solo las arrugas que excedan 25 mm de longitud deberán cortarse y colocarse planas en el asfalto, mientras que en la norma M288-06 se señala que todas las arrugas presentes deberían ser arregladas.

Por otro lado, en el “Apéndice X1.6.3.14.” de la norma M288-17, se señala que para los pavimentos de tipo 1 la temperatura no debe exceder de los 175 °C y para los pavimentos tipo 2 no debe exceder de los 160 °C, mientras que en la norma del 2006 se señala que en ambos tipos no se debería exceder de los 160 °C.

Por último, en la norma del 2017 se agrega el “Apéndice X1.7.” que señala el proceso por etapas para el reforzamiento de suelo con el uso de geosintético, los cuales son: excavación y reparación de base, drenaje, separación, capas y relleno.

Capítulo 5: Propuesta de implementación de un laboratorio de aseguramiento de calidad de geotextiles en una empresa tercera (no fabricantes) en el Perú

5.1 Propuesta de ubicación de laboratorio

Para asegurar la calidad de los geotextiles antes de su uso y aplicación es necesario que estos sean sometidos a ensayos que demuestren sus propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas para verificar que estas se encuentran dentro de los parámetros aceptables por la norma AASHTO M288-06 (2011) y la especificación EG-2013. Dichos ensayos se deberán llevar a cabo en un laboratorio implementado con los ambientes y la maquinaria adecuada, donde los resultados de estos ensayos sean precisos y confiables. Sin embargo, en el Perú son muy pocos los laboratorios que cuentan con la acreditación GAI-LAP y con toda la instrumentación requerida para poder asegurar la calidad de los geosintéticos. Por esta razón, en la presente tesis se propone la implementación de un laboratorio de aseguramiento de

calidad de los geotextiles en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Para ello, se desarrollará en el presente capítulo, la ubicación, equipos y acreditación necesaria para poder implementar este laboratorio. De esta manera, la universidad contaría con un laboratorio tercero que asegure la calidad de los geotextiles donde otras entidades podrán verificar el estado de los geotextiles según requerimiento del proyecto.

5.1.1 Medrado del lugar

Actualmente, en la Pontificia Universidad Católica del Perú existe un Laboratorio de Mecánica de Suelos. Este laboratorio se ubica frente al Complejo de Innovación Académica y al costado de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la universidad. La Figura 22 detalla la ubicación del laboratorio:

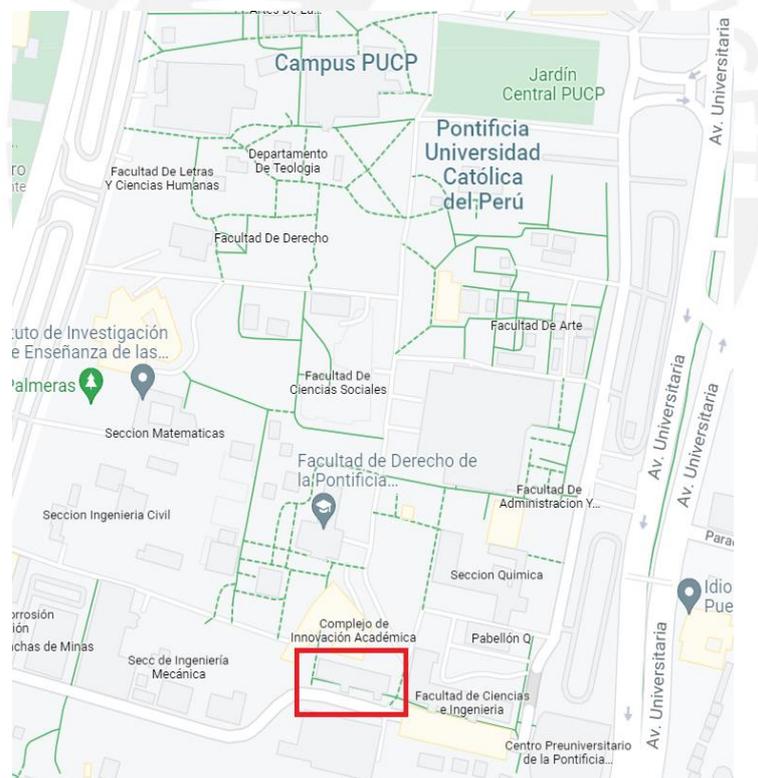


Figura 22. Ubicación del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la PUCP.

Tomada de "Mapas de Google", 2021

Este laboratorio consta de 2 niveles (730 m² de área en planta) que incluyen los ambientes para los ensayos triaxiales, análisis granulométrico, corte directo, límites de Attenberg, permeabilidad, entre otros; depósitos, oficinas, almacenes y patios. Todo ello correctamente equipado para el desarrollo de los ensayos geotécnicos requeridos en los proyectos.

5.1.2 Búsqueda de implementos necesarios

Para poder implementar un laboratorio acreditado se necesitan principalmente los siguientes equipos, accesorios y muebles descritos a continuación según su función para cada ensayo:

Se requiere una balanza calibrada y con capacidad de hasta 5000g con una precisión de 0.01g y un indicador digital que tienen la función de medir la masa por unidad de área de los geotextiles según el muestreo que indica la norma ASTM D5261.

Además, de acuerdo con la Normativa ASTM Sección 4 “Construcción Volumen 04.13 Geosintéticos”, el laboratorio debe mantener una temperatura de 21°C \pm 2°C y una humedad relativa de 65% \pm 5%.

Para realizar las pruebas ASTM D 4632, ASTM D 4533 y ASTM D 6241 es necesaria la adquisición de una Máquina de Ensayo de Tensión Instron. Debido a que estos ensayos requieren una velocidad determinada se recomienda la serie Instron 68SC-5 de alto nivel, la cual además ofrece una adquisición de datos de hasta 5 kHz. La Figura 23 muestra la Máquina de Ensayo de Tensión:



Figura 23. Máquina de Ensayo de Tensión Instron 68SC-5.

Tomada de "Instron", 2021

La imagen detalla la distribución proporcionada por Instron (quienes suministran los equipos y accesorios de cada ensayo normados):

1. Instron 68SC-5
2. Tablero de instrumentos universal Bluehill (2490-696)
3. Celda de carga de la serie 2580 (2580-5 kN)
4. Puños neumáticos serie 2712 (2712-045)

Según el libro "Diseño de Infraestructura con Geosintéticos" (2021), también son necesarias las mordazas con superficie de agarre paralelas y planas para evitar el deslizamiento de las muestras. Estas deben tener una superficie de dimensiones 25.4 mm y 50.8 mm.

El ensayo ASTM D 4533 (Resistencia al Rasgado Trapezoidal) utiliza el mismo equipo y mordazas que el ensayo de Resistencia Grab. La diferencia radica en que a la muestra se le hace un corte horizontal al centro y luego de ello se inicia el ensayo.

Para realizar el ensayo ASTM D 6241 (Resistencia al Punzonamiento CBR) se necesita un pistón de 50mm, 4 tornillos de sujeción para asegurar la muestra de geotextil, una abrazadera y una base. El sistema se detalla en la Figura 24:

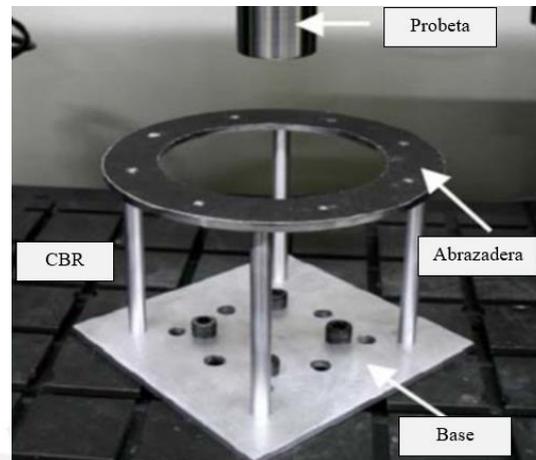


Figura 24. Equipo para ensayo de punzonamiento CBR.

Tomada de "Instituto de Geosintéticos", 2019

El siguiente equipo necesario para la realización de las pruebas hidráulicas es el Permeámetro GE TE FLOW, el cual se ilustra en la Figura 25. La norma ASTM D 4491 permite hallar la permeabilidad normal al plano de los geotextiles. El permeámetro permite circular un flujo de agua a través del geotextil con un nivel hidráulico constante por un tiempo y volumen de agua determinado.

La muestra de geotextil se coloca en el permeámetro y se va cargando un flujo de agua unidireccional de forma constante hasta que exista una diferencia de carga a través del geotextil. Durante el ensayo se mantiene una cabeza de 50 mm de columna de agua sobre la muestra de geotextil. Esta debe estabilizarse en un tiempo igual a 5 minutos.



Figura 25. Permeámetro GE TE FLOW.

Tomada de “Laboratorio de Geotextiles de Pavco Wavin Perú”, 2021

Otro equipo fundamental para realizar todas las pruebas a los geotextiles es la troqueladora. Esta máquina, la cual se ilustra en la Figura 26, permite realizar el corte con las dimensiones determinadas por norma de las muestras de los geotextiles.



Figura 26. Troqueladora.

Tomada de “Maquinarias Sudamerican del Perú”, 2021

El siguiente equipo necesario es la Tamizadora ROTAP con la cual se realizará el ensayo ASTM D4751. Este ensayo consiste en colocar una muestra de geotextil en tamiz determinado y sobre él colocar unos cristales con diámetro determinado. Una vez colocado este sistema se enciende el equipo para que tamice y se determinen las partículas que pasan por las aberturas de las muestras de geotextil de cada tamaño.

Este ensayo se repite de 3 a 7 veces para diferentes tamaños de diámetro de las esferas hasta que el peso de las partículas que pasan a través del espécimen sea 5% o menos del peso inicial. En la Figura 27 se ilustran los tamices y el equipo RO-TAP para el ensayo de Tamaño de Abertura Aparente de geotextiles.



Figura 27. RO-TAP.

Tomada de "Laval Lab", 2021

Para realizar el ensayo de evaluación de la disminución de la resistencia a la tensión de geotextiles expuestos a los rayos ultravioleta es necesario un equipo que determine la exposición a la luz y al agua y que tenga como fuente de luz un arco de xenón. El aparato de arco de Xenón puede ser de tipo BH o C y se usarán ciclos de cámaras de 120 minutos (90

minutos de luz a 68°C, 30 minutos de humedad relativa y 30 minutos de luz y rocío de agua). La Figura 28 ilustra el equipo de arco de Xenón.

Este ensayo es fundamental ya que los geotextiles que están hechos a base de polímeros pueden sufrir deterioros por la exposición a los rayos solares. Esta exposición varía de acuerdo con el tiempo, al ángulo de inclinación sobre el horizonte y a la ubicación del proyecto. Si bien el ensayo que usa el arco de Xenón no determina todas las variables, sí relaciona de manera directa su exposición real.



Figura 28. Equipo de arco de Xenón.

Tomada de "Q-LAB", 2021

5.1.3 Costos de maquinaria e instalación

Para la construcción del laboratorio y postulación a la acreditación, además de la compra del equipo y maquinarias, es necesario también cubrir los gastos de instalación y calibración, los cuales deben ser realizados por especialistas. A continuación, la Tabla 23 detalla los costos de equipos:

TABLA 23.

Equipos, marcas y precios

Equipo	Marca	Modelo	Precio (USD)
Balanza	OHAUS	SCOUT PRO SP 202	360
Máquina Ensayo de Tensión	Instron	68SC-5	15 000
Permeámetro GE TE FLOW	Lenzing	V 4-8-5-6	3 000
TROQUELADORA	J. SANDTAG	FRANKKURT GERMANY	350
INDICADOR DIGITAL	MITUTOYO CORP	ID-C112E	660
TAMIZADORA	WSTYLER	RX-29	3 200
Máquina de prueba de xenón	LIB INDUSTRY	XL-S-750	20 000

La Máquina de Ensayo de Tensión y el permeámetro GE TE FLOW deben ser instalados por un especialista que envía la empresa que vende el equipo. Esta persona puede no radicar en el Perú, y para que realice el trabajo es necesario cubrir los gastos de estadía. Este costo es en promedio 10 000 USD.

Por otro lado, los equipos de Máquina de Ensayo de Tensión, permeámetro GE TE FLOW y Máquina de prueba de xenón deben estar conectados a una computadora de escritorio que cuente con el software propio de la marca del equipo que describa los resultados de cada ensayo. Se recomienda que la computadora cuente con un procesador Core i7, tarjeta gráfica y una memoria RAM de 16 GB. El costo promedio de los equipos electrónicos es de 4 000 USD.

Finalmente, la propuesta del laboratorio tendrá un costo total en maquinaria, equipos, accesorios, instalación y calibración promedio de 56 570 USD aproximadamente.

5.1.4 Construcción de laboratorio

Para la implementación de los equipos y maquinaria necesaria para realizar los ensayos a los geotextiles se obtuvo la siguiente información sobre el laboratorio actual de Mecánica de Suelos: planos, áreas, instrumentos, entre otros. Con la información recolectada se analizó y planteó la distribución de las máquinas necesarias de forma que encajen de manera adecuada sin la necesidad de realizar cambios mayores al laboratorio.

Después de observar los planos de arquitectura e instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos actual, se escogió la siguiente área para colocar toda la maquinaria necesaria detallada en el apartado anterior, la cual se muestra en la Figura 29:

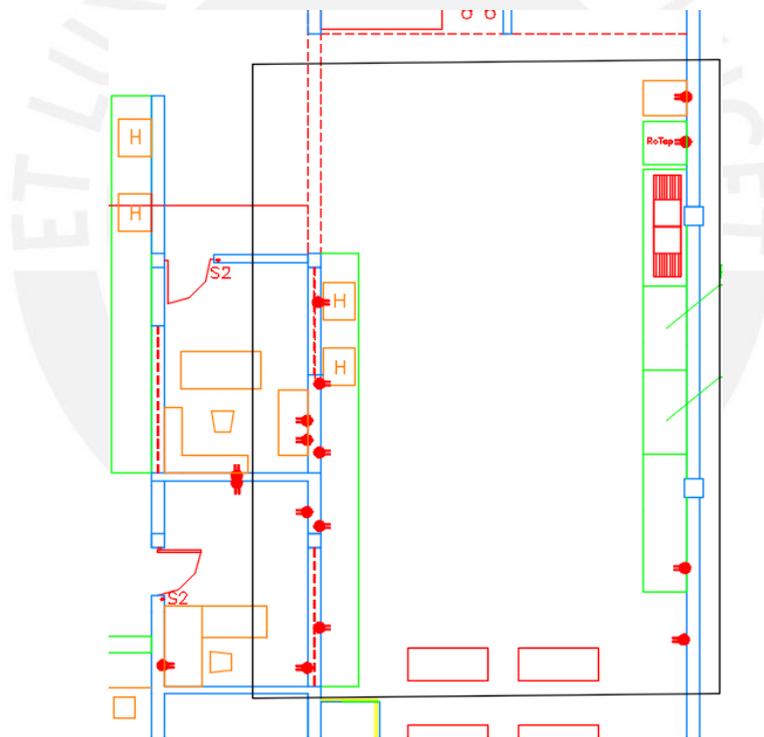


Figura 29. Área designada para colocar la maquinaria

Tomada de "Laboratorio de Mecánica de Suelos de la PUCP", 2021

Como se puede observar en esta área existen seis salidas de tomacorrientes, lo cual facilita el acceso a la electricidad, así mismo, se cuenta con una mesa larga donde se podrá colocar todas las máquinas. Además, en esa área existen equipos similares a las que se

sugieren implementar como las balanzas o permeámetros, por lo que se guardará relación con todo el ambiente del laboratorio. A continuación, se muestra el croquis de la propuesta de distribución de la maquinaria en el área designada. El detalle completo se detalla en el ANEXO 01 de la presente tesis.

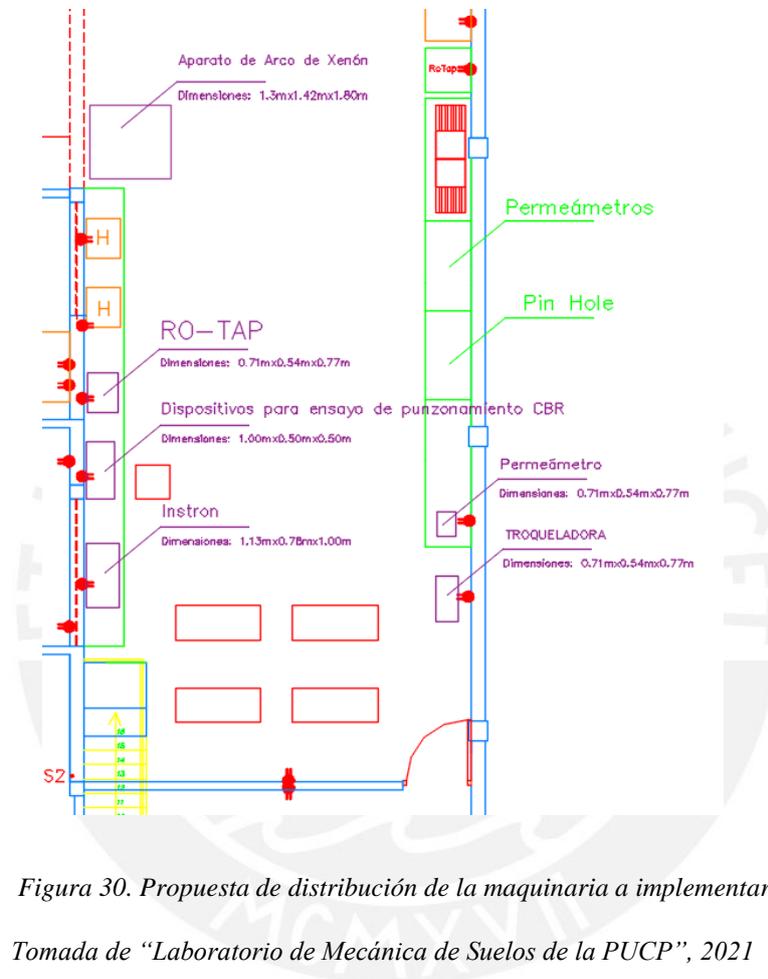


Figura 30. Propuesta de distribución de la maquinaria a implementar.

Tomada de "Laboratorio de Mecánica de Suelos de la PUCP", 2021

5.2 Postulación a la acreditación GAI-LAP

En esta sección se detallan los requerimientos y documentos solicitados para la postulación de un laboratorio al programa y acreditación GAI-LAP. Todos los laboratorios de GAI LAP deben cumplir los acuerdos de la ISO 17025 "Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración".

Según el Programa de Introducción al Instituto de Acreditación de Geosintéticos (2021), el costo de este programa es financiado por los laboratorios que postulan a la acreditación y las organizaciones miembros de GSI a través de cuotas de membresía anual.

Para postular a la acreditación GAI-LAP es necesario llenar una solicitud del Instituto de Geosintéticos (GSI) y enviarla, una vez completada, por correo electrónico al Dr. George R. Koerner quien es el actual director del instituto (gsigeokoerner@gmail.com). Los principales datos que solicita el GSI son los siguientes:

- Dirección
- Contacto principal
- Número de teléfono
- Número de fax
- Dirección de correo electrónico
- Contacto secundario

Luego de completar los datos principales, se debe elegir el tipo de laboratorio que está postulando:

- Laboratorio independiente de pruebas comerciales
- Laboratorio de control de calidad del fabricante
- Instituto de investigación y desarrollo
- Gobierno

Como parte de la solicitud también se pide un manual de Calidad que debe seguir el esquema de la ISO 17025 "Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración ", un procedimiento operativo estándar (POE) para cada una de las pruebas de laboratorio que se desean acreditar y agregar al programa, informes de laboratorio de cada prueba ASTM, una lista de verificación de control de documentos que debe incluir

el estado y ubicación del laboratorio con la respectiva descripción, fecha de la última revisión, número de revisión y número de páginas para cada elemento, una lista de inventario de equipos y su ubicación, una lista de acciones correctivas que informe los hallazgos y soluciones de problemas de calidad y una lista de material de referencia interno (IRM).

El programa de acreditación detalla unas condiciones para, además de obtener la acreditación, también mantenerla. Se pide al solicitante cooperar con el Instituto de Acreditación de Geosintéticos (GAI) para que pueda verificar que se cumplan todos los requisitos del laboratorio que desea obtener la acreditación. Además, precisa que cualquier reclamo o consulta de acreditación solo se limitará a los métodos de prueba que se eligen en la postulación. Las tarifas de postulación son las siguientes:

- El primer año se debe realizar un pago de 3 500 USD más los gastos de auditoría inicial (aproximadamente 20 000 USD) para la postulación a la acreditación.
- La cuota anual es de 2 500 USD y es independiente del número de ensayos solicitados para la postulación de la acreditación.
- Luego de cumplirse 5,10, 15, etc. años, se debe realizar un pago de 3 500 USD más los gastos de auditoría.

La acreditación se debe renovar de manera anual y se debe adecuar a los procedimientos de los organismos GAI y LAP de acuerdo con el año y condiciones generales de cada país, ya sea de manera virtual o presencial.

5.2.1 Elección de ensayos de laboratorio

La solicitud de postulación incluye una “Lista de métodos de prueba para los que soliciten la Acreditación”. Según la última actualización de abril del 2021, este documento contiene un total de 245 ensayos (185 ensayos ASTM, 1 ensayo FTM STD, 49 ensayos ISO, 1 ensayo CEN, 7 ensayos EN, 1 ensayo BAW y 1 ensayo CAN).

Los ensayos para los cuales se solicite la acreditación se deben marcar con un círculo en el número del listado o un check junto al número. El Instituto de Geosintéticos acreditador del laboratorio será quien envíe las muestras que se deben ensayar. A continuación, se detallan los ensayos seleccionados para la propuesta de laboratorio de la presente tesis:

Ensayos mecánicos:

- ASTM D 4632: Método de prueba estándar para la carga de rotura por agarre y elongación de geotextiles

Este ensayo, también conocido como Resistencia Grab, es muy importante ya que además de hallar el valor de carga de rotura por agarre, comprueba que los geotextiles no tejidos tiene una elongación a la rotura mayor al 50% y los geotextiles tejidos una elongación a la rotura menor al 50%. La Figura 31 detalla las elongaciones (%) de cinco tipos de geotextiles:

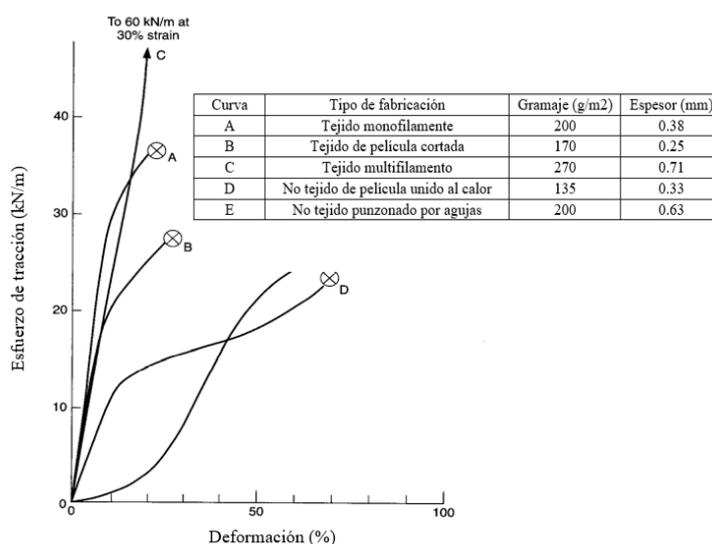


Figura 31. Resultados del ensayo de tensión Grab.

Tomada de "Diseño con Geosintéticos", por Robert Koerner, 2005

Así, por ejemplo, cuando el geotextil cumpla la función de separación de capas subrasante y granular, la elongación que se puede generar en el geosintético por el paso de

los vehículos y configuración de los granulares debe ser de un porcentaje alto para que el geotextil cumpla su función. A continuación, se detalla en la Figura 32 su importancia:

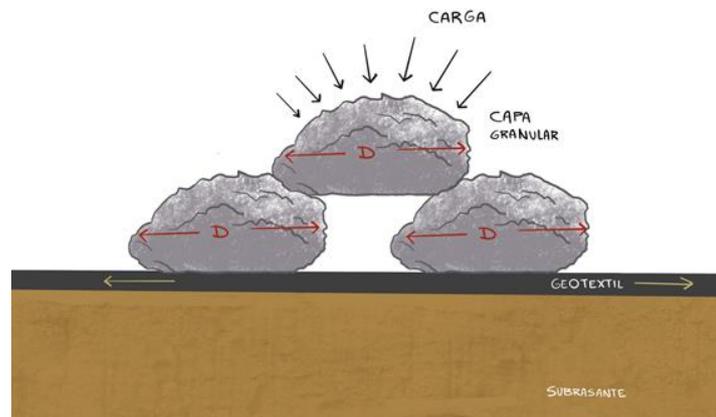


Figura 32. Geotextil de separación entre capas subrasante y granular.

- ASTM D 6241: Método de prueba estándar para resistencia a la perforación estática de geotextiles y productos relacionados con geotextiles utilizando un pistón de 50 mm

Este ensayo es fundamental para conocer el valor de la resistencia de los geotextiles al punzonamiento, por ejemplo, de materiales granulares. El pistón de 50 mm utilizado simula las condiciones que se pueden encontrar en obra. Por ejemplo, en la aplicación de protección de geomembrana, la resistencia al punzonamiento CBR garantizará que el geotextil proteja a la geomembrana. La Figura 33 muestra el comportamiento del geotextil al punzonamiento:

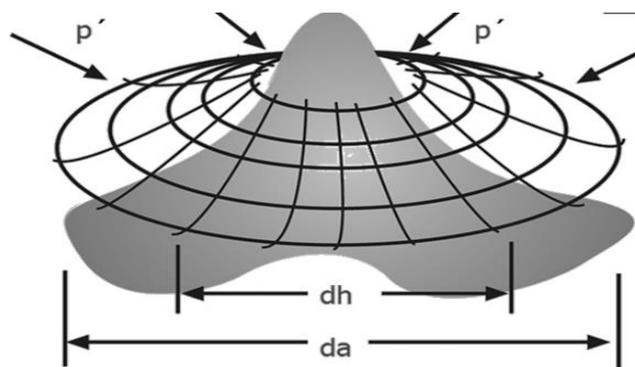


Figura 33. Comportamiento del geotextil al punzonamiento.

Tomada de "Manual de diseño con Geosintéticos", por Pavco Wavin, 2012

- ASTM D 4533: Método de prueba estándar para resistencia al desgarro trapezoidal de geotextiles

Todos los materiales utilizados en la construcción de proyectos están expuestos a cortes y deterioros producto del proceso constructivo. Este ensayo halla la resistencia al desgarro de los geotextiles. Es decir, cuánto pueden resistir estos geosintéticos cuando tienen un corte y se va generando una rotura progresiva.

Ensayos hidráulicos:

- ASTM D 4751: Métodos de prueba estándar para determinar el tamaño de abertura aparente de un geotextil

Este ensayo determina el diámetro de partícula máximo que puede atravesar el geotextil. Es uno de los más importantes, ya que con este ensayo se asegura, por ejemplo, en la aplicación de separación que el geotextil permite el libre paso del agua pero que retenga las partículas que tengan mayor diámetro que el de su abertura aparente.

- ASTM D 4491: Métodos de prueba estándar para la permeabilidad al agua de geotextiles por permisividad

Con este ensayo se puede garantizar que la velocidad o permeabilidad que se ejerce a través los geotextiles sea mayor a los materiales que están en contacto con ellos. Con ello, por ejemplo, se evita que se generen barreras hidráulicas donde no se permita el libre paso del agua. Este método determina valores de permeabilidad, permitividad y tasa de flujo.

Ensayos físicos:

- ASTM D 5261: Método de prueba estándar para medir la masa por unidad de área de geotextiles

Este ensayo permitirá determinar la masa por unidad de área del geotextil. Para este ensayo se necesitan como mínimo 5 especímenes obtenidos de manera que representen el ancho del rollo y en combinación con un área mínima de 100 000 mm² de un mismo lote de geotextiles. Con estos especímenes se halla el valor promedio mínimo de gramaje. Si bien la aplicación de gramaje no garantiza las propiedades mecánicas e hidráulicas del geotextil, sí es utilizada actualmente para la función de protección de geomembrana junto con el espesor que debe tener el geotextil. La Figura 34 ilustra el ensayo de masa por unidad de área a una muestra de geotextil tejido:



Figura 34. Muestra del ensayo de masa por unidad de área a geotextil tejido

Tomada de "Diseño de Infraestructura con Geosintéticos", por Pavco Wavin, 2021

- ASTM D 4355: Método de prueba estándar para el deterioro de geotextiles por exposición a la luz, la humedad y el calor en un aparato de arco de xenón

Este método consiste en la evaluación de la disminución de la resistencia a la tensión de los geotextiles expuestos a los rayos ultravioleta, el cual debe ser como mínimo mayor al 50%. Emplea como fuente de luz un arco de xenón. La radiación cambia según el tiempo de

exposición, el ángulo de inclinación sobre el horizonte, condiciones topográficas, atmosféricas y la geografía del lugar. Sin embargo, los geotextiles no deben quedar expuestos, ni durante su almacenamiento o instalación en los proyectos, ya que están hechos de fibras de polipropileno o poliéster que son materiales degradables. En el almacenamiento deben permanecer bajo techo y de ser aplicados en un proyecto deben quedar cubiertos ya sea enterrados o por una facha de vegetación u otra solución.

5.2.2 Acreditación anual

Los laboratorios acreditados a nivel mundial se encuentran listados en el siguiente enlace: <https://geosynthetic-institute.org/gai/lab.htm>. Cada uno de ellos presenta el nombre del representante, correo electrónico, teléfono y los métodos acreditados. Este listado solo incluye a aquellos laboratorios que están validados anualmente por el Instituto de Geosintéticos.

La renovación de la acreditación es anual y para postular se debe realizar un pago de 3 500 USD a la entidad encargada, y ellos se encargarán de la confirmación de la fecha a la cual se hará la nueva verificación y cumplimiento de los ensayos normados. Esta renovación se realizará de manera presencial o virtual según las restricciones de cada país.

Capítulo 6: Conclusiones y lecciones aprendidas

6.1 Conclusiones

- Diseño comparativo de solución con geotextiles no tejidos y solución tradicional

El uso de geotextiles para la función de separación evita la contaminación entre las capas granulares y subrasantes que conforman una vía. De manera indirecta, también, reduce los espesores del material granular que funcionan como espesores de sacrificio que se deterioran a lo largo de la vida útil de la obra. Además, la instalación de estos geosintéticos

reduce el tiempo de construcción, ya que no necesita de maquinaria ni personal capacitado únicamente en el uso de geotextiles; además, su proceso constructivo es sencillo.

En el ejemplo desarrollado en la presente tesis, se presentan dos escenarios (técnico y económico). Para el primer escenario, se concluye que, sin el uso de geotextiles no tejidos en la vía pavimentada y debido a que los espesores granulares se contaminan y no aportan al número estructural del pavimento, la servicialidad de la vía se reduce en un 36.3% a lo largo de su vida útil. Por otro lado, para el escenario económico, se logra un ahorro en el costo total del pavimento de por lo menos el 2.30 % con la inclusión de geotextiles no tejidos. Ello debido a que, en el diseño tradicional, se debe considerar un espesor adicional de sacrificio el cual representa al material contaminado que aporta estructuralmente a la vía durante su tiempo de vida útil.

- Comparativa de las normas involucradas

Los diseños de ingeniería en el Perú requieren de una normativa nacional específica para las condiciones del país. Aunque una normativa internacional es reconocida y aceptada a nivel mundial, es importante considerar la realidad constructiva y de diseño de cada país. El Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 del Perú es una traducción literaria de la norma AASHTO M288-06 (2011). Esta norma internacional es base para la especificación con geosintéticos, sin embargo, no abarca a todos los diseños con geotextiles en diferentes situaciones, como, por ejemplo, terrenos extremadamente cálidos, desérticos o húmedos que son comunes en el Perú. Otras condiciones que no se consideran son las otras aplicaciones que no engloban a las vías, como, por ejemplo, las defensas ribereñas, sistemas de antisocavación, entre otras.

Es necesario el compendio de una normativa peruana que abarque el diseño con geotextiles por especificación y función. Sobre todo, en los sectores viales, minería y

geotécnica. De esta manera, los profesionales dedicados al diseño y construcción de obras civiles aplicarán las normas peruanas que podrán desarrollar y competir en futuras las licitaciones públicas o privadas que soliciten el correcto uso y aplicación de los geosintéticos.

En Estados Unidos, El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute) es un organismo que supervisa el desarrollo de normas aplicables a distintos rubros. También, en este país se desarrolla la American Society for Testing Materials (ASTM) que determina las normas para la construcción de obras ingenieriles en base a ensayos, comportamientos de proyectos y guías (Enrigh, 2009). La ASTM, como se describe en la presente tesis regula los ensayos mecánicos, hidráulicos y físicos a los geotextiles. Por ello, sería necesario que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones tenga comunicación directa con esta sociedad y la AASHTO para que sean guías en la elaboración de una normativa peruana para todas las aplicaciones de estos geosintéticos.

- Propuesta de implementación de un laboratorio de aseguramiento de calidad de geotextiles en una empresa tercera (no fabricantes) en el Perú

La propuesta de implementación de un laboratorio de geotextiles debe ir acompañada de la acreditación GAI-LAP. De acuerdo con la Entidad Mexicana de Acreditación (2021), gracias a la obtención de una acreditación se garantiza la competencia técnica y confiabilidad de los organismos que postulan a la evaluación. Además, esta brinda seguridad sobre los productos y/o servicios que se ensayan y evalúa la calidad del producto fabricado.

Según el grupo Lab Manager (2021), los laboratorios de ensayo y calibración acreditados cuentan con un sistema de gestión de calidad. Gracias a este sistema se reduce posibles errores durante la fabricación y ensayos, en este caso, de los geotextiles. También,

aumenta la productividad del laboratorio, lo cual genera confianza en los clientes o entidades que soliciten los ensayos.

Por otro lado, cada año, se evalúa al laboratorio y su personal. Con ello, se afianza que el personal del laboratorio desarrolle nuevas metodologías tecnológicas en el área de los geosintéticos. Es decir, el personal mejora su desempeño y se compromete a cumplir con el sistema de gestión de la calidad y los estándares de desempeño.

Como se menciona en la presente tesis, existe solo un laboratorio de geotextiles acreditados en el Perú. La propuesta de implementación de un segundo laboratorio en el país beneficia tanto al fabricante como al cliente. Los fabricantes podrán demostrar en un laboratorio tercero la calidad de los geotextiles. Esto genera eficiencia ya que se puede reducir costos generales de ensayos adicionales que soliciten los clientes como aseguramiento de calidad, lo cual a su vez garantiza imparcialidad. Los clientes, por otro lado, tendrán la opción de reevaluar la calidad del producto adquirido en una empresa que no esté directamente relacionada al fabricante. Además, esto estimula la regulación de seguridad que cada año se volvería más efectiva.

6.2 Lecciones aprendidas

- Diseño comparativo de solución con geotextiles no tejidos y solución tradicional

Se recomienda el uso de geotextiles no tejidos punzonados por agujas de polipropileno para la función de separación. Estos geosintéticos, gracias a su proceso de fabricación, adquieren propiedades mecánicas e hidráulicas que permitirán que trabajen ante posibles punzonamientos, tengan una resistencia a la elongación mayor al 50%, retengan las partículas finas que produzcan contaminación entre capas y permitan el libre paso del agua.

Para el diseño por especificación se deben cumplir los valores Mínimos Promedios por Rollos (VMPR o MARV). Estos valores tienen un nivel de confiabilidad igual al 97.5% y garantizan la calidad del geosintético.

- Comparativa de las normas involucradas

De acuerdo con la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica (2012), como consecuencia de la globalización, las empresas dedicadas al diseño de ingeniería prestan sus servicios en diferentes países. Las normas ASTM, por ejemplo, son reconocidas a nivel internacional y su aplicación, Sin embargo, siempre se debe diseñar cada proyecto las condiciones locales del sitio. Por ello, también es importante contar con normas nacionales que regulen estas construcciones.

Es importante exhortar a los colegios de ingenieros, asociaciones y universidades ser partícipes del desarrollo de normas que favorezcan la ejecución de proyectos innovadores de alto nivel que sume al desarrollo de su país.

- Propuesta de implementación de un laboratorio de aseguramiento de calidad de geotextiles en una empresa tercera (no fabricantes) en el Perú

El grupo Lab Manager (2021) detalla seis valores y principios que se logran con un laboratorio acreditado. El primero es la responsabilidad, ya que el laboratorio contará con una organización que ejecutará diferentes tareas específicas reguladas por una autoridad que verificará los resultados. El segundo principio es el enfoque científico. Un acreditado debe seguir métodos o estándares basados científicos y aceptados por expertos en la materia. El tercer valor que describen es la objetividad e imparcialidad. Los resultados obtenidos en el laboratorio no pueden ser subjetivos, deben ser mensurables en las unidades determinados por la norma. El cuarto principio es la reproducibilidad. Los resultados obtenidos de los distintos ensayos tendrán un rango aceptable de valores, estos se pueden usar en futuras

pruebas futuras de acuerdo con lo establecido por la norma y los equipos y otros implementos utilizados. El quinto valor detallado es la transparencia. Los ensayos de laboratorio deben ser resultados objetivos basados en principios científicos. Por último, la virtud de la capacidad. Un laboratorio acreditado no solo debe contar con los equipos de ensayo, sino también debe estar conformado por profesionales con habilidades y conocimientos solicitado para asegurar la consistencia de los procedimientos.



BIBLIOGRAFÍA

American Association of State Highway and Transportation Officials & American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011) *Standard Specification for: Geosynthetic Specification for Highway Applications (M 288-06)*. Washington D.C, Estados Unidos: AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials & American Association of State Highway and Transportation Officials. (2017) *Standard Specification for: Geosynthetic Specification for Highway Applications (M 288-17)*. Washington D.C, Estados Unidos: AASHTO

American National Standards Institute. (2021). Disponible 15 de noviembre de 2021, de <https://www.ansi.org/>

Bell. A L, et al. An Experimental Investigation of Sub-Base Protection Using Geotextiles. Ibid. pp. 435-440

DeGaridel, R and Javor, E. Mechanical Reinforcement of Low-Volume Roads by Geotextiles. Ibid, pp. 1021-1026

Delbono, L., Ricci, L., Fensel, E., Botasso G. (2006). Permeabilidad Normal al Plano en Productos Geosintéticos. *Revista de la Construcción – Escuela de Construcción Civil*, pp. 1-7

Delmas, Ph. et al. (1986). Unsurfaced Roads Reinforced by Geotextiles - A Seven Year Experiment Proc. 3rd Int. Conf. on Geotextiles, Vienna, 1015-1020

Elhajjar, R., Hani H., Van Dyke, S. y Erfanian, H. (2017). Correlation of ASTM D4833 and D6241 Geotextile Puncture Test Methods and Results for Use on WisDOT Projects. *Department of Civil and Environmental Engineering University of Wisconsin – Milwaukee*, pp. 4-63

Geosistemas Pavco S.A. (2009) *Manual de Diseño con Geosintéticos*. Bogotá, Colombia: Zetta Comunicadores S.A.

Geosynthetic Institute (s.f.). Disponible 30 de setiembre de 2021, de <https://geosynthetic-institute.org/>

Giroud, J-P. (1982). Filter Criteria for Geotextiles. Proc 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, pp. 103-107

Koerner, G. (2020). Application for Laboratory Accreditation Program. *Geosynthetic Accreditation Institute*, pp. 1-11

Koerner, R. (2005) *Designing with Geosynthetics (5.a ed.)*. Nueva Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall College Div.

Koerner, R. (2013) *Geosynthetics in Filtration, Drainage and Erosion Control*. Estados Unidos: Elsevier Science

Lab Manager. (2021). Laboratory Accreditation. Disponible 15 de noviembre de 2021, de <https://www.labmanager.com/business-management/laboratory-accreditation-7263>

Laval Lab INC. (2020). Tamizadoras Ro-Tap. Disponible 4 de octubre de 2021, de <https://lavallab.com/es/products/tamizadores-zarandas-tamices/tamizadoras-ro-tap/>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013) *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima, Perú: Macro

Perfetti, J. y Sangster, T. (1990). Nonwoven Needlepunched Geotextiles in Low-Cost Roads. *Construction & Building Materials: CBM*, pp. 43-45

Q- LAB (2021), Disponible 4 de octubre de 2021, de <https://www.q-lab.com/es-es/products/q-sun-xenon-arc-test-chambers>

Rycobelgroup (2021). Disponible 3 de octubre de 2021, de <https://www.rycobel.com/products/ge-te-flow-permeameter>

Schaeffner, M and Khay, M. Measurement of Anticontaminant Property of Fabrics Under Simulated Traffic Load. *Ibid*, pp. 429-434

Sowers, G F, et al. Mechanism of Geotextile-Aggregate Support in Low-Cost Roads. *Ibid*, pp. 341-346

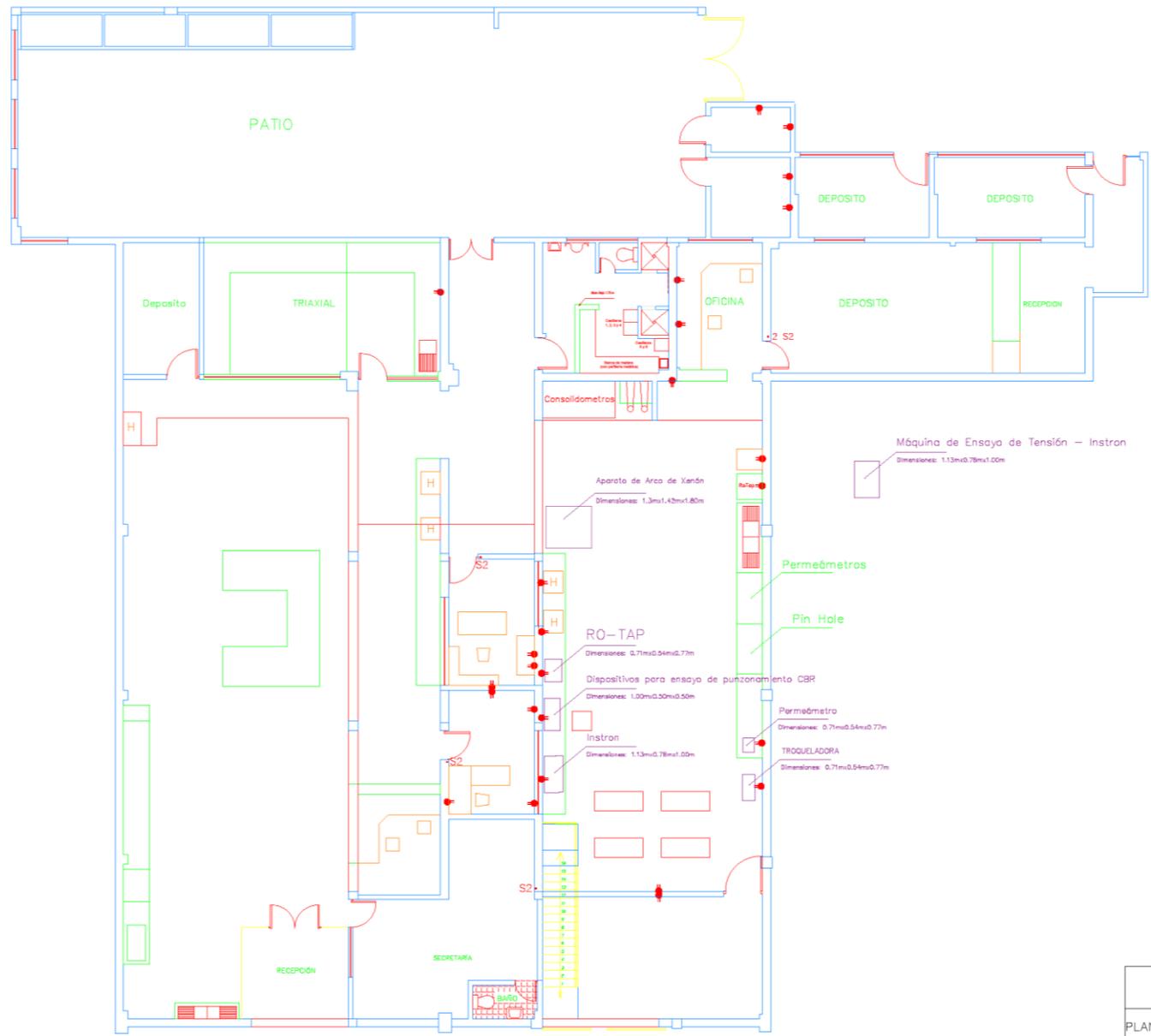
Tracción – Instron (s.f.). Disponible 23 de setiembre de 2021, de <https://www.instron.com/es-ar/testing-solutions/by-material/textiles/tension>

Yañez, D (2012). El uso de las normas nacionales e internacionales como elemento de competitividad en la práctica profesional de servicios de Ingeniería civil. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C*



**ANEXO A: PLANO DE PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE
LABORATORIO DE GEOTEXTILES**





PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
PLANO DE ARQUITECTURA – LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS		
ESC: 1/50	FECHA: OCTUBRE-2000	SAN MIGUEL

**ANEXO B: RESUMEN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE
LABORATORIO Y ACREDITACIÓN GAL-LAP**



Resumen de costos de implementación de laboratorio y Acreditación GAI-LAP		
	Descripción	Precio (USD)
Equipo	Balanza	360
	Máquina Ensayo de Tensión	15 000
	Permeámetro GE TE FLOW	3 000
	TROQUELADORA	350
	INDICADOR DIGITAL	660
	TAMIZADORA	3 200
	Máquina de prueba de xenón	20 000
Instalación	Máquina de Ensayo de Tensión y permeámetro GE TE FLOW + estadía de especialista en Perú	10 000
Computadora de escritorio	Computadora con un procesador Core i7, tarjeta gráfica y una memoria RAM de 16 GB para realizar las pruebas en la Máquina de Ensayo de Tensión, permeámetro GE TE FLOW y Máquina de prueba de xenón	4 000
Postulación a la Acreditación GAI-LAP	Pago más los gastos de auditoría inicial para la postulación a la acreditación	23 500
Cuota anual	Cuota anual para los 5 primeros años de Acreditación GAI-LAP	2 500
TOTAL (USD)		82 570