

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,**  
**MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE  
GEOTEXILES DE POLIPROPILENO NO TEJIDO MEDIANTE  
ENSAYOS DE TRACCIÓN Y ELONGACIÓN NORMALIZADOS EN  
UNA MAQUINA UNIVERSAL PARA POLÍMEROS”**

**TESIS PRESENTADA POR LOS BACHILLERES:**  
**CÁRDENAS CUENTAS, JIMMY RENZO**  
**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO MECATRÓNICO**  
**PARI HALLASI, CRISTIAN ALFREDO**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

**AREQUIPA PERU**

**-2015 -**

## RESUMEN

El uso de los geotextiles en el Perú se ha incrementado debido a que el sector minero en los 10 últimos años ha aumentado y por ende necesidades de revestimiento en pozas de evaporación, presas de relaves, pozas de lixiviación, PAD's de lixiviación, como también en construcción de carreteras asfaltadas, hacen que estos materiales sean muy utilizados.

En el laboratorio de ensayos de materiales de la UCSM se realizaron pruebas de caracterización a los geotextiles proporcionados por la empresa Geosistemas PAVCO de Mexichem.

A las probetas se le realizaron ensayos de gramaje, tracción, agarre y punzonamiento; para estos se utilizaron balanzas analíticas, Maquinas de tracción y compresión, entre otros.

Las probetas del material geotextil fueron cortadas bajo las normas ASTM para dicho tipo de material, así como los diferentes ensayos, los valores obtenidos en los ensayos son muy cercanas a los indicados en el certificado de calidad del proveedor.

Los ensayos realizados presentaron los siguientes resultados,  $270.30 \text{ g/m}^2$  para el ensayo de gramaje,  $4.88 \text{ MPa}$  para el ensayo de tracción,  $462.6 \text{ N}$  para el ensayo de punzonamiento y  $1148.89 \text{ N}$  para el ensayo de agarre.

Como complemento a la investigación se realizó una simulación con el software SAP2000 para evaluar el comportamiento del geotextil de una aplicación real, el resultado que se obtenido fue de  $308 \text{ kN/m}^2$ .

## ABSTRACT

The use of geotextiles in Peru has increased due to the mining sector in the past 10 years has increased and therefore needs coating evaporation ponds, tailings impoundments, leach pads, PAD's leaching, as in construction of paved roads, making these materials widely used.

In laboratory tests UCSM materials characterization tests for geotextiles provided by the company Geosistemas PAVCO Mexichem performed.

The test tubes were performed assays weight, traction, grip and puncture; for these analytical balances tension and compression machines were used, among others.

The samples of geotextile were cut under the ASTM standards for that type of material and the various tests, the values obtained in the tests are very close to those given in the supplier's quality certificate.

Of tests conducted itself obtained the following results : 270.30 g / m<sup>2</sup> for testing weight , 4.88 MPa for the tensile test , 462.6 N for testing indentation and 1148.89 N grip for testing .

Additional to that characterization SAP2000 software simulation was performed to evaluate the behavior of geotextile of a real application, simulation maximum effort of 308 kN / m<sup>2</sup> was obtained.

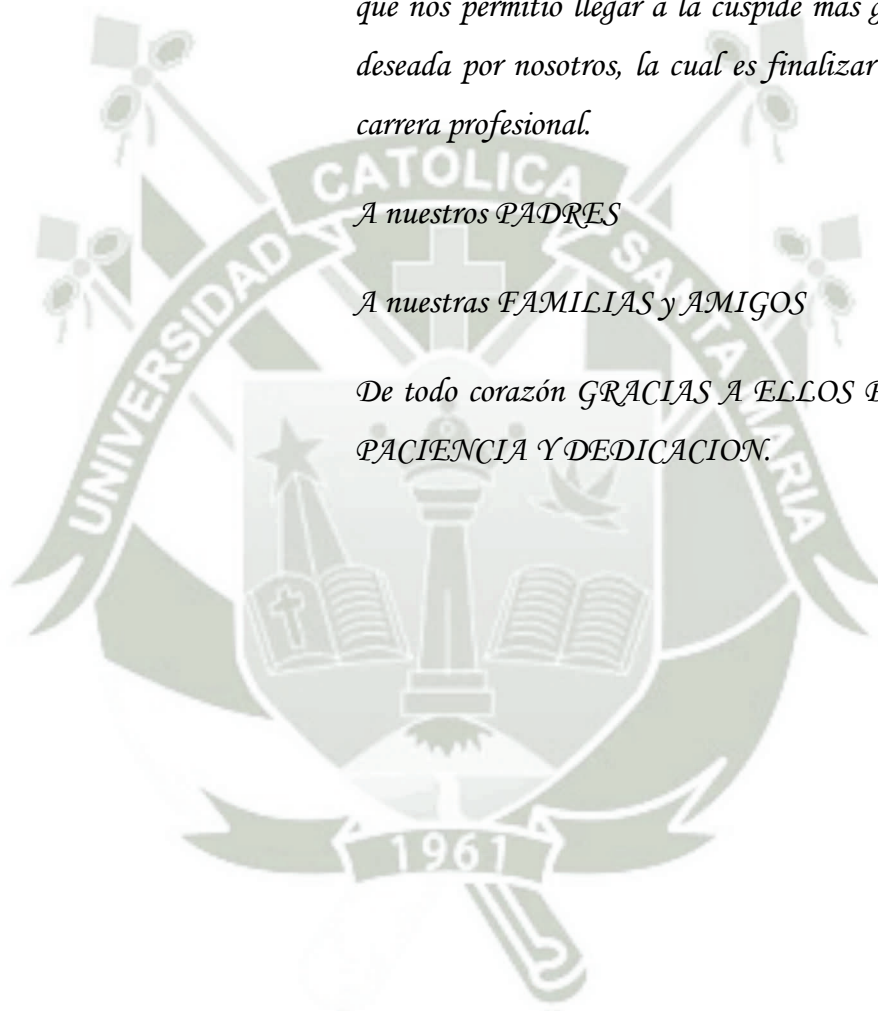
## *AGRADECIMIENTOS*

*Agradecidos y contentos nos sentimos, principalmente con DIOS TODO PODEROSO, que nos permitió llegar a la cúspide más grande y deseada por nosotros, la cual es finalizar nuestra carrera profesional.*

*A nuestros PADRES*

*A nuestras FAMILIAS y AMIGOS*

*De todo corazón GRACIAS A ELLOS POR SU  
PACIENCIA Y DEDICACION.*



## *DEDICATORIAS*

*A DIOS por darnos la vida y guardarnos en todo momento, por brindarnos la sabiduría y perseverancia para mantenernos firmes a lo largo del trayecto y permitirnos alcanzar esta meta.*

*A MIS PADRES y mi hermano por darme su apoyo incondicional, incentivar me y tenerme paciencia a lo largo de toda mi carrera. Gracias, LOS QUIERO MUCHO.*

*A MI NOVIA estar siempre a mi lado, apoyándome con todo su amor y a veces haciéndome presión para que me esforzara y lograra terminar este trabajo. Te Amo.*

*Renzo Cárdenas Cuentas.....*

*A DIOS por darme la vida y fuerzas para lograr esta meta. Te agradezco señor por estar siempre a mi lado y nunca desampararme. Gracias señor por todo.*

*DE TODO CORAZÓN A MIS PADRES, porque gracias a su sacrificio y su apoyo incondicional he podido culminar mi carrera, a mis hermanas por el cariño y ánimos para acabar la carrera.*

*A mi hija por ser una motivación más para salir adelante, te quiero mucho.*

*Cristian Alfredo Pari Hallasi*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIAS .....	iv
ÍNDICE .....	1
INDICE DE FIGURAS .....	5
INDICE DE TABLAS .....	8
INTRODUCCIÓN .....	10
OBJETIVO PRINCIPAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
JUSTIFICACIÓN .....	11
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
ANTECEDENTES .....	12
ALCANCES Y LIMITACIONES .....	13
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>MARCO TEORICO</b>	
1.1 Los Geosintéticos .....	14
1.1.1 Definición de los geosintéticos .....	14
1.1.2 Aspectos Generales.....	14
1.1.3 Elementos de los geosintéticos.....	16
1.1.3.1 Polietileno. ....	17
1. 1.3.2 Polipropileno .....	17
1.1.3.3 Poliéster .....	18
1.1.3.4 Policloruro de Vinilo .....	18
1.1.3.5 Poliuretano .....	18
1.1.4 Introducción al uso de los Geosintéticos.....	19
1.1.4.1 Diseño por función.....	19
1.1.4.2 Diseño por disponibilidad y costos.....	20
1.1.4.3 Diseño por método empírico o experiencia.....	20

1.1.4.4	Diseño por especificaciones .....	20
1.1.5	Funciones primordiales de los geosintéticos.....	21
1.1.5.1	Separación.....	21
1.1.5.2	Refuerzo. ....	22
1.1.5.3	Filtración. ....	23
1.1.5.4	Drenaje planar. ....	24
1.1.5.5	Barrera Impermeable.....	25
1.1.5.6	Control de Erosión .....	25
1.1.6	Clasificación de los geosintéticos. ....	27
1.1.6.1	Geotextiles.....	27
1.1.6.2	Geomallas. ....	29
1.1.6.3	Georedes .....	32
1.1.6.4	Geomembranas .....	34
1.1.6.5	Geocompuestos .....	35
1.1.6.5.1	Geocompuestos Drenantes.....	35
1.1.6.5.2	Geocompuestos Impermeabilizantes .....	35
1.1.6.5.3	Geocompuestos Reforzantes.....	36
1.1.6.6	Geoceldas .....	37
1.1.6.7	Naturaleza polimérica de los geosintéticos y sus propiedades generales.....	38
1.2	GEOTEXTILES .....	39
1.2.1	Características de los Geotextiles.....	40
1.2.2	Composición de los Geotextiles.....	41
1.2.2.1	Tipos de Fibras .....	42
1.2.2.1.1	Monofilamentos .....	42
1.2.2.1.2	Multifilamentos .....	42
1.2.3	Clasificación de los Geotextiles .....	43
1.2.3.1	Clasificación según su método de elaboración.....	43
1.2.3.2	Clasificación de los geotextiles según su composición.....	48
1.2.4	Procesos de fabricación.....	48
1.2.4.1	Tipo de filamentos .....	49
1.2.4.2	Tipo de proceso productivo.....	50

1.2.4.2.1 Geotextiles Tejidos.....	50
1.2.4.2.2 Geotextiles No Tejidos .....	51
1.2.5 Funciones de los Geotextiles .....	53
1.2.5.1 Función de separación .....	54
1.2.5.2 Función refuerzo.....	54
1.2.5.3 Función de drenaje .....	55
1.2.5.4 Función filtro .....	55
1.2.5.5 Función protección .....	56
1.2.5.6 Función de impermeabilización .....	56
1.2.6 Propiedades de los Geotextiles .....	56
1.2.6.1 Requerimientos de las propiedades mecánicas .....	57
1.2.6.2 Requerimientos de propiedades hidráulicas.....	58
1.2.6.3Requerimientos para las Propiedades de Resistencia de los Geotextiles.....	59
1.2.6.4 Requerimientos para el geotextil en Drenaje Superficial .....	60
1.2.6.5Requerimientos para las propiedades del geotextil en Separación.....	61
1.2.6.6 Requerimientos para las propiedades del geotextil en condición de Subrasante.....	62
1.2.6.7 Requerimientos para las propiedades en Estabilización .....	63
1.2.6.8 Requerimientos para el geotextil en Control Permanente de Erosión.....	64
1.2.6.9 Requerimientos para geotextil en Defensas de Arcillas Temporales .....	65
1.2.6.10 Requerimientos para Propiedades del Geotextil en Pavimentación.....	66
1.2.6.11 Normas usadas en el Perú .....	66

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

2.1 Materiales y equipos de ensayo .....	68
--	----

2.1.1 Materiales .....	68
2.1.2 Equipos .....	68
2.2 Caracterización Mecánica de los Geotextiles. ....	77
2.2.1 Método de prueba estándar de medición de la masa por unidad de superficie de Geotextiles según norma ASTM D5261-92. ....	77
2.2.2 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los Geotextiles según norma ASTM D 638-03. ....	80
2.2.3 Método de prueba estándar para resistencia a la perforación de Geotextiles según norma ASTM D 4833-00. ....	83
2.2.4 Método de prueba estándar por método de agarre para Geotextiles no tejidos bajo carga concentrada según norma ASTM D 4632-08 .....	86
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>SIMULACIÓN DE APLICACIÓN DE GEOTEXTIL NO TEJIDO</b>	
3.1 Planteamiento de aplicación.....	92
3.2 Modelamiento.....	94
3.3 Resultados de la simulación.....	95
3.3.1 Escenario 1 .....	96
3.3.2 Escenario 2 .....	98
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>ANÁLISIS MECANICO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	
4.1 Análisis de la masa por unidad de superficie.....	100
4.2 Análisis Mecánico por el Ensayo de Tracción .....	104
4.3 Análisis Mecánico por el Ensayo de Punzonamiento.....	109
4.4 Análisis Mecánico por el Ensayo de Agarre.....	113
4.5 Simulación del geotextil no tejido .....	117
4.5.1 Escenario 1 .....	117
4.5.2 Escenario 2 .....	117

CONCLUSIONES.....	118
RECOMENDACIONES .....	119
REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS .....	120
ANEXOS	

### INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Crecimiento del mercado de los geosintéticos en el mundo. ....	16
<b>Figura 1.2</b>	Función de separación.....	22
<b>Figura 1.3:</b>	Función de refuerzo. ....	23
<b>Figura 1.4</b>	Función de Filtración.....	24
<b>Figura 1.5</b>	Función de drenaje planar.....	24
<b>Figura 1.6</b>	Función de barrera.....	25
<b>Figura 1.7</b>	Control de Erosión.....	26
<b>Figura 1.8</b>	Clasificación de los geosintéticos.....	27
<b>Figura 1.9</b>	Geotextil no tejido usado en separación de caminos. ....	28
<b>Figura 1.10</b>	Rollos de Geotextil .....	28
<b>Figura 1.11</b>	Geomalla Mono-orientada.....	29
<b>Figura 1.12</b>	Geomalla Bi-orientada.....	30
<b>Figura 1.13</b>	Geomallas Multiaxiales .....	30
<b>Figura 1.14</b>	Colocación de la geomalla antes de la instalación del relleno de mejoramiento. Las geomallas en el mejoramiento de accesos mineros – Pierina (Obra: Mejoramiento vías de acerreo PIERINA) [10].....	31
<b>Figura 1.15</b>	Colocación de las 10 pulg. de relleno de mejoramiento y aseguramiento de los traslapes (60cm) de la geomalla BX1200 [10]. ....	32
<b>Figura 1.16</b>	Georedes .....	33
<b>Figura 1.17</b>	Geomembrana HDPE .....	34
<b>Figura 1.18</b>	Geocompuestos Drenantes. a) Geocompuesto con geomalla. b) Geocompuesto con geotextil. ....	35
<b>Figura 1.19</b>	Geocompuestos Impermeabilizantes .....	36
<b>Figura 1.20</b>	Geocompuestos Reforzantes.....	37

<b>Figura 1.21</b>	a) Geoceldas b) Geocelda Permeable .....	38
<b>Figura 1.22</b>	Resistencia Química de los geotextiles.....	40
<b>Figura 1.23</b>	Resistencia a temperatura .....	41
<b>Figura 1.24</b>	Geotextiles tejidos .....	45
<b>Figura 1.25</b>	Geotextiles No tejidos .....	46
<b>Figura 1.26</b>	Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles .....	50
<b>Figura 1.27</b>	Funciones de los geotextiles .....	53
<b>Figura 2.1:</b>	Geotextil No Tejido 270 g/m2.....	68
<b>Figura 2.2:</b>	Equipo para ensayo de Tracción y Agarre .....	69
<b>Figura 2.3:</b>	Equipo para ensayo de Punzonado. ....	70
<b>Figura 2.4:</b>	Mordaza para ensayo de Tracción.....	70
<b>Figura 2.5:</b>	Mordaza para ensayo de Agarre.....	71
<b>Figura 2.6:</b>	Punzón.....	71
<b>Figura 2.7:</b>	Abrazadera de 2 ½" y tubo de apoyo.....	72
<b>Figura 2.8:</b>	Prensa manual.....	72
<b>Figura 2.9:</b>	Troquel.....	73
<b>Figura 2.10:</b>	Balanza digital.....	73
<b>Figura 2.11:</b>	Micrómetro digital.....	73
<b>Figura 2.12:</b>	Regla, marcador y cutter.....	74
<b>Figura 2.13:</b>	Hardware – PC.....	75
<b>Figura 2.14:</b>	Software – Ensayo de tracción y agarre.....	75
<b>Figura 2.15:</b>	Software – Ensayo de punzonado.....	76
<b>Figura 2.16:</b>	Microscopio estereográfico.....	76
<b>Figura 2.17:</b>	Micrómetro .....	77
<b>Figura 2.18:</b>	Probeta para medición de masa.....	78
<b>Figura 2.19:</b>	Espesor de probetas.....	79
<b>Figura 2.20:</b>	Medición de masa.....	80
<b>Figura 2.21:</b>	Dimensiones de probeta para ensayos de tracción .....	81
<b>Figura 2.22:</b>	Corte de material con troquel y prensa manual.....	81
<b>Figura 2.23:</b>	Probetas marcadas para realizar ensayo de tracción .....	82
<b>Figura 2.24:</b>	Probeta instalada en mordazas para realizar el ensayo.....	83

<b>Figura 2.25:</b> Probetas de 100x100mm para ensayo de resistencia a la perforación .....	83
<b>Figura 2.26:</b> Proceso de sujeción de probeta en placa de apoyo.....	84
<b>Figura 2.27:</b> Posición centrada de la placa de apoyo.....	85
<b>Figura 2.28:</b> Posición de punzón.....	85
<b>Figura 2.29:</b> Ensayo de Punzonamiento .....	86
<b>Figura 2.30:</b> Diseño de mordaza para ensayo de agarre. ....	87
<b>Figura 2.31:</b> Trazado del sentido de las probetas. ....	88
<b>Figura 2.32:</b> Trazado de probetas. ....	88
<b>Figura 2.33:</b> Línea central y horizontal en probetas de ensayo.....	89
<b>Figura 2.34:</b> Distancia entre mordazas al inicio del ensayo. ....	90
<b>Figura 2.35:</b> Montaje de probetas.....	90
<b>Figura 2.36:</b> Ensayo de Agarre.....	91
<b>Figura 3.1</b> Vista en planta – Cruce de drenaje Tubería CPT con agujeros.....	92
<b>Figura 3.2</b> Sección A – Uso de geotextil para separación del terreno.....	93
<b>Figura 3.3</b> Diagrama de la aplicación.....	94
<b>Figura 3.4</b> Modelamiento según aplicación .....	94
<b>Figura 3.5</b> Representación de cargas del relleno estructural.....	95
<b>Figura 3.6</b> Representación de cargas de camioneta.....	95
<b>Figura 3.7</b> Esfuerzo Von Mises .....	96
<b>Figura 3.8</b> Máximo Esfuerzo Von Mises.....	96
<b>Figura 3.9</b> Resultados de esfuerzo por corte – Escenario 1 .....	97
<b>Figura 3.10</b> Máximo esfuerzo por corte – Escenario 1.....	97
<b>Figura 3.11</b> Deformación de geotextil – Escenario 1 .....	98
<b>Figura 3.12</b> Esfuerzo máximo por punzonamiento – Escenario 2 .....	98
<b>Figura 3.13</b> Deformación – Escenario 2.....	99
<b>Figura 4.1</b> Fotografía del geotextil a 200 aumentos. ....	103
<b>Figura 4.2 a)</b> Fotografía de material no ensayado a 200 aumentos <b>b)</b> Imagen de la zona de ruptura a 200 aumentos de la probeta de tracción.....	108
<b>Figura 4.3</b> Vista del orificio generado por el punzón.....	112
<b>Figura 4.4 a)</b> Fotografía de material no ensayado a 200 aumentos, <b>b)</b> Imagen de la zona de ruptura a 200 aumentos.....	116

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1:</b>	Polímeros más usados en elementos geosintéticos.....	16
<b>Tabla 1.2</b>	Algunas Características de la geomalla Bi-orientada .....	30
<b>Tabla 1.3</b>	Algunas Características de la geomalla Multiaxiales .....	31
<b>Tabla 1.4</b>	Porcentaje de uso de Geotextiles. ....	41
<b>Tabla 1.5</b>	Propiedades de geotextiles tejidos.....	43
<b>Tabla 1.6</b>	Propiedades de geotextiles no tejidos.....	47
<b>Tabla 1.7</b>	Requerimientos de las propiedades mecánicas del geotextil (medidas en el sentido más débil del geotextil).....	57
<b>Tabla 1.8</b>	Requerimientos mínimos de propiedades hidráulicas del geotextil .....	58
<b>Tabla 1.9</b>	Requerimientos para las Propiedades de Resistencia de los Geotextiles .....	59
<b>Tabla 1.10</b>	Requerimientos para el geotextil en Drenaje Superficial.....	60
<b>Tabla 1.11</b>	Requerimientos para las propiedades del geotextil en Separación .....	61
<b>Tabla 1.12</b>	Requerimientos para las propiedades del geotextil en condición de Subrasante.....	62
<b>Tabla 1.13</b>	Requerimientos para las propiedades en Estabilización .....	63
<b>Tabla 1.14</b>	Requerimientos para el geotextil en Control Permanente de Erosión.....	64
<b>Tabla 1.15</b>	Requerimientos para geotextil en Defensas de Arcillas Temporales .....	65
<b>Tabla 1.16</b>	Requerimientos para Propiedades del Geotextil en Pavimentación.....	66
<b>Tabla 2.1:</b>	Descripción general del equipo de ensayo de Tracción y Agarre. ....	68
<b>Tabla 2.2:</b>	Descripción general del equipo de ensayo de Punzonado.....	69
<b>Tabla 2.3:</b>	Descripción general de hardware y software. ....	74

<b>Tabla 2.4:</b> Condiciones Ambientales en el laboratorio de ensayo de materiales.....	79
<b>Cuadro 4.1:</b> Dimensiones de las probetas para ensayo de Gramaje.....	100
<b>Cuadro 4.2:</b> Resultados de ensayo de Gramaje.....	101
<b>Cuadro 4.3:</b> Determinación aproximada del espesor de las fibras del geotextil.....	104
<b>Cuadro 4.4:</b> Dimensiones de las probetas de ensayo de tracción.....	105
<b>Cuadro 4.5:</b> Espesor de las fibras (mm) antes y después del ensayo probeta N° 3.....	107
<b>Cuadro 4.6:</b> Resultados de ensayo de Tracción.....	108
<b>Cuadro 4.7:</b> Dimensiones iniciales de las probetas para el ensayo de punzonamiento.....	110
<b>Cuadro 4.8:</b> Resultados de ensayo de punzonamiento.....	111
<b>Cuadro 4.9:</b> Dimensiones iniciales de probetas para ensayo de Agarre.....	113
<b>Cuadro 4.10:</b> Resultados de ensayo de Agarre.....	114
<b>Cuadro 4.11:</b> Resultados de espesores del ensayo en el geotextil.....	116

## INTRODUCCIÓN

Los geotextiles se pueden definir como un material textil permeable, plano y de varios tipos de polímeros, que se emplea en contacto con suelos y otros materiales para aplicaciones en ingeniería civil. Los polímeros usados en la elaboración de geotextiles suelen ser de origen sintético debido a su mayor durabilidad frente a los naturales.

Los polímeros poseen propiedades físicas y químicas muy disímiles constituidas por moléculas simples. Los que se obtienen de manera industrial se conocen como plásticos, éstos también pueden ser llamados homopolímeros, los cuales se producen cuando el polímero es formado por la polimerización de monómeros iguales, el geotextil está formado en su mayor parte por polipropileno, que es un termoplástico obtenido por la polimerización del propileno, subproducto de la refinación del petróleo.

Los geotextiles se caracterizan por ser multifuncionales una vez colocados en el terreno. Esta propiedad les garantiza una posición ventajosa frente a otros sistemas o productos que existen en el mercado:

- Filtración: El geotextil retiene las partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso.
- Separación: Aparta dos capas de suelo de distintas propiedades físicas (granulometría, plasticidad, consistencia) y así evita que los materiales se junten.
- Drenaje: El geotextil conduce y evacua sustancias líquidas, incluso gases en su mismo plano.
- Refuerzo: Amplía la capacidad portante del suelo y la estabilidad en la construcción.
- Protección: El geotextil resguarda a geomembranas y a otros productos relacionados contra ataques físicos como perforaciones, ralladuras, cortes, etc.

Las primeras referencias de la utilización moderna de geotextiles datan de los años 60 y se refieren a la construcción de obras marítimas en Holanda. Comenzaron a emplearse en funciones de drenaje y filtración. A partir de ese momento la tecnología de diseño y aplicación se va desarrollando tanto en Europa como en Estados Unidos y se consiguen nuevas funciones para otros campos de la obra civil, como son el refuerzo y separación del terreno, en el Perú su uso enfocado a asfaltado de carreteras y también aumentado en rubro de la minería.

### **OBJETIVO PRINCIPAL**

Caracterizar en sus propiedades mecánicas el polipropileno como material textil plano de fibras poliméricas termoplásticas usado como geotextil non woven, utilizando un máquina universal de ensayos para polímeros tipo Instron.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar los ensayos de desgarre, tracción y elongación en este tipo de materiales, a fin de poder manejar las distintas variables que presenta el software asociado a la máquina de tracción para polímeros.
2. Efectuar distintos ensayos a tracción y elongación sobre probetas de geotextil no tejido utilizando la Norma ASTM D 4632.
3. Modelar el comportamiento de la fibra mediante software simulando un caso de estudio real.

### **JUSTIFICACIÓN**

Uno de los primordiales usos de los textiles es como refuerzo a la tracción: usados debidamente, estos tejidos introducen un elemento resistente a la tensión en el sistema estructural, normalmente son fuertes en compresión pero débiles en tensión. El efecto neto es similar a extender la carga sobre un área mayor.

Es por esta razón que se ha decidido realizar pruebas de tracción para éstos materiales a fin de evaluar esta propiedad en sus aplicaciones netamente geotécnicas y poder visualizar observaciones para optimizar su comportamiento a la tracción.

El uso de la máquina de ensayos de tracción, puede ser utilizada para ensayar probetas normalizadas de polímeros y materiales compuestos, por lo tanto se puede brindar servicios para la industria y en investigación experimental; de esta manera se puede generar conocimientos e ingresos económicos a la Universidad.

### **Identificación del problema**

En el mercado de los geotextiles el fabricante suministra la información obtenida de sus ensayos tomados aleatoriamente a sus lotes de fabricación, el gramaje de los geotextiles presentan mucha dispersión siendo esta la razón por la que exista la probabilidad que el geotextil no cumpla con las especificaciones indicadas.

### **Antecedentes**

Los Geosintéticos son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, del tipo conocido genéricamente como “plásticos”, que de su forma elemental, de polvos o gránulos, son convertidos mediante uno o más procesos, en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, etc., o en compuestos de dos o más de ellos, existiendo también algunas combinaciones con materiales de origen vegetal [13]

- Los geosintéticos presentan además ventajas sobre los métodos tradicionales de construcción por su facilidad de colocación, durabilidad, rentabilidad a largo plazo.[3]

Los geosintéticos son elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos tales como el polietileno, polipropileno, poliéster y pvc

(policloruro de vinilo), también pueden ser utilizadas otros tipos de fibras como la fibra de vidrio y algunas fibras naturales. Los geosintéticos han sido utilizados desde hace varios años en diferentes de obras de ingeniería civil cumpliendo las funciones de refuerzo, filtración, drenaje, separación y barrera de fluidos.[1]

### **Alcances y limitaciones**

- Se realizó el ensayo de gramaje de bajo la normas ASTM D5261-92.
- Se realizó el ensayo de tracción para polímeros bajo la norma ASTM D 638-03.
- Se realizó el ensayo de punzamiento bajo la norma ASTM D 4833-00.
- Se realizó el ensayo grab del material bajo la norma ASTM D 4632-08.
- El laboratorio de ensayo de materiales no cuenta con la mordaza indicada en la norma ASTM D 4632-08, se tuvo que fabricar el par necesario.
- El laboratorio no cuenta con el punzón establecido en la norma ASTM D 4833 00, se fabricó un punzón.
- Solo se utilizó un geotextil no tejido de 270 gr/m<sup>2</sup>.
- Para la simulación del material se utilizó el software SAP, por ser el que contiene más propiedades de todo tipo de materiales.

## CAPÍTULO 1

### MARCO TEORICO

#### 1.1 Los Geosintéticos

##### 1.1.1 Definición de los geosintéticos

Son productos compuestos de fibras naturales combinados con materiales termoplásticos, estos tienen diversas propiedades Hidráulicas, Físicas y Mecánicas, logrando un uso apropiado para distintas obras civiles [1].

Los geosintéticos son productos en los que, por lo menos, uno de sus elementos de composición es de origen plástico ya sea artificial o de fibras naturales, y se muestra a modo de láminas, mantas, filtros o disposición tridimensional, los geosintéticos son utilizados en contacto con el suelo o también con otros materiales dentro del campo de la ingeniería civil o de la geotecnia [2].

La ASTM D – 4439-97 [3] define los geosintéticos como productos elaborados de materiales poliméricos usados en suelos, roca, tierra y otros materiales geotécnicos similares, como una parte integral de proyectos de ingeniería civil, estructuras u otras construcciones elaboradas por el hombre.

##### 1.1.2 Aspectos Generales

Los geosintéticos se derivan de fibras sintéticas, conformados esencialmente de polímeros como: polietileno, poliamida, polipropileno y poliéster, siendo los dos últimos, en la actualidad, los de mayor uso. [2].

Las clases más frecuentes de geosintéticos usados en el área de la ingeniería son: geomembranas, georedes, geomallas, Geotextiles, geocompuestos y mantos usados en control de erosión

procedentes de la combinación de las características y propiedades de cada uno de los anteriores [2].

Los geosintéticos generalmente son identificados por [1]:

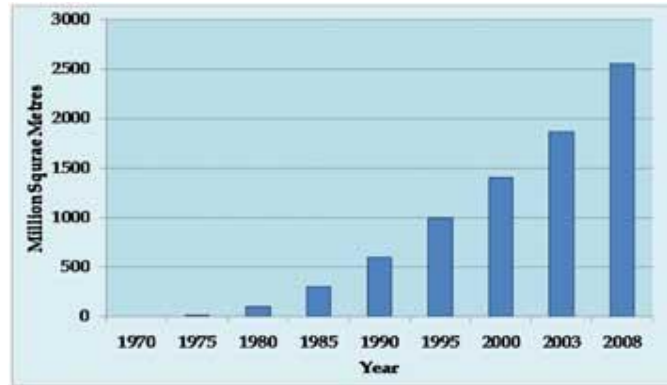
- Masa por unidad de área.
- Proceso de fabricación.
- Polímero componente.
- Propiedades físicas dependiendo de su aplicación.

Existen diversos campos de empleo de los geosintéticos en el ámbito de la construcción de obras civiles y la edificación como son [4]:

- Cuidados Medioambientales.
- Control de Erosión.
- Obras Hidráulicas
- Obras Civiles.

Para estudiar y comprender el progreso en el mercado nacional e internacional de los geosintéticos, es necesario estudiar su funcionalidad, naturaleza y ventajas dentro del desarrollo de un proyecto de pavimentación u otros. Los primordiales geosintéticos utilizados en este tipo de proyectos son los geotextiles, los geobloques, las geomallas y los geodrenes.

Su importancia radica en que son muy buenos en la solución en problemas cotidianos que involucran suelos naturales con problemas (agua libre, baja capacidad portante, contaminación de suelos granulares con suelos finos de menor calidad, etc.).



**Figura 1.1:** Crecimiento del mercado de los geosintéticos en el mundo.

**Fuente:** [ptj.com.pk/Web-2010/07-10/Picture/World-consumption-of-geotex.jpg](http://ptj.com.pk/Web-2010/07-10/Picture/World-consumption-of-geotex.jpg).

### 1.1.3 Elementos de los geosintéticos.

Los geosintéticos están compuestos por polímeros y fibras naturales (ejemplo: yute, algodón, etc). Los polímeros más usados son el polipropileno (PP), el polietileno (PE), el poliéster (PS), el poliuretano (PU) y el policloruro de vinilo (PVC) [1].

**Tabla 1.1:** Polímeros más usados en elementos geosintéticos

POLÍMERO	ABREVIATURA	UNIDAD DE REPETICIÓN
Polietileno	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Polipropileno	PP	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$
Poliéster		$-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$
Policloruro de vinilo	PVC	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$
Poliuretano	PU	$-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$

**Fuente:** "Introducción a la Química de los Polímeros", Raimond B. Seymour & Charles E. Carreher. Editorial Reverte. SA Barcelona. 1995.

### 1.1.3.1 Polietileno.

Termoplástico de color blanquecino, de transparente a translúcido. En secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia cerosa. Mediante el uso de diversos colorantes pueden obtenerse varios productos coloreados [1].

El polietileno tiene propiedades que la hacen de una materia prima tan ventajosa para su manejo en los geosintéticos por tener buena flexibilidad, bajo peso, alta resistencia química, tenacidad y buenas propiedades eléctricas [1].

El polietileno de alta densidad (PAD) es un sólido translúcido rígido que se ablanda por calentamiento y puede ser obtenido en diferentes formas, incluyendo films (películas delgadas) y envases.

A temperatura ambiente no sufre deformaciones ni se estira con facilidad. A  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  se vuelve quebradizo. En agua y en la mayoría de los solventes orgánicos es insoluble [7].

### 1.1.3.2 Polipropileno[1]

Es un plástico duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor, se ablanda a una temperatura mayor a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es resistente a los golpes aunque su densidad es baja, incluso se puede doblar fácilmente y resiste varios doblados motivo por el cual es empleado como material de bisagras. También es muy resistente a la corrosión. Es un material inerte, se utiliza para fabricar morteros de cemento por que el material es compatible con cementos y aditivos.

Buenas propiedades mecánicas, siendo las mas importantes: más rigidez que la mayoría de los termoplásticos, poseen muy baja densidad, buena recuperación elástica, es un material reciclable, buena resistencia superficial, alta resistencia al impacto, tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

### 1.1.3.3 Poliéster [1]

Es uno de los usados en la fabricación de geotextiles, se usan en la arquitectura textil, mezclándolo con fibras de vidrio, con una matriz termoplástica.

Entre las propiedades más comunes se tiene:

- Alta estabilidad dimensional.
- Alta resistencia al calor, aguante a cambios bruscos de temperatura.
- Poca contracción posterior al moldeo.
- Alta resistencia a la fisuración.

### 1.1.3.4 Policloruro de Vinilo

Es transparente, muy resistente químicamente y muestra gran estabilidad al paso del tiempo, por lo que se utiliza comúnmente en cañerías y ventanas [7]. Se obtiene mediante la polimerización de dos materias primas naturales como por ejemplo el cloruro de sodio y gas natural.

Entre las propiedades más comunes se tiene:

- Alta resistencia a la abrasión
- Baja densidad
- Buena resistencia al impacto
- Es dúctil y tenaz
- Resistente a agentes químicos

### 1.1.3.5 Poliuretano [1].

Es utilizado en la fabricación de georedes por su alta resistencia a la deformación por compresión, la mayoría de veces se muestra como espuma rígida.

#### 1.1.4 Introducción a la utilización de los Geosintéticos

El tamaño de los elementos estructurales a utilizar es una de las grandes inquietudes que los arquitectos, diseñadores de edificios y los constructores deben resolver esta inquietud al inicio de los proyectos [4]. Esto tiene impacto tanto en el proyecto arquitectónico (altura del edificio, espacios arquitectónicos afectados, etc.) como en la evaluación de costos preliminar que determina la viabilidad del proyecto ante un estudio de prefactibilidad [4]. A partir del descubrimiento de los geosintéticos (Geotextiles, georedes, etc) como recientes materiales a utilizar en la ingeniería civil, se han creado distintos métodos de diseño las cuales se pueden catalogar en 4 clases [2]:

##### 1.1.4.1 Diseño por función

Consta en estudiar la aplicación o el fin primordial para la cual se pretende usar los geosintéticos (protección, drenaje, refuerzo, separación, filtración) y en base a ello, determinar los valores numéricos de la cualidad solicitada. Se debe tener en cuenta aspectos cualitativos y cuantitativos para realizar la elección del geosintético. Cuando se necesite que el geosintético cumpla varias funciones alternadamente, la elección del tipo a utilizar será más confiable si este puede desempeñar las funciones simultáneamente.

Los geosintéticos deben proporcionar un alto grado de seguridad en el cumplimiento de sus funciones, por tal La elaboración a partir de las materias primas en los geosintéticos debe ser controlada según la evaluación de sus propiedades durante el proceso de fabricación.

#### **1.1.4.2 Diseño por disponibilidad y costos**

El proceso de diseño de los geotextiles en base a la disponibilidad y costo es común. Para realizar este diseño se consideran los recursos o fondos disponibles, los cuales se dividen por el espacio que es necesario cubrir y se calcula una cantidad máxima de geotextil aprobado según su precio unitario. Aquel que posea las mejores propiedades es elegido dentro de un precio límite.

No debería utilizarse este método ya que no se siguen fundamentos técnicos.

#### **1.1.4.3 Método empírico o Diseño por experiencia**

Este método requiere un gran número de datos previos, se fundamenta únicamente en la experiencia. Por ser poco preciso y desconocer el desarrollo tecnológico de los geosintéticos este diseño no es recomendable y se debe tener cuidado al usarlo.

#### **1.1.4.4 Diseño según las especificaciones**

En la actualidad los fabricantes usan las normativas que se acatan en el país donde estén instalados para fabricar sus productos, por tanto las características o propiedades de los geosintéticos están definidas según el país de fabricación; esto genera una gran variabilidad de los criterios de diseño lo que hace difícil comparar productos de distinta procedencia. Debido a esto, los organismos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), American Road Builders and Transportation Association (ARBTA) y la American Building Contractors (ABC) recomiendan las mínimas propiedades de los geotextiles en las siguientes áreas:

- Filtración o permeabilidad (Geotextiles para drenaje)

- Control de Erosion (por debajo de las rocas)
- Separación (Para subrasante de suelo firme)
- Estabilización y Separación (Para subrasante de suelos sueltos o fofos)
- Control de sedimentos (Cerramiento temporal de sedimentos)
- Control de la propagación de grietas (Estructura de pavimentos)

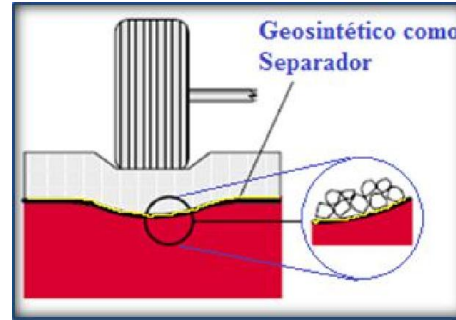
Generalmente al usar el método por especificaciones se enumeran las exigencias mínimas de las propiedades del geotextil, mientras que generalmente el productor enumera los valores promedios por lote o el valor mínimo promedio de las propiedades de los rollos.

### **1.1.5 Funciones primordiales de los geosintéticos.**

Los geosintéticos incluyen una variedad de materiales de polímeros (PE, PP, PVC, entre otros) principalmente elaborados para utilizarlos en usos de tipo geoambiental, hidráulico, geotécnico y de ingeniería de transporte. Es mejor encontrar la función principal de un geosintético, el cual puede ser de: filtración, separación, drenaje, contención de fluido/gas, control de erosión o refuerzo. En ocasiones los geosintéticos tienden a asumir doble función [8].

#### **1.1.5.1 Separación.**

Actúan de forma que separan dos fracciones o lechos de suelo que tienen distribuciones de partículas diferentes (Ver figura 1.2). Por ejemplo, los geotextiles son utilizados para prever que materiales de base atraviesen suelos blandos o sueltos de capas profundas, manteniendo el grosor de diseño y la integridad del terreno. Los Geotextiles separadores también ayudan en la precaución del acarreo de granos finos en dirección de estratos o capas granulares permeables [8].



**Figura 1.2:** Función de separación.

**Fuente:** Artículo: “Geotextiles: La alternativa al concreto” Jürg Rupp, Textiles panamericanos.

### 1.1.5.2 Refuerzo

Para producir un compuesto que mejore las propiedades de resistencia y deformación del suelo, los geosintéticos operan como un elemento de refuerzo dentro de la masa de suelo o en combinación con el propio suelo. Por ejemplo, geotextiles y geomallas son utilizados para agregar resistencia a la tracción a los suelos y así reforzar paredes de suelo verticales o con altos grados de inclinación [8]. Los geosintéticos (geomallas, geoceldas y geotextiles) colocados sobre subrasantes inestables distribuyen mejor los esfuerzos e incrementan la capacidad de carga, descartando la necesidad de cambiar los suelos (Ver Figura 1.3). Los geosintéticos disminuyen los asentamientos asociados con la dispersión lateral de los materiales base y sub base, cuando se sitúan dentro de las capas de base o sub base.

La resistencia al daño mecánico, módulo de rigidez tensional y la interacción entre geosintético – suelo son las características que deben considerarse para esta función.



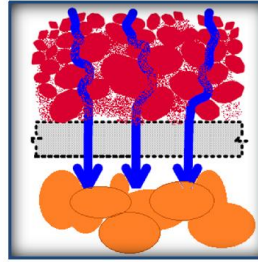
**Figura 1.3:** Función de refuerzo.

**Fuente:** Artículo: "Geotextiles: La alternativa al concreto" Jürg Rupp, Textiles panamericanos.

### 1.1.5.3 Filtración

La función de Filtración se puede comparar a un filtro de arena el cual permite que las sustancias líquidas se muevan a través del suelo y retengan las pequeñas partículas trasladadas por el fluido. Por ejemplo, los geotextiles son utilizados para prevenir el traslado de agregados de los suelos o prevenir la producción de canales cuando se tiene drenaje en el sistema. También los geotextiles son utilizados debajo de sistemas de protección para prevenir la erosión del suelo como por ejemplo en desmontes o terraplenes de costas y ríos (ver Figura 1.4).

Dicho de otra forma el flujo de las sustancias líquidas de la subrasante hacia las capas granulares pueden acarrear los finos hacia las capas inferiores. Esto ocurre debido a las lluvias o aumento del volumen de las aguas en la capa superior. En este caso, un geotextil puede actuar como un filtro, cediendo el paso libre de los líquidos en las capas superiores al mismo tiempo que detiene las partículas sólidas de la subrasante. Para cumplir esta función, el geotextil debe tener resistencia a la colmatación, permeabilidad y retención.



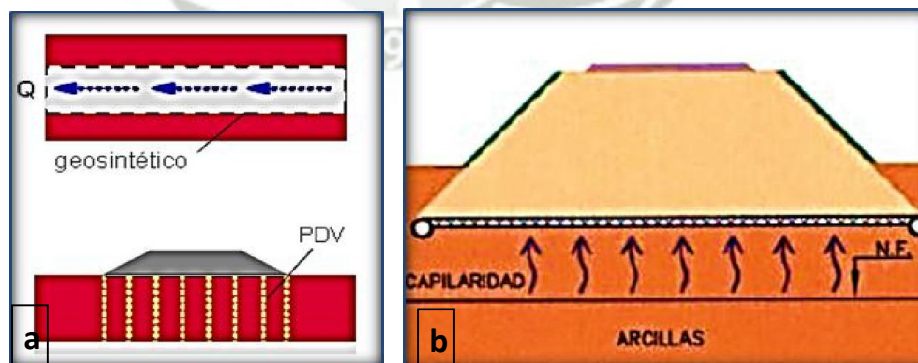
**Figura 1.4:** Función de Filtración.

**Fuente:** Artículo: “Geotextiles: La alternativa al concreto” Jürg Rupp, Textiles panamericanos.

#### 1.1.5.4 Drenaje planar.

Los geosintéticos trabajan como drenajes o drenes para trasladar el flujo de líquidos a través de suelos menos porosos (Ver Figura 1.5.a). Por ejemplo, para distribuir las presiones de poro en la base de terraplenes se utilizan los Geotextiles y para grandes flujos fueron desarrollados drenes de geocompuestos

Para evitar el deterioro de la vías por las aguas pluviales que caen sobre la vía es necesario que cuenten con un buen drenaje planar (Figura 1.5.b). Un geocompuesto de drenaje puede evitar la acumulación de aguas siempre y cuando se instalen en puntos relevantes en la estructura de la vía. La capacidad de descarga y la resistencia a daños físicos son primordiales en los materiales a utilizar en esta aplicación.



**Figura 1.5:** Función de drenaje planar.

**Fuente:** Artículo: “Geotextiles: La alternativa al concreto” Jürg Rupp, Textiles panamericanos.

#### 1.1.5.5 Barrera Impermeable.

Los geosintéticos se comportan como una barrera impermeable para encapsular suelos expansivos y sustancias líquidas entre capas de los pavimentos. Combinaciones poliméricas (geomembranas, geotextil con asfalto, elastómeros, revestimientos de arcilla, etc.) son utilizadas para impedir el flujo de sustancias líquidas. Los geosintéticos actúan como una también como barrera impermeable de gases. Esto también se aplica en encapsulación de suelos expansivos, contenedores de desperdicios y pavimentos.

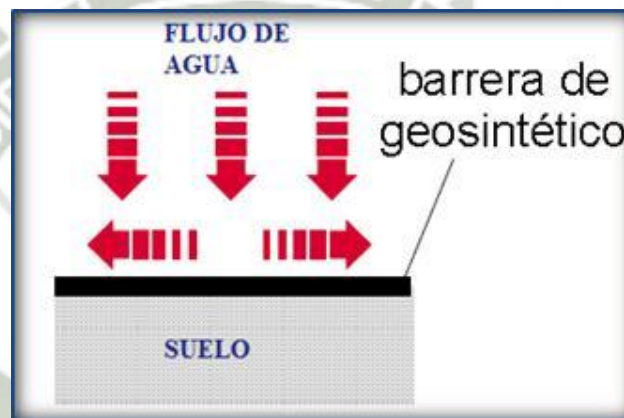


Figura 1.6: Función de barrera.

Fuente: Artículo: "Geotextiles: La alternativa al concreto" Jürg Rupp, Textiles panamericanos.

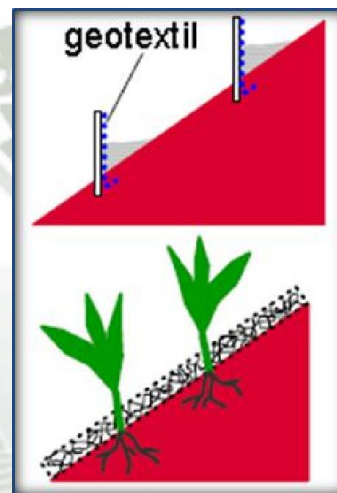
#### 1.1.5.6 Control de Erosión:

Para disminuir la erosión del suelo ocasionado por el impacto de lluvias y drenajes de líquidos de superficie se usan los geosintéticos. Por ejemplo, para evitar la exposición del suelo a agentes erosionantes se colocan los taludes o declives tapetes livianos permanentes y mantas temporales de geosintéticos (ver figura 1.7). También para retener las partículas traídas por la escorrentía superficial se usan Barreras de geotextil.

Para prevenir la dispersión de desechos sueltos debido al viento o a aves en rellenos sanitarios los geosintéticos han sido usados como cubiertas en la superficie de estos rellenos sanitarios.

Los geotextiles también han sido usados en encofrados flexibles de concreto y en la composición de bolsas de arena.

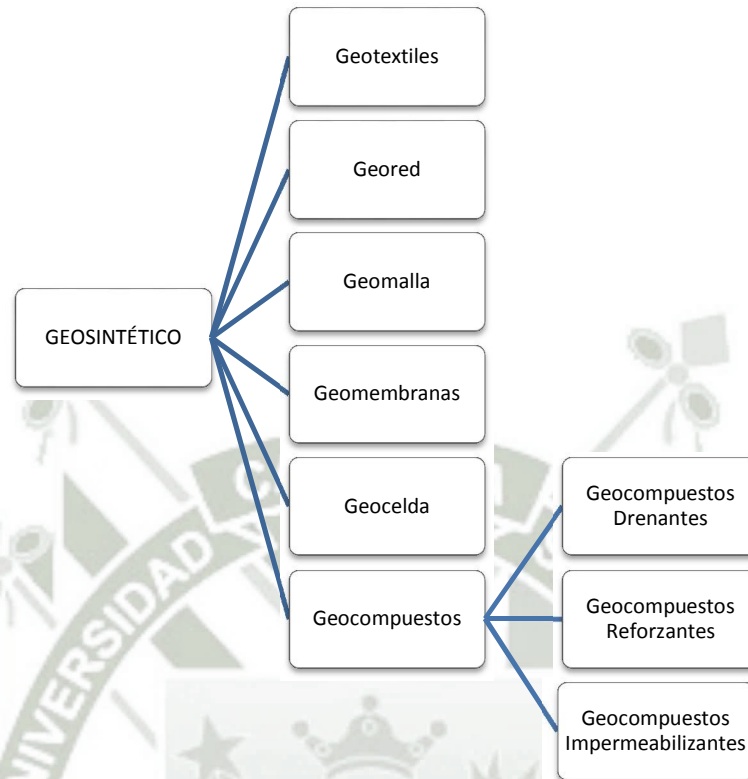
Para crear terraplenes costeros o para desecación de lodos geotubos cilíndricos son manufacturados de geotextil que son llenados con relleno hidráulico



**Figura 1.7:** Control de Erosión

**Fuente:** Artículo: "Geotextiles: La alternativa al concreto" Jürg Rupp, Textiles panamericanos.

### 1.1.6 Clasificación de los geosintéticos.



**Figura 1.8:** Clasificación de los geosintéticos.

**Fuente:** Propia

#### 1.1.6.1 Geotextiles

Material textil polimérico ya sea sintético o natural el cual puede ser no tejido o tejido, permeable, plano y que se emplea en ingeniería civil en contacto con suelos y otros materiales para aplicaciones geotécnicas [9].

Formado por fibras poliméricas termoplásticas de diversos orígenes, como las poliésteres, poli olefinas (PE, PP, PVC) y poliuretanos.

Estos se clasifican en:

- Tejidos; hilos entrelazados perpendicularmente, formando estructuras bidimensionales conformados por dos o más fibras, hilos, filamentos u otros elementos

- No tejidos; la cohesión es asegurada por procedimientos mecánicos térmicos o químicos y están formados por filamentos repartidos aleatoriamente.



**Figura 1.9:** Geotextil no tejido usado en separación de caminos.

**Fuente:** "<http://www.membranasecologicas.com/textil.htm>"



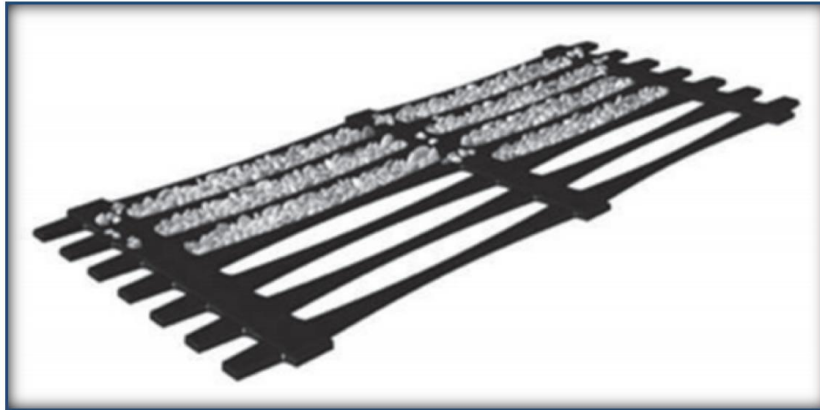
**Figura 1.10:** Rollos de Geotextil.

**Fuente:** "<http://www.membranasecologicas.com/textil.htm>"

Los geotextiles están compuestos por componentes individuales llamadas fibras, cintas o filamentos de plástico, que siguiendo diferentes patrones de distribución, se juntan y enlazan entre sí por medio de diferentes procesos térmicos, químicos, mecánicos o la combinación de ellas, dando como resultado, estructuras continuas planas, porosas, permeables en forma de hojas y relativamente delgadas.

### 1.1.6.2 Geomallas.

Son mallas poliméricas con espacios abiertos denominados “aperturas”, los cuales están delimitados por “costillas”.



**Figura 1.11:** Geo malla Mono-orientada.

**Fuente:** Proveedor Aquamarket

La primordial función es indudablemente el refuerzo [2,4], la utilización del tipo de geomalla está sujeta al sentido en que los esfuerzos se transfieren en la estructura.

Las geomallas varían en sus características por: su tecnología de fabricación, por las distintas patentes existentes en el mercado y por su composición química.

Existen diferentes geomallas en formas y materiales diversos, con distintas aperturas de malla, diferentes espesores y diversas tecnologías de unión en las juntas. Tomar en cuenta la aplicación de la geomalla a la hora de seleccionar la malla más adecuada ya que hay de distintas propiedades mecánicas.



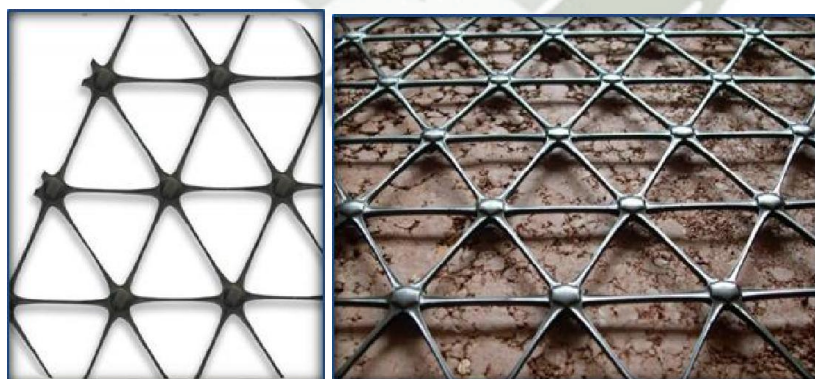
**Figura 1.12:** Geomalla Bi-orientada.

**Fuente:** Proveedor Aquamarket

**Tabla 1.2:** Algunas Características de la geomalla Bi-orientada

PROPIEDAD	CARACTERISTICAS
Rigidez	a) Alta resistencia con bajas deformaciones. b) Soporte como zapatos de nieve. c) Confina el relleno
Geometría Abierta	d) Aperturas rectangulares. e) Juntas fuertes.
Dirección de la resistencia	f) Presentan resistencia a la tensión en dos direcciones.

**Fuente:** USO DE GEOMALLAS EN CAMINOS MINEROS. Tello D. TDM Perú Congreso MinerNorte.



**Figura 1.13:** Geomallas Multiaxiales.

**Fuente:** Proveedor TDM – Perú.

**Tabla 1.3:** Algunas Características de la geomalla Multiaxiales

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICAS
Rigidez	g) Alta resistencia con bajas deformaciones. h) Soporte como zapatos de nieve. i) Confina el relleno (sección con mayor peralte que BX).
Geometría Abierta.	j) Aperturas triangulares. k) Juntas mucho más fuertes.
Dirección de la resistencia	l) Presenta resistencia a la tensión “radial” (en todas sus direcciones).

**Fuente:** USO DE GEOMALLAS EN CAMINOS MINEROS. Tello D. TDM Perú Congreso MinerNorte.



**Figura 1.14:** Colocación de la geomalla antes de la instalación del material de relleno.

**Fuente:** Obra: Mejoramiento vías de acarreo –PIERINA



**Figura 1.15:** Colocación de material de relleno y aseguramiento de los traslapes de la geomalla BX1200.

**Fuente:** Obra: Mejoramiento vías de acarreo -PIERINA

### 1.1.6.3 Georedes

Material geosintético que consiste de sistemas paralelos de cuerdas, sobrepuesto a sistemas iguales en ángulos variados, para permitir el drenaje de las sustancias líquidas o gases.

Las georedes están habitualmente laminadas con geotextiles en una o ambas superficies y se denominan en ese caso geocompuestos de drenaje o geodrenes [11].

A diferencia de los geotextiles, las georedes debido a su rigidez y estructura no son deformadas apreciablemente por efecto de la carga existente sobre el revestimiento primario y por lo tanto la permeabilidad en el plano es alterada en menor grado.

Las georedes son de Polietileno de alta densidad (HDPE) por lo tanto son resistentes a agentes químicos biológicos y químicos, también son resistentes a los rayos ultravioleta (UV). Están formadas por filamentos paralelos entrelazados y por dos o tres dimensiones de capas, con esto obtienen buen drenaje y gran capacidad de flujo.

La “geored” está formada por ligamentos sobrepuestas vinculados entre sí formando un sistema romboidal, que crean canales de alta capacidad drenante, los cuales son útiles en usos de ingeniería ambiental, geotécnica, transporte e hidráulica [2].

Las georedes biplanares contienen dos nervaduras superpuestas en ángulo, la instalación debe ser direccionando las uniones en el sentido de flujo deseado.

Las georedes resuelven la mayoría de problemas relacionados a los materiales naturales ya que reemplazan a la grava y arena. El uso de materiales naturales ocasiona restricciones de construcción y calidad tales como: los espesores de los rellenos, estabilidad de taludes laterales, consistencia en la calidad, daños en las geomembranas, etc.



**Figura 1.16:** Georedes.

**Fuente:** Proveedor TDM – Perú.

#### 1.1.6.4 Geomembranas

Son mantas impermeables, que se emplean en sistemas de impermeabilización: depósitos, vertederos, almacenamiento de agua o cubiertas planas de edificación.

Pueden estar compuestas por diversos tipos de resinas:

- Polipropileno (PP)
- Clorosulfonado
- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Polietileno de alta (HDPE), media y de baja densidad (LDPE).

La aplicación primordial de las geomembranas es la impermeabilización en obras geotécnicas, civiles y ambientales en trabajos de manejo de rellenos sanitarios, minería, agricultura, lagunas de oxidación, acuicultura, riego, proyectos hidráulicos, etc.



**Figura 1.17:** Geomembrana HDPE.

**Fuente:** Propia.

### 1.1.6.5 Geocompuestos

#### 1.1.6.5.1 Geocompuestos Drenantes.

Están formados por una geored y por uno o dos geotextiles; el primero es un material formado por dos hilos de polietileno de alta densidad (HDPE) superpuestos y el segundo es un geotextil no tejido son normalmente de polipropileno (PP), pudiendo ser también de poliéster (PS), los geotextiles actúan como filtrantes, anticontaminantes de finos, protectores, separadores, protectores y filtrantes, la geored tiene alta capacidad de evacuación de sustancias líquidas ya que forma canales, incluso cuando se someten a grandes cargas y se colocan horizontalmente.

Para agregar la función de impermeabilizante el geocompuesto deberá incorporar una geomembrana.



**Figura 1.18:** Geocompuesto drenante: Geotextil + Geomalla.

**Fuente:** Proveedor Atarfil – España

#### 1.1.6.5.2 Geocompuestos Impermeabilizantes

Geocompuesto conformados de bentonita de sodio natural la cual está encapsulada por dos geotextiles, uno no-tejido y el otro tejido. Todos los elementos están unidos fijamente mediante el proceso de agujereado, lo

que le confiere al producto final gran robustez y un margen de seguridad alto en las instalaciones en taludes [12].



**Figura 1.19:** Geocompuestos Impermeabilizante: Geotextil + bentonita

**Fuente:** Proveedor Emaresa – Chile.

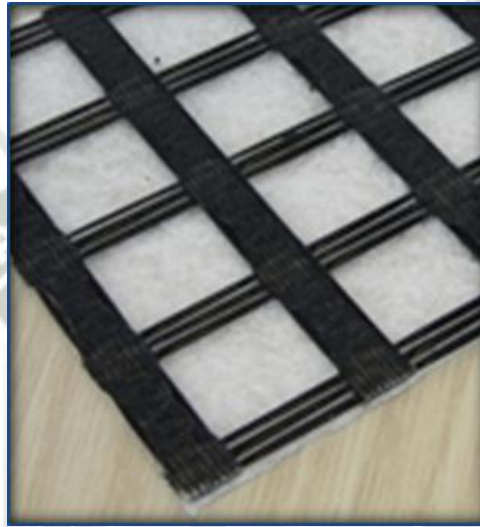
#### 1.1.6.5.3 Geocompuestos Reforzantes

Para el uso de asfaltos se utilizara un Geocompuesto formado por un geotextil no tejido, geomalla de fibra de vidrio con recubrimiento bituminoso [12].

Con el objetivo de controlar fatiga, agrietamientos por tracción, deformaciones plásticas y compresión, en los capas de concreto asfáltico que se aplican en vías de bajo y alto tránsito, plataformas, autopistas, aeropuertos entre otros se usan las geomallas de Fibra de Vidrio las cuales por lo general son flexibles; su primordial función consiste en incrementar la resistencia a la tracción de la cubierta asfáltica asegurando bajo una carga vertical, una distribución uniforme de los esfuerzos horizontales en una mayor área, lo que da como resultado una vía sin grietas por bastantes años.

La Geomalla de composición de fibra de vidrio tiene un alto módulo de Young, siendo este módulo de Young mayor al módulo del asfalto. Y es

por ello es que la geomalla es este quien toma sobre sí las cargas, las Geomallas de fibra de vidrio son más eficientes que otros materiales usados como reforzante. Las fibras son de origen mineral compuesto por arenas de cuarzo, lo que lo convierte en un material fácil de reciclar; su punto de fusión esta entre 800 - 850 °C esto le permite trabajar en conjunto con todo clases de asfalto.



**Figura 1.20:** Geocompuestos Reforzantes: Geotextil + Geomalla de fibra de vidrio.

**Fuente:** Proveedor Emaresa – Chile.

#### 1.1.6.6 Geoceldas

Son sistemas tridimensionales de confinamiento celular elaborados en paneles de polietileno o polipropileno. Por su alta resistencia sirven para el confinamiento de cargas.

Los terrenos con buena capacidad de drenaje son difíciles de confinar, para esto, la geocelda es una solución para conseguir el confinamiento del terreno con un buen drenaje.



**Figura 1.21:** Geoceldas.

Fuente: Proveedor TDM - Perú

#### 1.1.6.7 Naturaleza polimérica los geosintéticos y sus propiedades generales.

Los polímeros son los elementos primordiales en los geosintéticos. Hoy en día, varias industrias suplen favorablemente materiales tradicionales como suelos, agregados, vidrio, metal, etc., por materiales de poliméricos, que poseen, en general, las siguientes propiedades [13]:

- Los polímeros son ligeros, existiendo materiales menos densos que el agua.
- Ductilidad es decir forman hilos.
- Son maleables
- Poseen alta elasticidad
- Resistencia a esfuerzos mecánicos
- Dependiendo de composición, resistencia a agentes químicos.
- Mediante aditivos o procesos mecánico-térmicos tienen la posibilidad de mejorar sus propiedades.
- Rangos variables de resistencia a los agentes del medio exterior, existiendo algunos que deben ser protegidos y otros que pueden ser expuestos a la intemperie por rangos de tiempo largos, sin experimentar deterioro.
- Son hidrofóbicos. poseen baja absorción de agua

- Según el material de que se trate poseen resistencia a la biodegradación.

La familia de los Plásticos es muy amplia. Los polímeros que se usan para fabricar geosintéticos es solo una pequeña fracción de los plásticos que se usan en actualidad.

Las propiedades específicas de un plástico dependen generalmente de la combinación de muchas variables, las cuales son, entre otras [13]:

- Naturaleza química: Grupos funcionales que posea, dispersión del peso molecular, ramificaciones de la cadena primordial, agregado químico de elementos (copolímeros), agregado físico de aditivos acoplantes, tipo de formulación, entre otros.
- Historial de esfuerzos, temperaturas y exposición a agentes ambientales durante su vida útil.
- Procesos de conformado o formado
- Procesos de acabado.

Para caracterizar o nombrar de manera completa, un polímero el nombre genérico de un plástico o polímero, tal como “Polipropileno”, “Poliétileno de Alta Densidad”, “Poliéster”, etc., no es suficiente, porque bajo la misma designación pueden fabricarse variados productos, con diferentes propiedades.

## 1.2 GEOTEXTILES

En el grupo de los geosintéticos se encuentran los Geotextiles que se definen como “Un material textil plano, permeable y de varios tipos de polímeros ya sean sintéticos o naturales, los cuales pueden ser tejidos, no tejidos o tricotados y que se emplean en contacto, ya sea encima, debajo o enterrado en el suelo (piedras, arenas, tierra, etc.) o con otros materiales para aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil” [1, 2, 4,14].

Los geotextiles son telas cuyos componentes individuales son fibras, filamentos, o cintas de polímeros, que siguiendo varios patrones de distribución de sus componentes individuales, se juntan y entrelazan entre sí por medio de diversos métodos que les someten a acciones térmicas, mecánicas, químicas, o la combinación de ellas, dando como resultado, estructuras continuas, relativamente delgadas, permeables y porosas en forma de hojas, que poseen resistencia en su plano [13].

### 1.2.1 Características de los Geotextiles

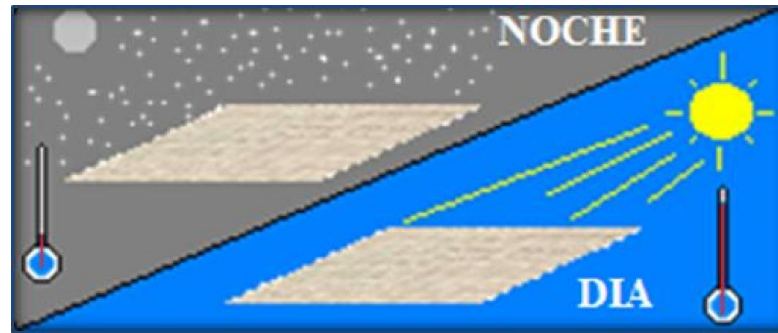
- *Resistencia a la tracción:* Es posible que el geotextil absorba esfuerzos producidos en estructuras sometidas a carga.
- *Elongación:* Permite un acoplamiento en terrenos irregulares, manteniendo su resistencia bajo deformaciones iniciales.
- *Resistencia Química:* Los Geotextiles resisten ácidos, álcalis, bacterias, microbios, insectos, etc; debido a su fabricación en polipropileno.



Figura 1.22: Resistencia Química de los geotextiles.

Fuente: Propia

- *Resistencia a Temperatura:* resiste altas temperaturas.
- *Permeabilidad y Capacidad de filtración:* Los Geotextiles permiten el paso del agua y retienen los materiales finos debido a su porosidad.



**Figura 1.23:** Resistencia a temperatura.

**Fuente:** Propia

### 1.2.2 Composición de los Geotextiles

Los polímeros usados en la elaboración de los geotextiles pueden ser de las siguientes clases de resina:

**Tabla 1.4:** Listados en orden de uso decreciente en geotextiles

POLÍMERO	PORCENTAJE
Polipropileno	92%
Poliéster	5%
Polietileno	2%
Poliamida (nylon)	1%

**Fuente:** Robert M. Koerner. "Designing With Geosynthetics". Quinta Edición. U.S.A.

En la fabricación de los geotextiles se destacan dos factores muy importantes: la fibra empleada y el tipo de material empleado.

La resistencia de la fibra como estructura química, están ligadas con los tipos de polímeros usados. Por ser altamente inerte a la degradación biológica y química; y resistente al ataque de los hongos y mohos los geotextiles son duraderos. Su elaboración puede ser para usos muy particulares, donde se pueden usar

distintos tipos de materiales como por ejemplo la incorporación de hilos de acero que acompañarían a los polímeros sintéticos, también se puede usar la fibra de vidrio para producir geotextiles especiales, en ciertos casos se usan fibras naturales.

### **1.2.2.1 Tipos de Fibras:**

#### **1.2.2.1.1 Monofilamentos:**

Son una masa de polímeros reblandecidos por calor o con ciertos solventes, esta masa es presionada en forma continua contra un conjunto de finos orificios de una especie de troquel especial o también llamada máquina de hilar. Como resultado se obtiene un conjunto de fibras de un solo filamento que son extraídos y simultáneamente estirados con lo que se reduce el diámetro del filamento.

Estos filamentos a su vez se pueden clasificar de acuerdo a su composición:

- Homofilamentos: Son aquellos filamentos compuestos de un solo tipo de polímeros.
- Heterofilamentos: Entran en este grupo todos aquellos filamentos compuestos por dos o más polímeros.

#### **1.2.2.1.2 Multifilamentos:**

Son el resultado de la combinación organizada de fibras de un solo filamento conformando una especie de hilo. A continuación mencionaremos ciertos tipos de multifilamento:

- Estopa Sintética Este tipo de fibras es el conjunto de miles de monofilamentos enredados y empaquetados.
- Hilos Hebras
- Cintas

### 1.2.3 Clasificación de los Geotextiles

#### 1.2.3.1 Clasificación por su método de elaboración

##### a) Geotextiles Tejidos

Geotextil elaborado al entretejer, habitualmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de fibras, filamentos, hilos, cintas u otros elementos [9].

**Tabla 1.5** Propiedades de geotextiles tejidos

PROPIEDADES/ CARACTERISTICAS	UNIDADES	TIPO					NORMA
		I	II	III	IV	V	
<b>MECANICAS</b>							
Resistencia mínima a la tracción en la dirección longitudinal carga distribuida	kN/m	25	35	55	75	100	ASTM D 4595
Alargamiento a rotura máximo en cualquier sentido	%	25					ASTM D 4595
Resistencia mínima al punzonado	kN	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	ASTM D 6241 – 99.
<b>HIDRAULICAS</b>							
Abertura de filtración máxima	micrones	300	300	300	300	300	ASTM D 4751
Permeabilidad mínima para un gradiente de 0.10 m.	litros/m2/seg	10					ASTM D 4491
<b>DURABILIDAD</b>							
Resistencia mínima a la degradación	Perdida inferior al 50% de la resistencia a la tracción inicial luego de una exposición de 3.400 hs						ASTM D 4355-92

**Fuente:** Díaz J., Escobar O., Olivo E. "Aplicación de los Geosintéticos en la Estructura de los Pavimentos y en Obras de Drenaje para carreteras". Universidad de El Salvador. Facultad de ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil. San Salvador. 2009

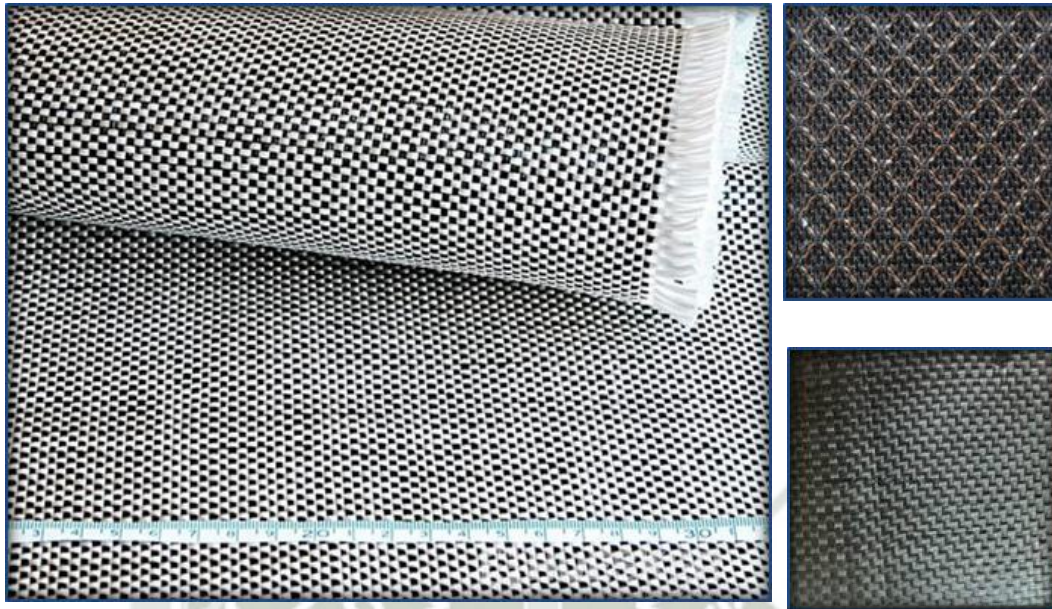
De acuerdo a su dirección pueden ser los Geotextiles tejidos pueden ser:

- Dirección de fabricación (orientación de la máquina): Orientada paralela a la de fabricación de un geotextil (por ejemplo para geotextiles tejidos es la dirección de la urdimbre).
- Dirección perpendicular a la de fabricación: La dirección, en el plano del geotextil perpendicular a la dirección de fabricación (por ejemplo en geotextiles tejidos, es la dirección de la trama).

Se puede decir que los geotextiles están formados por cintas entretejidas en una máquina. Pueden ser:

Tejidos de calada o tricotados.

- Los Tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Poseen resistencia a la tracción en los dos sentidos de su fabricación ósea biaxial y de acuerdo a las cualidades de las cintas usadas su resistencia puede ser elevada, además posee una forma plana.
- Los tejidos tricotados son elaborados con hilo entrelazado en una máquina tejedora de punto. De acuerdo a su fabricación, ya sea en máquinas circulares y tricotosas o Raschel y Ketten su tenacidad a la tracción podría ser multiaxial o biaxial. Además su estructura es tridimensional.



**Figura 1.24:** Geotextiles tejidos  
**Fuente:** Proveedor TDM – Perú.

### **b) Geotextiles No Tejidos**

La estructura no tejida se conforma por distintos métodos y de acuerdo a cual sea el método empleado (Termosoldado, unión química u otro) se unen los filamentos o fibras, es decir los Geotextiles no tejidos están formados por filamentos o fibras apiladas.

Geotextil con fibras u elementos orientados de forma regular o aleatoriamente, en forma de lámina plana, unidos químicamente, mecánicamente o por temperatura, o combinación de ellos. Pueden ser de filamento continuo o fibra cortada [9].

De acuerdo a la técnica empleada para unir sus filamentos, se dividen en:

- Geotextiles No Tejidos punzonados por agujas o ligados mecánicamente.

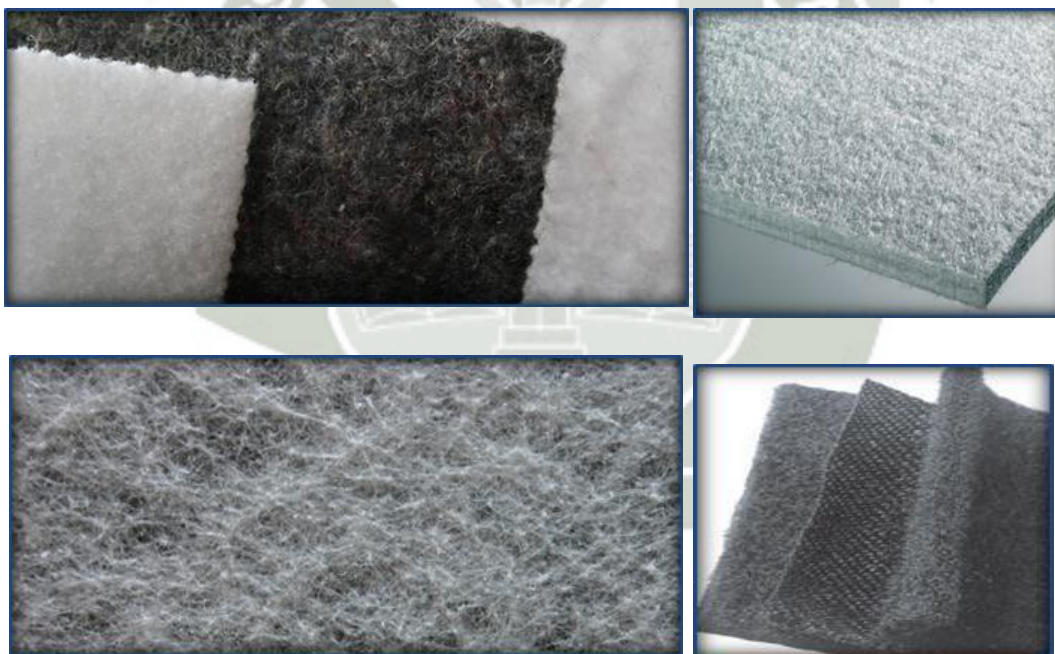
Se utilizan varias agujas que atraviesan la estructura con diversos movimientos rapidos.

- Geotextiles No Tejidos termosoldados o ligados térmicamente

Se logra por unir los filamentos por acción conjugada de calor y presión (calandrado)

- Geotextiles No Tejidos resinados o ligados químicamente

Se utiliza una resina para conseguir la unión entre los hilos.



**Figura 1.25:** Geotextiles No tejidos.

**Fuente:** Proveedor TDM – Perú.

**Tabla 1.6:** Propiedades de geotextiles no tejidos

PROPIEDADES / CARACTERISTICAS	UNIDADES	TIPO					NORMA
		I	II	III	IV	V	
<b>MECANICAS</b>							
Resistencia mínima a la tracción en la dirección longitudinal carga distribuida	kN/m	8	10	16	21	31	ASTM D 4595
Alargamiento a rotura máximo en cualquier sentido	%	45-55					ASTM D 4595
Resistencia mínima al desgarre trapezoidal en sentido longitudinal	N	220	300	440	540	800	ASTM D 4533
Resistencia mínima al punzonado (Pizon CBR)	kN	1.30	2.00	3.10	4.10	6.00	ISO 12236
Resistencia mínima al estallido (Mullen Burst)	Mpa	1.20	1.70	2.60	3.40	5.00	ASTM D 3786
<b>HIDRAULICAS</b>							
Abertura de filtración comprendida entre	Micrones	250 y 150	230 y 130	190 y 110	160 y 90	130 y 60	ASTM D 4751
Permeabilidad normal mínima	cm/s	0.4					ASTM D 4491
Permeabilidad planar mínima (Presión 20 kPa)	cm/s	0.6					ASTM D 4716
Transmisividad (Presión 20 kPa)	cm <sup>2</sup> /s	0.07	0.09	0.12	0.15	0.21	ASTM D 4491
<b>FISICAS</b>							
Aspecto: "Las capas deben estar exentas de defectos tales como zonas raleadas, agujeros o acumulación de filamentos".							
Color: "No se admiten materiales cuyos polímeros constituyentes no hayan sido estabilizados contra los rayos ultravioletas".							

**Fuente:** Díaz J., Escobar O., Olivo E. "Aplicación de los Geosintéticos en la Estructura de los Pavimentos y en Obras de Drenaje para carreteras". Universidad de El Salvador. Facultad de ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil. San Salvador. 2009

### 1.2.3.2 Clasificación de los geotextiles según su composición

Al existir gran diversidad de usos de los Geotextiles estos se pueden fabricar con fibras sintéticas, artificiales o naturales. Siendo las fibras sintéticas las que más se usan, debido a ello por lo general asociamos a los geotextiles a filamentos o fibras sintéticas.

#### a) Fibras naturales

En la fabricación de geotextiles biodegradables se puede utilizar fibras de origen animal (proteínas) como pelos, lana, seda, cueros... o vegetal como coco, yute, lino, algodón,...

#### b) Fibras artificiales

Aquellas fibras provenientes de la celulosa como el acetato, la viscosa y el rayón.

#### c) Fibras sintéticas o artificiales

Son aquellas fabricadas con filamentos o fibras obtenidas de plasticos artificiales o sintéticos cuando al geotextil se le exige que dure y sea resistente a al ataque de bacterias y microorganismos. Las fibras sintéticas más utilizadas son el polietileno, polipropileno, poliéster, poliacrílico y poliamida.

### 1.2.4 Procesos de fabricación

Actualmente se han diseñado varias formas de tejidos y clases de fibras, tanto para usos específicos como para uso en general.

Existen 3 puntos que son primordiales para las industrias el tipo de: filamentos, polímero y proceso productivo.

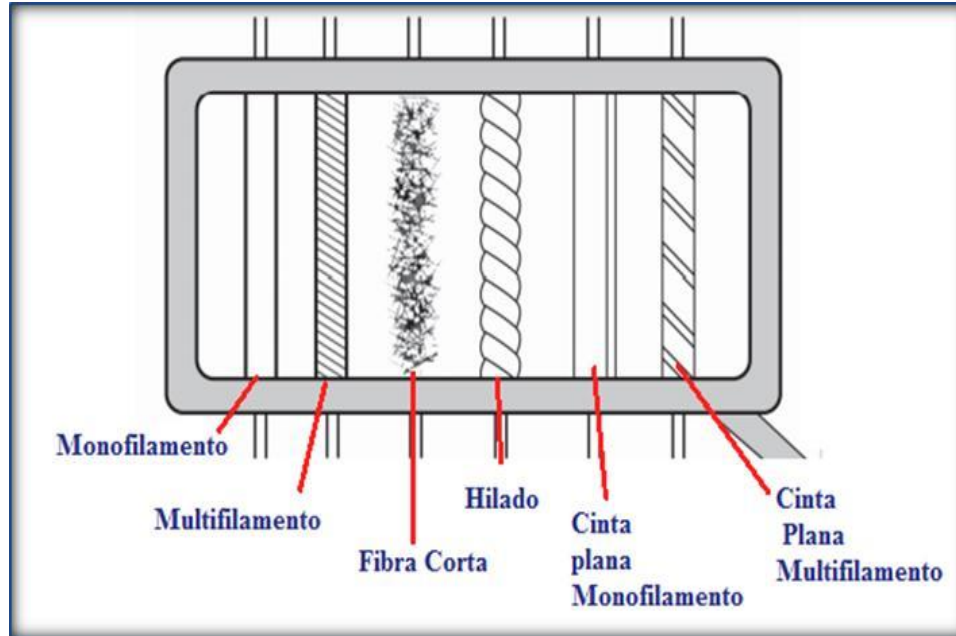
#### 1.2.4.1 Tipo de filamentos

El polímero elegido es calentado y por presión se transforma en un fundido, después es obligado a pasar por un molde de este molde salen en estado semilíquido las cintas planas o las fibras y seguidamente por acción del aire o agua se las enfría para convertirlas en polímero en estado sólido pero elongable, al mismo tiempo al material se le estira para reducir sus dimensiones de ancho o espesor lo cual provoca una orientación de las moléculas u ordenamiento lo que conlleva al aumento de la resistencia de los filamentos en dirección de su longitud, su módulo de elasticidad aumenta y su deformación a la ruptura disminuye. Modificando estas variables podemos lograr diferentes posibilidades de la característica Esfuerzo vs Deformación.

El calibre de la cinta o de la fibra se determina por su denier. El denier es la masa (g) de nueve mil metros de filamentos.

Con las fibras se pueden obtener hilos entrelazados o se puede entrelazar filamentos continuos produciendo otras propiedades que después serán tejidos.

Las llamadas cintas “ranuradas” o películas, es el último tipo de filamentos que mencionaremos, estas se producen a partir de una lámina continua de plástico la cual se corta en cintas haciendo uso de cuchillas y seguidamente se enrollan en carretes para seguir los procesos de urdido y tejeduría.



**Figura 1.26:** Tipos de fibras utilizadas en la producción de geotextiles.

**Fuente:** Robert M. Koerner "Designing with Geosynthetics"- III Edición

#### 1.2.4.2 Tipo de proceso productivo

Teniendo fabricados los filamentos, dependiendo del proceso posterior estos se convierten en telas Tejidas o No Tejidas.

##### 1.2.4.2.1 Geotextiles Tejidos

En el caso de geotextiles Tejidos el tipo peculiar del tejido se establece por la secuencia en la cual los filamentos de la urdimbre y de la trama son entrecruzados (tejidos) en el telar y se trabajan cintas o hilos en un telar.

La urdimbre va en sentido longitudinal y la trama que va en el sentido transversal componen el tejido; la urdimbre ingresa al telar por la parte posterior mediante unos elementos separadores y organizadores llamados laminillas y atraviesan los lizos, los peines y entran a la mesa del telar en donde se entretajan con las tramas, quienes son aportadas desde un lado del telar, las urdimbres se

cruzan en dos grupos unas suben y otras bajan dejando un espacio por donde pasa la trama (el “relleno”) transportada por un elemento llamado proyectil, después las urdimbres vuelven y se cruzan “aprisionando” la trama y se repite el ciclo formado el tejido.

El borde de la tela donde la trama regresa un pequeño tramo (orillo) garantiza que el tejido conserve su estructura planeada.

En los geotextiles Tejidos podemos enumerar diferentes modalidades:

- Geotextil Tejido plano:

Popular como “uno arriba y uno abajo”, este es el tejido más simple y común, el cual es elaborado mediante el tejido de cintas.

- Geotextil Tejido canasta:

A manera de una sola cinta, este tejido utiliza 2 o más urdimbres y/o tramas de relleno. Este es el caso de un tejido canasta donde puede ser dos tramas y un urdimbre o dos por dos urdimbres y tramas, funcionando estos como unidades individuales.

#### **1.2.4.2.2 Geotextiles No Tejidos**

Existe diferencia en la elaboración de telas no tejidas. Para la fabricación de tela No Tejido habitualmente incluye 4 pasos esenciales: acondicionamiento o preparación de la fibra, elaboración del velo, fijación del velo y adecuación o tratamiento posterior.

Se puede usar filamento continuo o fibra cortada, estos últimos se consiguen a partir de fibras entre 50-150 mm de longitud y los de

filamento continuo se consiguen por extrucción directa de un polímero y formación del velo.

Existen 3 tipos de procesos de fabricación:

- Geotextiles No Tejidos punzonados por agujas:

Los geotextiles elaborados por este método poseen buenas propiedades mecánicas ya que mantienen en parte el espesor del velo lo que les confiere gran elongación (desde un 40% hasta un 120% o más) y mayor volumen siendo esto lo que les confiere excelente adaptabilidad a las desuniformidades del suelo, buenas propiedades para protección, (lo que suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de separación y filtración. Los geotextiles. Los no tejidos punzonados se obtienen a partir de un entretejido de fibras o filamentos los cuales están combinados aleatoriamente, a este entretejido se conoce como velo, fortaleciéndose al pasar por un tablero de punzonos o agujas en una máquina punzonadora.

- Geotextiles No Tejidos termosoldados:

La consolidación del geotextil y unión de fibras se obtiene por soldadura en los puntos de intersección y fusión de las fibras, mediante un calandrado a temperatura elevada. Poseen buenas características mecánicas y poca flexibilidad es decir son algo rígidos, en cuanto a su elongación y su espesor estos son ligeramente menores a la de los Geotextiles No Tejidos punzonados, debido a esto su permeabilidad y transmisividad son menores.

- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente:

La unión entre sus filamentos es conseguido añadiendo ligantes químicos o resinas. Debido a su elevado costo su empleo está muy

poco desarrollado. Si deseamos elaborar geotextiles de separación y protección, no debemos usar este método ya que en la estructura de los de protección debemos de evitar componentes químicos diferentes al de los plásticos, los cuales pueden cambiar sus características y causar incompatibilidades o diferencias químicas con otros componentes con los que pudiera estar en contacto.

### 1.2.5 Funciones de los Geotextiles

El uso de los Geotextiles tejidos y no tejidos en los diversos campos de aplicación puede establecerse a través de las funciones que va a Realizar. El Geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones en la mayoría de las aplicaciones, no obstante siempre existirá una función primordial la cual define la selección de la clase a usar.

A continuación se muestran los diversos requerimientos mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo, así como las funciones y usos que pueden realizar los geotextiles,

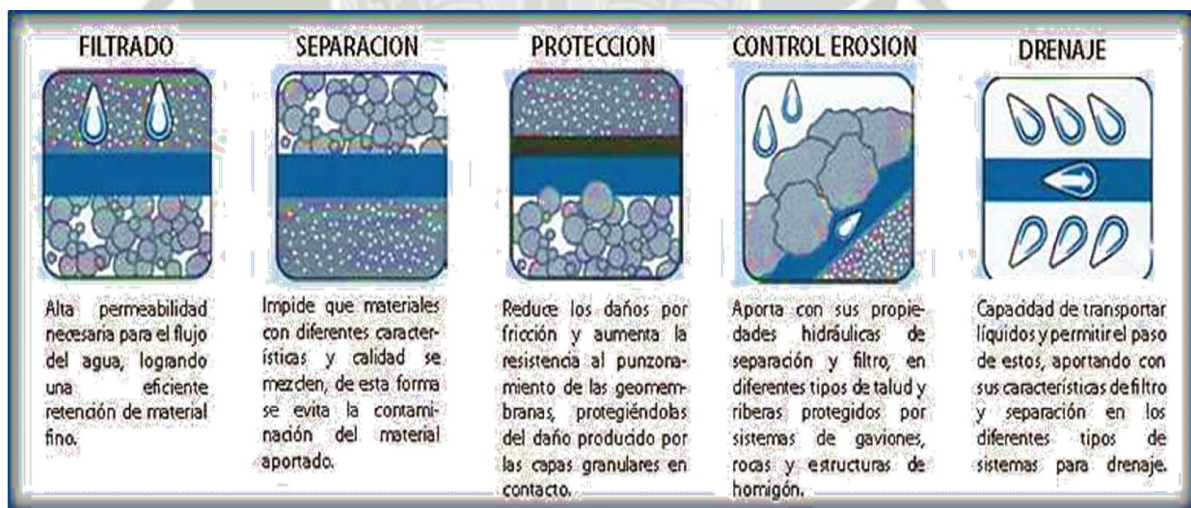


Figura 1.27: Funciones de los geotextiles.

Fuente: Catalogo INSYTEC, Proveedor de Geotextiles

### 1.2.5.1 Función de separación

Los geotextiles desempeñan esta función separando 2 capas o mantos de suelo que posean diferentes características o propiedades físicas (densidad, granulometría, permeabilidad, etc.) impidiendo en todo momento que se junten los materiales:

- En caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados, entre la subrasante y la base de piedra.
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos como sobrecargas
- Entre capas de base de relleno y piedras.
- Entre capas de drenaje de piedra y geomembranas
- Entre capas de suelo encapsuladas y la cimentación
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención rígidos y flexibles.
- En caminos y pistas de aterrizaje pavimentados, entre la subrasante y la base de piedra.
- Entre los suelos de cimentación y pilas de almacenamiento
- Entre bermas y taludes de estabilidad aguas abajo
- Entre terraplenes de suelos y la cimentación para rellenos de caminos y para presas de tierra y roca
- Debajo de áreas de sardineles y de estacionamiento.
- Debajo de campos deportivos y de atletismo
- Debajo de bloques prefabricados y paneles para pavimentos estéticos
- Entre capas de drenaje en masas de filtro pobremente gradado
- Entre diversas zonas de presas en tierra
- Entre capas antiguas y nuevas de asfalto

### 1.2.5.2 Función refuerzo

En la función de refuerzo se aprovecha el comportamiento a tracción del Geotextil para optimizar las propiedades mecánicas de

una capa de suelo, con el objetivo de controlar las tensiones tangenciales tanto en la etapa de servicio como en la etapa de construcción.

El Geotextil se comporta como un componente estructural y de aislamiento de los granos del suelo, permitiendo propagar y repartir las tensiones locales. Esto mejora la calidad de los suelos aumentando la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

#### **1.2.5.3 Función de drenaje**

La capacidad de drenaje de un suelo depende de la efectividad de drenaje del Geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido. La función de drenaje consiste en la captación y transporte de fluidos y gases en el plano del Geotextil.

Así mismo el Geotextil debe evitar el transporte o lavado de arcillas o partículas finas, si estas partículas se depositan en geotextil, disminuyen su permeabilidad horizontal. Adicionalmente debe asegurar que el agua se transporte en su plano sin causar enormes pérdidas de presión.

#### **1.2.5.4 Función filtro**

De acuerdo al tamaño del poro del Geotextil y las partículas del terreno, evita o impide el paso de determinadas partículas a través del Geotextil, es usado como filtro en muchos sistemas de drenaje ya que no impide el paso de gases o fluidos.

Filtración (Flujo en el plano transversal)

- Debajo de rellenos sanitarios para los lixiviados
- En filtración rellenos hidráulicos
- A modo de protección contra los sedimentos

- A manera de cortina en los sedimentos.
- Para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados, debajo de base de piedras.
- Para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados, debajo de base de piedras.

#### **1.2.5.5 Función protección**

En un sistema geotécnico protege, limita o impide un potencial deterioro. Por ejemplo en las acumulaciones de agua o embalses se denomina capa impermeabilizadora y está compuesto por la Geomembrana y el Geotextil. Este último previene potenciales perforaciones o roturas en la geomembrana. También previene las perforaciones que podrían causar las plantas que crecen por debajo de la capa impermeabilizante.

#### **1.2.5.6 Función de impermeabilización**

La función de impermeabilización se obtiene mediante la impregnación del Geotextil con algún componente impermeabilizante sintético o asfalto. En esta función no se permite el paso del agua u otros líquidos. Para esta función los geotextiles deben tener la rigidez y la resistencia adecuada para poder colocarlos, así también para compensar las tensiones térmicas deberá tener la capacidad de deformación suficiente.

### **1.2.6 Propiedades de los Geotextiles**

Al utilizar geotextiles Tejidos o No Tejidos fabricados a partir de plásticos sintéticos de cadena larga, conformados con una cantidad mínima del 95% en peso de poliolefinas o poliéster; se deberán cumplir con las propiedades mecánicas e hidráulicas que se describen y enumeran a continuación:

### 1.2.6.1 Requerimientos de las propiedades mecánicas

Las propiedades de resistencia de los geotextiles dependen de los requerimientos de vida en base al ambiente de su entorno y de las condiciones y procedimientos de instalación. Estas propiedades corresponden a la instalación en condiciones normales.

**Tabla 1.7** Requerimientos de las propiedades mecánicas del geotextil (medidas en el sentido más débil del geotextil)

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	VALOR PROMEDIO POR ROLLO (VMPR) <sup>(1)</sup>	VALOR MIN PROM. POR ROLLO (VMPR) <sup>(1)</sup>
<b>Elongación medida</b>	INV E -901	Elongación <50% <sup>(2)</sup>	Elongación ≥50% <sup>(3)</sup>
<b>Resistencia a la tensión (Grab)</b>	INV E -901	1100N	700N
<b>Resistencia a la costura</b>	INV E -901	990N	630N
<b>Resistencia a la penetración con pistón 50mm de diámetro</b>	INV E -913	2200N	1375N
<b>Resistencia al rasgado trapecoidal</b>	INV E -903	400N <sup>(4)</sup>	250N

<sup>(1)</sup> Los valores numéricos de la Tabla corresponden al valor mínimo promedio por rollo (VMPR). El valor mínimo promedio por rollo, es el valor mínimo de los resultados de un muestreo de ensayos de un proceso para dar conformidad a un lote que está bajo comprobación, el promedio de los resultados correspondientes de los ensayos practicados a cualquier rollo del lote que se está analizando, debe ser mayor o igual al valor presentado en esta especificación y corresponde a la traducción del nombre en Inglés "Minimum Average Roll Value (MARV)". Desde el punto de vista del productor,

corresponde al valor promedio del lote menos dos (2) veces la desviación estándar de los valores de la producción.

<sup>(2)</sup> La elongación < 50% hace referencia a los geotextiles tejidos, medida según ensayo INV E-901.

<sup>(3)</sup> La elongación > 50% hace referencia a los geotextiles no tejidos, medida según ensayo INV E-901.

<sup>(4)</sup> El valor (VMPR) para la resistencia al rasgado trapezoidal de los geotextiles tejidos monofilamento es de 250 N.

### 1.2.6.2 Requerimientos de propiedades hidráulicas

**Tabla 1.8** Requerimientos mínimos de propiedades hidráulicas del geotextil

Propiedad	Norma de ensayo	Valor Promedio por rollo (VMPR)
Permitividad <sup>(5)</sup>	INV E -905	0.02 s <sup>-1</sup>
Tamaño de abertura aparente <sup>(6)</sup>	INV E -907	0.60mm
Estabilidad ultravioleta	INV E -910	50% después de 500h de exposición

La Permitividad del geotextil debe ser mayor que la permitividad del suelo ( $\Psi_g > \Psi_s$ ). El interventor también podrá exigir una permeabilidad del geotextil mayor que la presentada por el suelo ( $kg > ks$ ).

<sup>(6)</sup> El valor del Tamaño de Abertura Aparente (TAA) representa el valor máximo promedio por rollo.

### 1.2.6.3 Requerimientos para las Propiedades de Resistencia de los Geotextiles.

**Tabla 1.9** Requerimientos para las Propiedades de Resistencia de los Geotextiles.

Clase de geotextil <sup>(1) (2)</sup> (tabla1)								
			Clase 1		Clase 2		Clase 3	
	Método de ensayo	Unidades	Elongación <50% <sup>(3)</sup>	Elongación >50% <sup>(3)</sup>	Elongación <50% <sup>(3)</sup>	Elongación >50% <sup>(1)</sup>	Elongación <50% <sup>(3)</sup>	Elongación >50% <sup>(3)</sup>
Resistencia Grab	ASTM D4632	N	1400	900	110	700	800	500
Resistencia de la costura <sup>(4)</sup>	ASTM D4632	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al rasgado	ASTM D4632	N	500	350	400 <sup>(5)</sup>	250	300	180
Resistencia al punzonado	ASTM D4632	N	2750	1925	2200	1375	1650	990
Permisividad	ASTM D4632	s <sup>-1</sup>	Los valores mínimos de las propiedades para la permisividad, TAA y estabilidad UV están basados en la aplicación para el geotextil. Refiérase a la tabla 2 para el drenaje subsuperficial, las tablas 3 y 4 para la separación, la tabla 5 para la estabilización y la tabla 6 para el control de erosión permanente.					
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4632	mm						
Estabilidad ultravioleta	ASTM D4632	%						

- (1) La clase requerida de geotextil esta designada en las tablas 2, 3, 4, 5 ó 6, para las aplicaciones indicadas. La severidad de las condiciones de instalación para la aplicación generalmente requiere una clase de geotextil. Clase 1 esta especificada para las condiciones de instalación más severa, donde existe un gran potencial de daño del geotextil, y clases 2 y 3, son especificadas para condiciones para condiciones menos severas.
- (2) Todos los valores nuéricos representan el VMPR (Valor Mínimo Promedio por Rollo), en la dirección más débil (ver sección 8.1.2).
- (3) Medido de acuerdo al ASTM D4632.
- (4) Cuando juntas cosidas son requeridas, referirse al apéndice para requerimientos para traslapos cosidos.
- (5) El VMPR requerido para resistencia al rasgado trapezoidal, para geotextiles de monofilamentos es de 250 Newtons.

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHTO M288-05.

### 1.2.6.4 Requerimientos para el geotextil en Drenaje Superficial

**Tabla 1.10** Requerimientos para el geotextil en Drenaje Superficial

Requerimientos (Tabla2)					
Porcentaje de suelo que pasa Tamiz N°200 (0.075mm) <sup>(1)</sup>					
	Metodo	Unidades	<15	15 a 20	>50
Clases de Geotextil			Clase 2 de la tabla 1 <sup>(2)</sup>		
Permitividad <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup>	ASTM D 4491	s <sup>-1</sup>	0.5	0.2	0.1
Tamaño aparente <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup>	ASTM D 4751	Mm	0.43 valores max. Prom. Por rollo	0.25 valores max. Prom. Por rollo	0.22 <sup>(5)</sup> valores max. Prom. Por rollo
Estabilidad ultravioleta	ASTM D 4355	%	50% después de 500 horas de exposición		
<p><sup>(1)</sup> Basado en el análisis granulométrico del suelo in situ de acuerdo con la AASHTO T88</p> <p><sup>(2)</sup> Selección por omisión del geotextil. El ingeniero puede especificar un geotextil clase 3 de la tabla 1 para aplicaciones de drenaje en trincheras basado en uno o más de los siguientes conceptos:</p> <p>m) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles Clase 3 tienen una supervivencia suficiente basada en la experiencia de campo.</p> <p>n) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles clase 3 tienen una supervivencia suficiente basada en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo unas condiciones de campo.</p> <p>o) La profundidad del subdren es menor de 2.0m el diámetro del agregado es menor de 30mm y los requerimientos de compactación son menores del 95% de la AASHTO T99</p> <p><sup>(3)</sup> Estos valores por omisión para las propiedades en filtración están basados en los tamaños de las partículas predominantes de un suelo in situ. Adicionalmente al valor por omisión para la permitividad, el ingeniero puede requerir de la permeabilidad del geotextil y/o ensayos de desempeño basado en la ingeniería de diseño para sistemas de drenaje en ambientes de suelos problemáticos.</p> <p><sup>(4)</sup> Debería efectuarse un diseño del geotextil para un sitio específico especialmente si uno o más de los siguientes suelos problemáticos son encontrados: suelos inestables o altamente erosionables tales como los limos no cohesivos; suelos de gradación abierta; suelos laminados alternando arenas y limos; arcillas dispersivas y/o polvo de roca.</p> <p><sup>(5)</sup> Para los suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor máximo promedio pro rollo (VMPPR) es de 0.30mm.</p>					

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHTO M288-05.

### 1.2.6.5 Requerimientos para las propiedades del geotextil en Separación

**Tabla 1.11** Requerimientos para las propiedades del geotextil en Separación

Tabla 3	Método de ensayo	Unidades	Requerimientos
Clase de geotextil			Ver tabla 4
Permitividad	ASTM D4491	$s^{-1}$	0.02 <sup>(1)</sup>
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	Mm	0.60 valor máx. prom. Por rollo
Estabilidad ultravioleta (resistencia mantenida)	ASTM D4355	%	50% después de 500 horas de exposición
<p><sup>(1)</sup> Valor por omisión. La permisividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo (<math>\Psi_g &gt; \Psi_s</math>). El ingeniero también puede exigir que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo (<math>k_g &gt; k_s</math>)</p>			

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHTO M288

### 1.2.6.6 Requerimientos para las propiedades del geotextil en condición de Subrasante.

**Tabla 1.12** Requerimientos para las propiedades del geotextil en condición de Subrasante.

	Equipo de presión de tierra baja $\leq 25\text{kPa}$ (3.6psi)	Equipo de presión de tierra media $>25$ a $\leq 50$ kPa ( $>3.6$ a $\leq 7.3$ psi)	Equipo de presión de tierra alta $>50$ kPa ( $>7.3$ psi)
La subrasante ha sido limpiada de todo obstáculo excepto césped, mala hierba, hoas y restos finos de madera. La superficie esta lisa y nivelada de manera que cualquier depresion superficial y protuberancia no exceda los 450mm en profundidad o altura. Toda depresión mayor será llenada. Alternativamente se puede poner una capa de nivelación	Bajo clase 3	Moderado clase 2	Alto clase 1
Los subrasante ha sido limpiada de todo obstáculo mas grande que ramas o piedras de tamaño pequeño a moderado. Troncos de árbol y cepas deberán ser removidos o cubiertos por la capa de nivelación. Las depresiones y protuberancias no exceden los 450mm, en profundidad o altura mayores depresiones deberán ser llenadas.	Moderado clase 2	Alto clase 1	Muy alto Clase 1+
Preparación mínima de terreno requerida. Los árboles derribados, delimitados y dejados en el lugar. Las cepas deberán ser cortadas para no proyectar más de 150mm por encima de subrasante. El geotextil puede cubrir directamente los troncos de árbol, cepas, grandes depresiones y protuberancia, huecos, canaletas y grandes piedras. Los elementos solo deberán ser removidos si la colocación del geotextil y el material de cobertura, sobre ellos, distorsionara la superficie terminada del pavimento.	Alto Clase 1	Muy alto Clase 1+	No recomendado
<p><sup>(1)</sup> Las recomendaciones son para espesores de elevación inicial de 150 a 300mm. Para otros espesores:</p> <p>p) 300 a 450mm: reducir requerimientos de supervivencia un nivel.</p> <p>q) 450 a 600mm: reducir requerimientos de supervivencias dos niveles.</p> <p>r) &gt; a 600mm: reducir requerimientos de supervivencia tres niveles.</p> <p>Para técnicas especiales de construcción incrementa los requerimientos de supervivencia del geotextil un nivel. La colocación, en exceso, de un espesor inicial de material de cobertura puede causar falla por soporte en subrasantes blandas.</p>			

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHTO M288-05.

### 1.2.6.7 Requerimientos para las propiedades en Estabilización

**Tabla 1.13** Requerimientos para las propiedades en Estabilización

	Método de ensayo	Unidades	Requerimientos
<b>Clase del geotextil</b>			Clase 1 de la tabla 1 <sup>(1)</sup>
<b>Permitividad</b>	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	0.05 <sup>(2)</sup>
<b>Tamaño de abertura</b>	ASTM D4751	mm	0.43 valor max. Prom. Por rollo
<b>Estabilidad ultravioleta (Resistencia mantenida)</b>	ASTM D4355	%	50% después de 500 horas de exposición
<p><sup>(1)</sup>Selección por omisión del geotextil, el ingeniero puede especificar un geotextil clase 2 o 3 de la tabla 1, basado en uno o más de los siguientes conceptos.</p> <p>s) El ingeniero ha encontrado que la clase de los geotextiles tiene una supervivencia suficiente, basado en la experiencia en campo.</p> <p>t) El ingeniero ha encontrado que la clase de los geotextiles tiene una supervivencia suficiente basada en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo condiciones de campo.</p> <p><sup>(2)</sup>Valor por omisión, la permisividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo (<math>\Psi_g &gt; \Psi_s</math>). El ingeniero también puede exigir que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo (<math>k_g &gt; k_s</math>)</p>			

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHTO M288-05.

### 1.2.6.8 Requerimientos para el geotextil en Control Permanente de Erosión.

**Tabla 1.14** Requerimientos para el geotextil en Control Permanente de Erosión.

		Requerimientos			
Porcentaje de suelo in situ que pasa tamiz N°200 (0.075) <sup>(1)</sup>			<15	15 a 50	>50
Clase de geotextil	Método de ensayo	Unidades			
Geotextil tejidos monofilamento todos los demás geotextiles			Clase 2 de la tabla 1 <sup>(2)</sup> Clase 1 de la tabla 1 <sup>(2) (3)</sup>		
Permitividad	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	0.7	0.2	0.1
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm	0.43 Valores máx prom. Por rollo	0.25 Valores máx prom. Por rollo	0.22 <sup>(5)</sup> Valores máx prom. Por rollo
Estabilidad ultravioleta	ASTM D4355	%	50% después de 500 horas de exposición		

<sup>(1)</sup>Basado en el análisis granulométrico del suelo in-situ de acuerdo con la AASHTO T 88

<sup>(2)</sup>Como regla general, la selección por omisión del geotextil es apropiada para condiciones iguales o menos severas que las siguientes:

- u) La piedra del blindaje no pesa más de 100 kg , la altura de caída de las piedras no es mayor a 1m y no se ha requerido una cama de agregado.
- v) La piedra del blindaje pesa más de 100kg, la altura de caída de las piedras no es mayor a 1m y el geotextil es protegido por una cama de agregados de 150mm diseñado para ser compatible con la capa de blindaje, aplicaciones más severas requiere una evaluación de la supervivencia del geotextil, basada en ensayos de campo, y podrían requerir un geotextil con propiedades de resistencia mayores.

<sup>(3)</sup>El ingeniero puede especificar un geotextil clase 2 de la tabla 1 en uno o más de los siguientes conceptos:

- w) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles clase 2 tienen una supervivencia suficiente basada en la experiencia en campo.
- x) El ingeniero ha encontrado que los geotextiles clase 2 tienen una supervivencia suficiente basada en ensayos de laboratorio y la inspección visual de una muestra de geotextil removida de una sección de ensayo en el campo construida anticipadamente bajo unas condiciones de campo.
- y) La piedra del blindaje pesa menos de 100kg la altura de caída de las piedras no e mayor a 1m y el geotextil es protegido por una cama de agregados de 150mm, diseñado para ser compatible con la capa de blindaje.
- z) de más de 100kg y la piedra colocada directamente sobre el geotextil sin dejarla caer.

<sup>(4)</sup> Estos valores por omisión para las propiedades en filtración están basados e los tamaño de las partículas predominantes de un suelo in situ, adicionalmente al avlor pr omisión para la permitividad, el ingeniero puede requerir de la permeabilidad del geotextil y/o ensayos de desempeño basado en la ingeniería de diseño para sistemas de drenaje en ambientes de suelos problemáticos.

<sup>(5)</sup> Debería efectuarse un diseño del geotextil para un sitio esecifico especialmente si uno o más de los siguientes suelos problemáticos son encontrados: suelos inestables o altamente erosionables tales como los limos no cohesivos; suelos de gradación abierta; suelos laminados alternando arenas y limos; arcillas dispersivas y/o polvo de roca.

<sup>(6)</sup>Para los suelos cohesivos con un índice de plasticidad mayor a 7, el valor máximo promedio por rollo (VMPR) es de 0.30 mm

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHTO M288-

05.

### 1.2.6.9 Requerimientos para geotextil en Defensas de Arcillas Temporales

**Tabla 1.15** Requerimientos para geotextil en Defensas de Arcillas Temporales

Requerimientos					
Tabla 7			Defensa de arcilla con soporte <sup>(1)</sup>	Defensa de arcilla sin soporte	
	Método de ensayo	Unidades		Elongación del geotextil $\geq 50\%$ <sup>(2)</sup>	Elongación del geotextil $< 50\%$ <sup>(2)</sup>
<b>Máximo espaciamiento de postes</b>			1.2m	1.2m	2m
<b>Resistencia Grab Dirección de la máquina Dirección transversal</b>	ASTM D4632	400		550	550
		400		450	450
<b>Permitividad<sup>(3)</sup></b>	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	0.05	0.05	0.05
<b>Tamaño de abertura aparente</b>	ASTM D4751	MM	0.60 Valor máx. prom. Por rollo	0.60 Valor máx. prom. Por rollo	0.60 Valor máx. prom. Por rollo
<b>Estabilidad ultravioleta (resistencia mantenida)</b>	ASTM D4355	%	70% después de 500 horas de exposición		

<sup>(1)</sup>Los soportes de las defensas de arcilla consisten de alambre de acero #14, con un espaciamiento de malla de 150mm por 150mm, o mallas prefabricadas de polímeros, con una resistencia equivalente.

<sup>(2)</sup>Medido de acuerdo al ASTM D4632

<sup>(3)</sup>Estos valores por omisión para las propiedades en filtración están basados en evidencia empírica con una variedad de sedimentos. Para áreas ambientales sensitivas, una revisión de experiencias previas y/o obras, o geotextiles específicos de la región, la agencia deberá hacer ensayos para confirmar que estos requerimientos son apropiados.

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHO M288-05.

### 1.2.6.10 Requerimientos para Propiedades del Geotextil en Pavimentación.

**Tabla 1.16** Requerimientos para Propiedades del Geotextil en Pavimentación.

	Métodos de ensayo	Unidades	Requerimientos
<b>Resistencia Grab</b>	ASTM D 4632	N	450
<b>Elongación en rotura</b>	ASTM D 4632	%	≥50
<b>Masa por unidad de área</b>	ASTM D 5261	g/m <sup>2</sup>	140
<b>Retención asfáltica</b>	ASTM D 6140	l/m <sup>2</sup>	Notas 2 y 3
<b>Punto de fusión</b>	ASTM D 276	°C	150

Notas:

aa) Todos los valores numéricos representan al VMPR, en la dirección más débil (ver sección 9.2).

bb) Únicamente el asfalto requerido para saturar al geotextil. LA retención asfáltica debe ser suministrada en una certificación del fabricante (refiérase a la sección 5). El valor no indica la tasa aplicación de asfalto requerido en la construcción.

cc) La propiedad de retención asfáltica del producto debe cumplir con los VMPR suministrados en la certificación del fabricante.

**Fuente:** Especificación de Geotextiles para aplicaciones en vías, Designación AASHTO M288-05.

### 1.2.6.11 Normas usadas en el Perú

Para evidenciar el uso de un geotextil en una aplicación, deben realizarse ensayos de laboratorio, para pronosticar la conducta de las estructuras reales en las que se va a usar.

Existen diferentes normativas dependiendo del país donde estas se apliquen, en este trabajo se hace referencia a las normas colombianas del INVIAS basadas en las normas dadas por la ASTM.

En cada norma se explicará el ensayo, equipo usado y el procedimiento para realizar el ensayo, con el fin de concebir la importancia que poseen en las diferentes aplicaciones de los geotextiles.

En Latinoamérica se han desarrollado algunas especificaciones para la instalación de los mismos, dentro de las que podemos citar en el Perú aquella elaborada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2000), en sus secciones:

- Sección 650: Geotextiles (Tablas de especificaciones mínimas para cada aplicación).
- Sección 651: Separación de suelos de subrasante y capas granulares con geotextil (guía de construcción e instalación, valores de resistencias referidas a la sección 650).
- Sección 652: Subdrenes con geotextil y material granular (guía de construcción e instalación, valores de resistencias referidas a la sección 650).
- Sección 653: Geotextil para pavimentación (guía de construcción e instalación, valores de resistencias referidas a la sección 650).

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

#### 2.1 Materiales y equipos de ensayo

##### 2.1.1 Materiales

- Geotextil No tejido

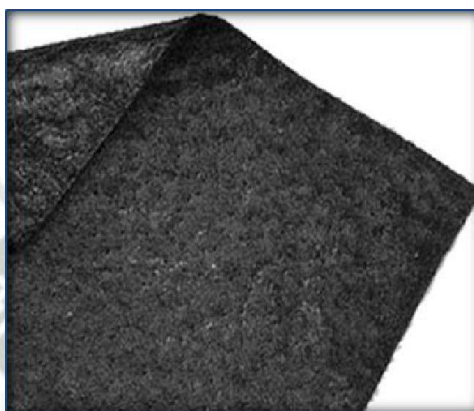


Figura N°2.1: Geotextil No Tejido 270 g/m<sup>2</sup>

Fuente: Proveedor TDM – Peru.

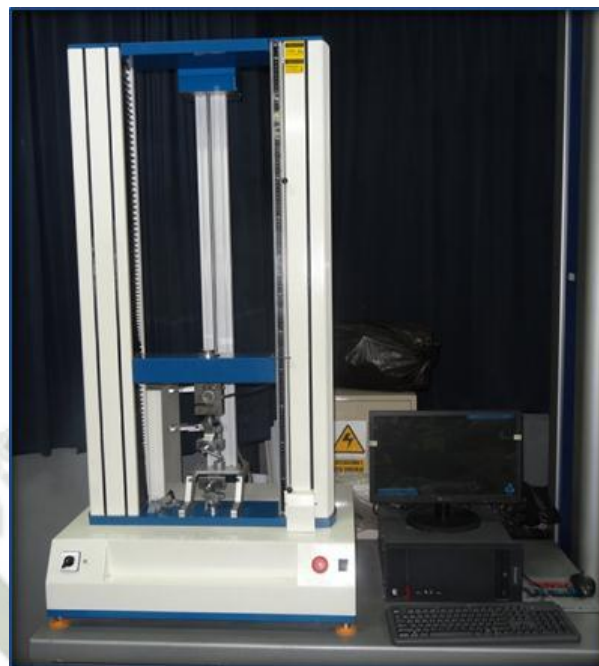
##### 2.1.2 Equipos

- Equipo para ensayo de Tracción y Agarre

Tabla N°2.1: Descripción general del equipo de ensayo de Tracción y Agarre.

DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO	
Descripción (nombre del instrumento)	Equipo ensayo de tracción para plásticos
Fabricante (Marca)	Liyi-Tech
Procedencia:	China
Modelo	LY-1066
Magnitud de medida	Kilogramos
Rango (Escala de medición)	0-2000 kg

Fuente: Propia



**Figura N°2.2:** Equipo para ensayo de Tracción y Agarre.

**Fuente:** Propia.

- Equipo para ensayo de punzonado

**Tabla N°2.2:** Descripción general del equipo de ensayo de Punzonado.

DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO	
<b>Descripción (nombre del instrumento)</b>	Maquina universal de ensayos (tracción y compresión)
<b>Fabrican (Marca)</b>	Time Group INC
<b>Procedencia:</b>	China
<b>Modelo</b>	WDW-309E
<b>Magnitud de medida</b>	Kg
<b>Rango (Escala de medición)</b>	0-30000 kg

**Fuente:** Propia.



**Figura N°2.3:** Equipo para ensayo de Punzonado.

**Fuente:** Propia.

- Mordazas

Se utilizaron distintos tipos de mordazas dependiendo de los ensayos a realizar (Tracción o Agarre).

- Mordaza de Tracción:



**Figura N°2.4:** Mordaza para ensayo de Tracción.

**Fuente:** Propia.

- Mordaza de Agarre:

Se diseñó para el ensayo de Agarre según la norma ASTM D 4632-08.



**Figura N°2.5:** Mordaza para ensayo de Agarre.

**Fuente:** Propia.

- Punzón:

Se diseñó para el ensayo de punzonamiento según la norma ASTM D 4833-00



**Figura N°2.6:** Punzón.

**Fuente:** Propia.

- Abrazadera y tubo de apoyo: Diámetro 2 ½"



**Figura N°2.7:** Abrazadera de 2 ½" y tubo de apoyo 45 mm.

**Fuente:** Propia.

De acuerdo a la norma ASTM D 4833 el diámetro interno de la zona de ensayo es de  $45 \pm 0.025$  mm.

- Prensa Manual:



**Figura N°2.8:** Prensa manual.

Fuente: Propia.

- Troquel



Figura N°2.9: Troquel.

Fuente: Propia.

- Balanza digital



Figura N°2.10: Balanza digital.

Fuente: Propia.

- Micrómetro digital:



Figura N°2.11: Micrómetro digital.

Fuente: Propia.

- Regla, marcador y cutter:



Figura N°2.12: Regla, marcador y cutter.

Fuente: Propia.

- Hardware y software:

Tabla N°2.3: Descripción general de hardware y software.

DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO	
Descripción	Hardware –PC
Fabrican (Marca)	Lenovo
Procedencia:	China
Sistema Operativo:	Windows XP
Procesador:	AMD E1-1200 APU 1.4 GHz
Memoria RAM:	1618 MB
Software ensayo punzonado:	
Software ensayo tracción y agarre:	TMZ 2101 Versión 4.43

Fuente: Propia.



Figura N°2.13: Hardware – PC.

Fuente: Propia.

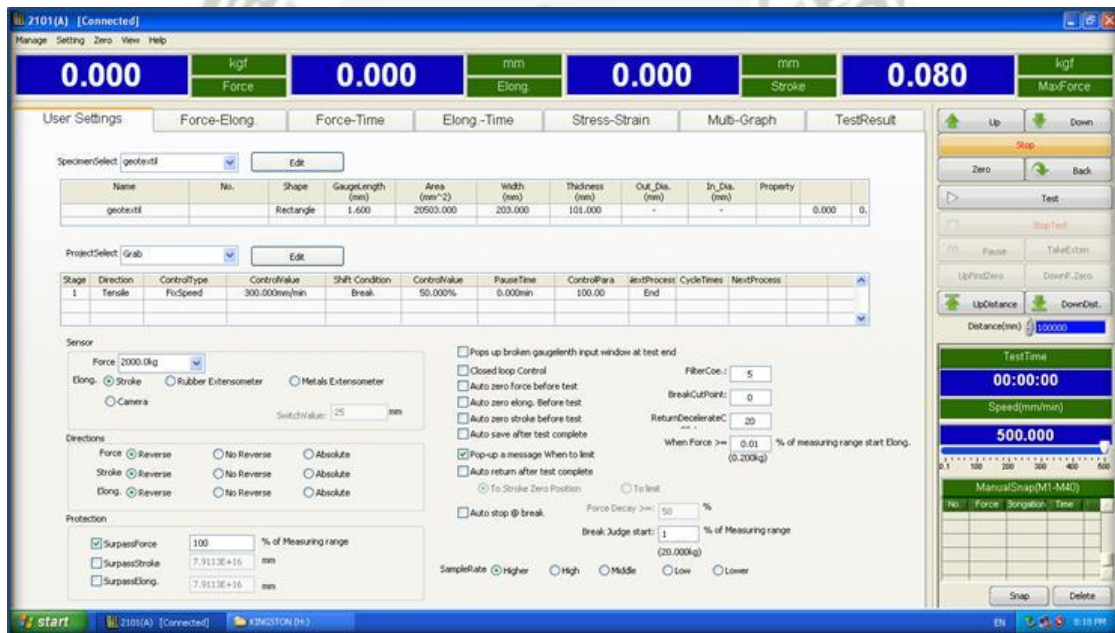


Figura N°2.14: Software – Ensayo de tracción y agarre.

Fuente: Propia.

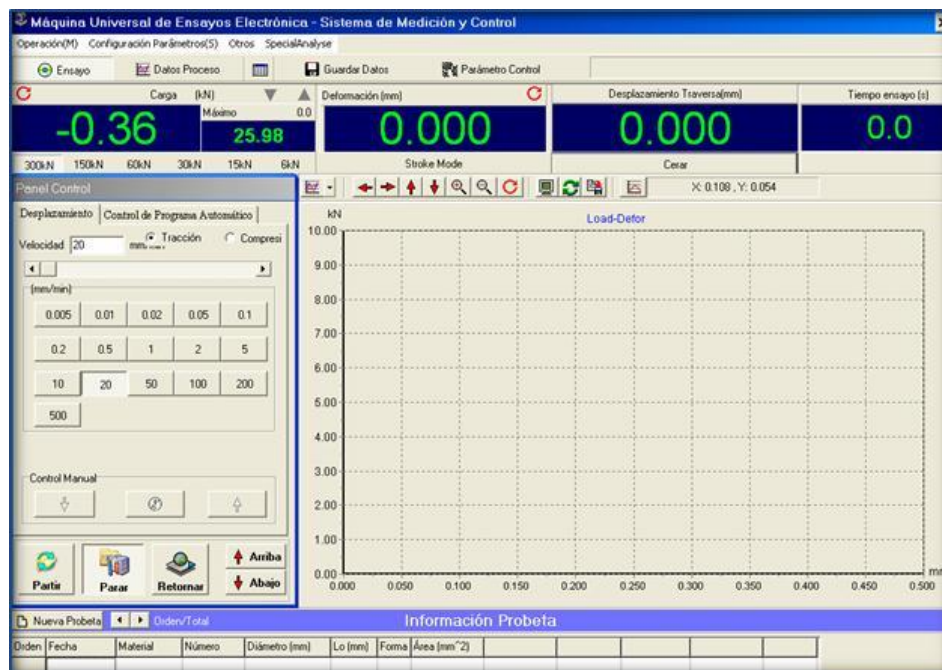


Figura N°2.15: Software – Ensayo de punzonado.

Fuente: Propia.

- Microscopio estereográfico de W10X/20



Figura N°2.16: Microscopio estereográfico.

Fuente: Propia.

- Micrómetro para medir espesores  $\pm 0.001 \mu\text{m}$

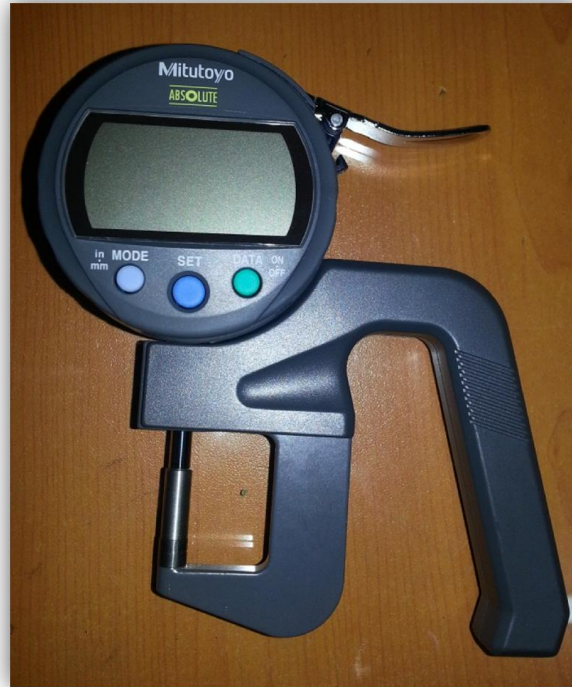


Figura N°2.17: Micrómetro

Fuente: Propia.

## 2.2 Caracterización Mecánica de los Geotextiles.

### 2.2.1 Método de prueba estándar de medición de la masa por unidad de superficie de Geotextiles según norma ASTM D5261-92.

Para determinar el gramaje del geotextil no tejido, se procedió a medir la masa por unidad de superficie. La balanza analítica con la que cuenta el laboratorio de ensayo de materiales de la UCSM es marca KERN (modelo PCB2500-2).

La balanza utilizada esta calibrada y tiene una precisión de 0.01g, tal como indica la norma ASTM D5261-92.

### Obtención de probetas

Se habilitaron diez (10) probetas; con 100.00mm (largo) x100.00mm (ancho). Ver figura N°2.17



**Figura N°2.18:** Probeta para medición de masa.

Fuente: Propia.

### Procedimiento de ensayo

Ensayar las probetas acondicionadas en la atmósfera estándar según norma, las condiciones ambientales son las siguientes:

**Tabla N°2.4:** Condiciones Ambientales en el laboratorio de ensayo de materiales

CONDICIONES AMBIENTALES	
Elevación	2328 msnm
Temperatura Máxima Promedio	21° C
Humedad Relativa	46%

Fuente: Propia

La norma indica que la prueba debe realizarse en aire manteniendo a una humedad relativa de  $65 \pm 5\%$  y una temperatura de  $21 \pm 2^\circ \text{C}$  ( $70 \pm 4^\circ \text{F}$ ); por lo tanto los ensayos se realizaron en un ambiente óptimo según las especificaciones de la norma ASTM.

### Paso 1: Obtención de datos de entrada

Medidas de la probeta Largo x ancho x espesor.

Para las medidas de largo y ancho se tomaron con una regla y para el espesor con un micrómetro digital. Ver Figura N° 2.18.



Figura N°2.19: Espesor de probetas.

Fuente: Propia.

### Paso 2: Realizar la medición de masa

Colocar la probeta en la balanza para realizar la medición de masa, luego aplicar las formulas indicadas en la norma ASTM D5261-92 utilizando los valores obtenidos en el ensayo, para obtener el gramaje del geotextil no tejido. Ver Figura N°2.19



Figura N°2.20: Medición de masa.

Fuente: Propia.

### 2.2.2 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los Geotextiles según norma ASTM D 638-03.

Una máquina de ensayo del tipo de velocidad de extensión constante, mordazas auto alineados en dirección del movimiento del ensayo de tracción, las muestras estarán alineadas lo más perfectamente posible en la dirección de la tracción para que ningún movimiento de rotación que pueda inducir el deslizamiento se producirá en las mordazas.

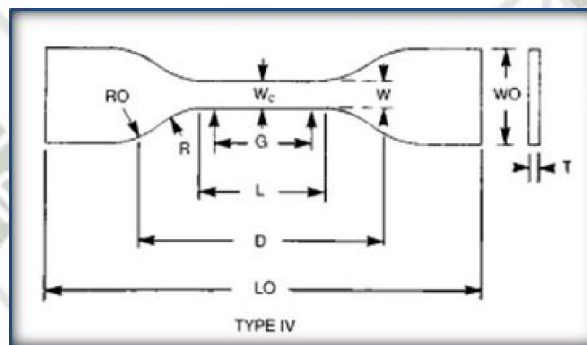
Superficies de agarre con rayado o dentado horizontal, dentados alrededor de 2,4 mm [0,09 pulg.] de distancia y alrededor de 1,6 mm [0,06 pulg.] de profundidad. Se utilizó entre la muestra y la superficie de agarre papel abrasivo N° 80 la cual fue eficaz para evitar el deslizamiento y/o daño de la muestra.

El comportamiento mecánico de los fieltros es sumamente complejo, ya que están involucrados mecanismos de deformación y rotura tales como grandes deformaciones, rotaciones y deslizamiento y rotura de fibras. Si bien los modelos numéricos han supuesto un avance en la

comprensión del comportamiento mecánico de los fieltros, en numerosas ocasiones descansan sobre suposiciones ad hoc y parámetros de ajuste no siempre bien caracterizados

### Obtención de Probetas

El laboratorio de ensayo de materiales de la UCSM, cuenta con un troquel para obtener probetas normalizadas con las dimensiones establecidas para el material geotextil no tejido (ASTM D 638-3). Ver Figura N°2.20.



**Figura N°2.21:** Dimensiones de probeta para ensayos de tracción.

**Fuente:** Propia.

Las probetas se cortaron utilizando el troquel y la prensa manual, se cortaron 10 (diez) probetas. Ver Figura N°2.21.



**Figura N°2.22:** Corte de material con troquel y prensa manual.

**Fuente:** Propia.

### Procedimiento de ensayo

Ensayar las probetas acondicionadas en la atmósfera estándar según norma ASTM D 638-03

#### Paso 1: Ingreso de datos

Ingresar los datos de la probeta en el software del equipo

#### Paso 2: Colocar la probeta en el equipo

El ensayo llevo a cabo poniendo la probeta en la mordaza en el punto móvil utilizando el lijador N°80, luego se aproxima la muestra a la mordaza en el punto fijo y de igual manera se utiliza el lijador para asegurar la muestra.

Las probetas serán agarradas por las mordazas en unas marcas con una distancia de extremo a extremo de 85 mm. Ver Figura N° 2.22.

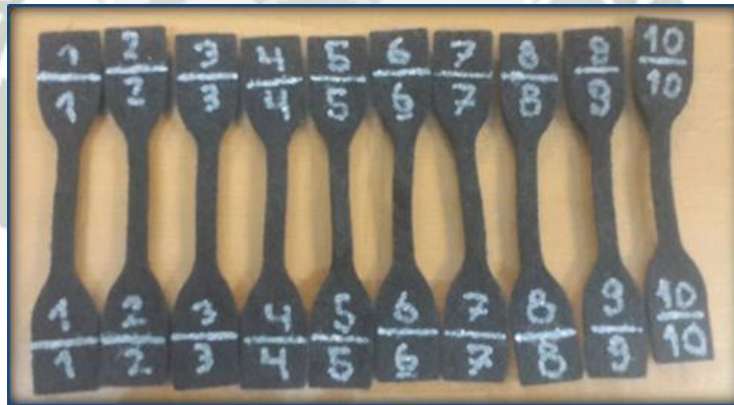


Figura N°2.23: Probetas marcadas para realizar ensayo de tracción.

Fuente: Propia.

#### Paso 3: Ensayo de tracción

Se procede a ensayar las probetas en el equipo de tracción.



**Figura N°2.24:** Probeta instalada en mordazas para realizar el ensayo.

**Fuente:** Propia.

### **2.2.3 Método de prueba estándar para resistencia a la perforación de Geotextiles según norma ASTM D 4833-00.**

Para realizar ensayo de resistencia a la perforación de Geotextiles (punzonamiento) es necesario utilizar una máquina de prueba Tensión/compresión, del tipo de velocidad de extensión constante (CRE). La máquina de perforación con la que cuenta el Laboratorio de ensayo de materiales de la UCSM es una máquina universal de ensayos Time Group (Modelo WDW-309E).

#### **Obtención de probetas**

Se habilitaron cuatro (04) probetas de 4" x 4" para facilitar su sujeción en la placa de apoyo con abrazadera de anillo.



**Figura N°2.25:** Probetas de 100x100mm para ensayo de resistencia a la perforación. **Fuente:** Propia.

### **Procedimiento de ensayo**

Ensayar las probetas acondicionadas en la atmósfera estándar según norma ASTM D 4833-00.

#### **Paso 1: Ingreso de datos**

Ingresar los datos de la probeta al software del equipo universal.

#### **Paso 2: Colocar probeta en placa de apoyo**

Colocar la muestra en la placa de apoyo y sujetar con la abrazadera de anillo. Ver Figura N° 2.25.



**Figura N°2.26:** Proceso de sujeción de probeta en placa de apoyo.

**Fuente:** Propia.

#### **Paso 3: Posicionar la probeta en el equipo**

Centrar la placa de apoyo en la máquina de tensión y colocar el punzón en la máquina universal, como se puede ver a continuación:



**Figura N°2.27:** Posición centrada de la placa de apoyo.

Fuente: Propia.

#### **Paso 4: Posicionar el punzón**

Situar el punzón a la misma altura de la muestra comprobando que el punzón toque el centro de la muestra.



**Figura N°2.28:** Posición de punzón.

Fuente: Propia.

#### **Paso 5: Ensayo de punzonado**

Comenzar el ensayo de resistencia a la perforación hasta la rotura de la muestra. El ensayo se debe realizar a una velocidad constante.



**Figura N°2.29:** Ensayo de Punzonamiento.

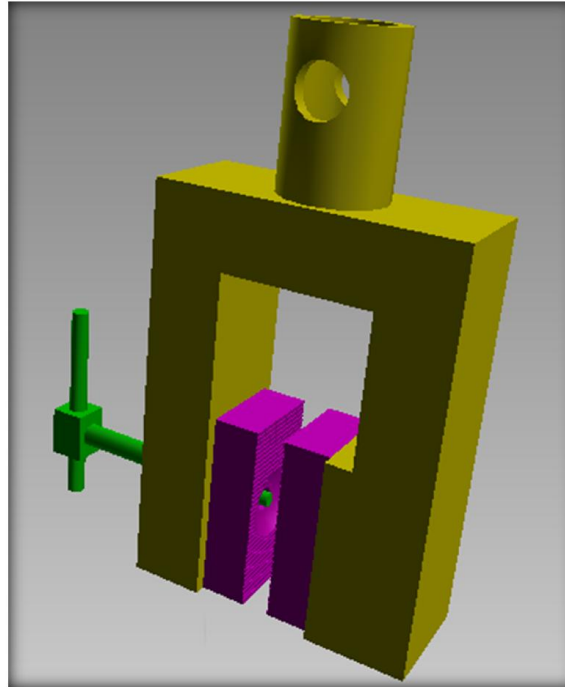
**Fuente:** Propia.

#### **2.2.4 Método de prueba estándar por método de agarre para Geotextiles no tejidos bajo carga concentrada según norma ASTM D 4632-08**

Para realizar el ensayo de tracción se necesita una máquina del tipo de velocidad de extensión constante (CRE). La máquina de tracción con la que cuenta el Laboratorio de ensayo de materiales de la UCSM es una máquina de tracción para plásticos Liyi-Tech (Modelo LY-1066).

Las mordazas que se requieren para el ensayo de agarre se diseñaron con los siguientes parámetros de acuerdo a la norma ASTM D4632-08:

- Cada pinza tendrá una cara de 25,4 por 50,88 mm (1"x 2"), con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga. Ver Figura N° 2.29



**Figura N°2.30:** Diseño de mordaza para ensayo de agarre.

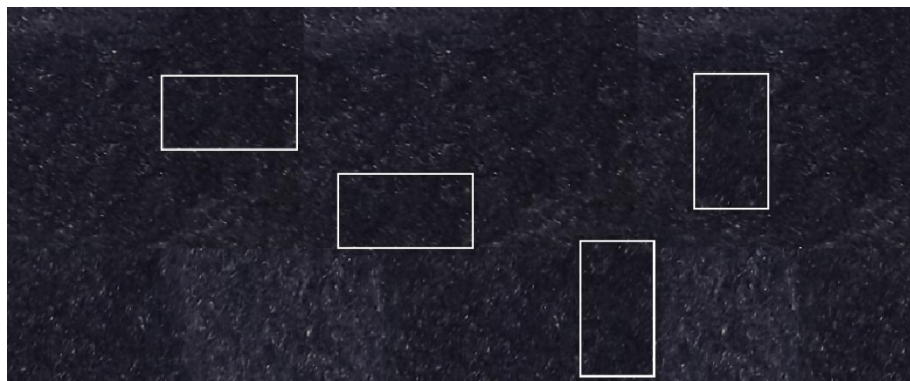
**Fuente:** Propia.

### **Obtención de probetas**

Se realizaron cuatro (04) probetas; según lo indicado por la norma ASTM D4632-08 las probetas deben ser rectangulares con las siguientes características: Ancho 101,0 mm, largo 203,0 mm.

No es posible tener una referencia a la orientación de las fibras del geotextil no tejido, debido a que la dirección en la que están dispuestas suele distribuirse de forma lineal, cruzada, aleatoria o una combinación de estas, por lo tanto no muestran un punto exacto de referencia, es por esto que para definir el sentido u orientación de una tela no tejida se hace mención a la dirección longitudinal (largo de tela) y a la dirección transversal (ancho de la tela).

Para estudiar la diferencia del sentido de las probetas, dos de las probetas fueron tomadas en el sentido longitudinal y las otras dos fueron tomadas en el sentido transversal (ver figura 2.30)



**Figura N°2.31:** Trazado del sentido de las probetas.

**Fuente:** Propia

Se trazaron las probetas rectangulares en el geotextil no tejido según las medidas indicadas en la norma ASTM D4632-08.



**Figura N°2.32:** Trazado de probetas.

**Fuente:** Propia.

Se trazaron líneas de centro y horizontales para mantener una distancia de 101 mm entre mordazas (medida según norma ASTM D4632-08).



**Figura N°2.33:** Línea central y horizontal en probetas de ensayo.

**Fuente:** Propia.

### **Procedimiento de ensayo**

Ensayar las probetas acondicionadas en la atmósfera estándar según norma ASTM

#### **Paso 1: Obtención de datos de entrada**

Ingresar datos de entrada en la máquina

- Medidas de la probeta Largo x ancho x espesor
- Velocidad de separación de mordazas  $300 \pm 10$  mm/min (según norma ASTM D4632-08).

Para las medidas de largo y ancho se tomaron con una regla y para el espesor con un micrómetro digital, ver figura N° 2.17

#### **Paso 2: Colocar probeta en máquina de agarre.**

Ajustar la distancia entre las mordazas al comienzo de la prueba a  $75 \pm 1$  mm, esta distancia te da la facilidad de colocar las mordazas a 101mm según la línea horizontal trazada. Ver figura N° 2.33



**Figura N°2.34:** Distancia entre mordazas al inicio del ensayo.

**Fuente:** Propia.

Apretar las mordazas de manera uniforme y con firmeza al grado necesario para reducir al mínimo el deslizamiento de la muestra durante la prueba, en caso la probeta resbale colocar lijar número 80 para mejorar la sujeción. Ver figura N° 2.34



**Figura N°2.35:** Montaje de probetas.

**Fuente:** Propia.

**Paso 2: Ensayo de Agarre.**

Iniciar la prueba y detenerla cuando se observe el rompimiento de la probeta.



**Figura N°2.36:** Ensayo de Agarre.

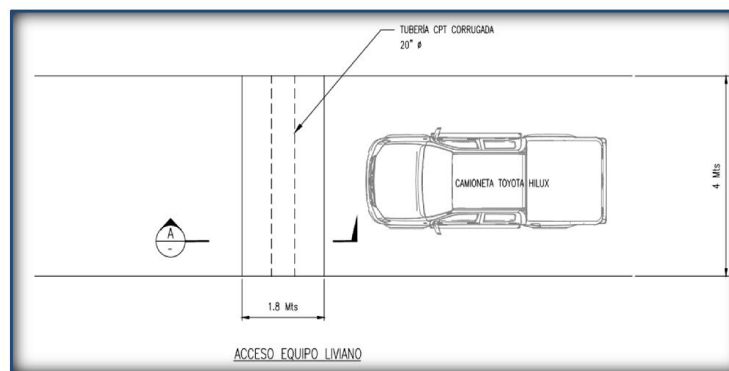
**Fuente:** Propia.

## CAPÍTULO 3

### SIMULACION DE APLICACIÓN DE GEOTEXTIL NO TEJIDO

#### 3.1 Planteamiento de la aplicación

Una de las aplicaciones más frecuentes del geotextil es la separación de los diferentes tipos de material de relleno, por lo tanto se planteó utilizarlo en un sistema de drenaje donde se coloca dos tipos de materiales grava y relleno estructural.



**Figura 3.1** Vista en planta – Cruce de drenaje Tubería CPT con agujeros.

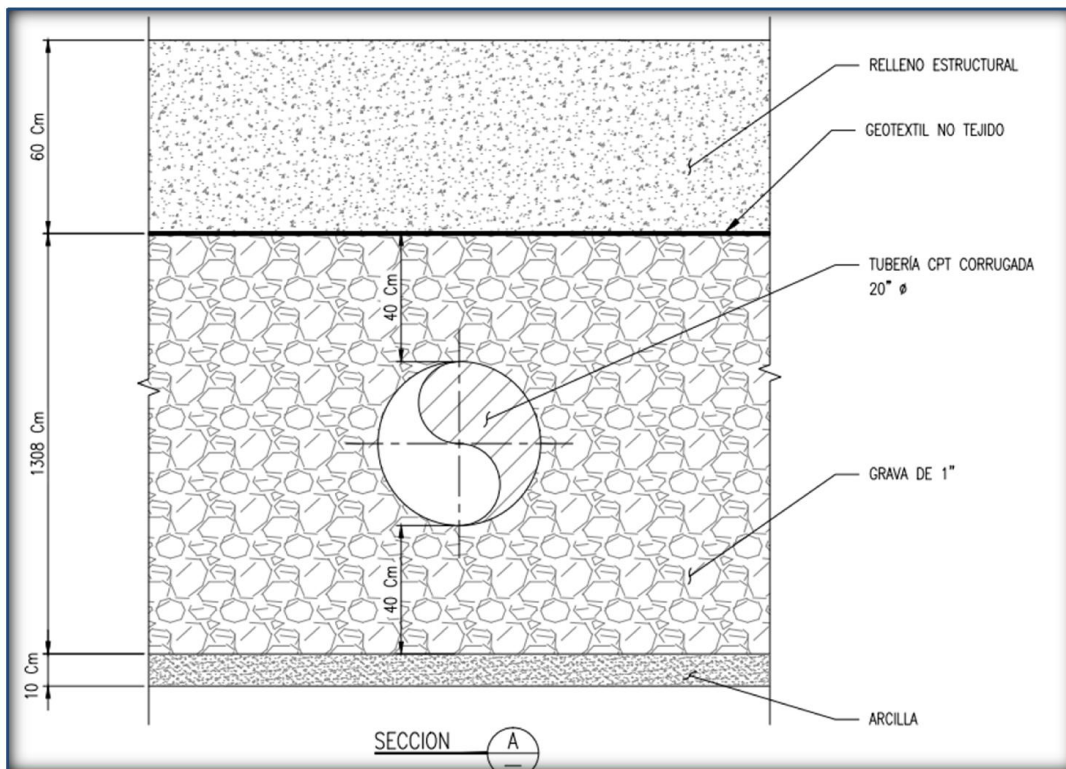
**Fuente:** Propia.

Esta aplicación se simuló en el Software SAP 2000, el software cuenta con herramientas que nos proporcionan un análisis más real porque se pueden ingresar parámetros de distintos tipos de terreno y del propio geotextil.

Para realizar la simulación se utilizaron los datos obtenidos en los ensayos de punzonamiento y agarre, estos fueron ingresados en el software y nos estará sometido a carga tanto en desgarre como también en punzonamiento por la naturaleza del relleno estructural y grava.

Datos de Entrada

- Temperatura 15°C
- Carga: Camioneta hilux 4TN
- Peso específico de relleno estructural superior 2600kg/m<sup>3</sup>
- Geotextil no tejido de 270gr/m<sup>2</sup>
- Esfuerzo por punzonamiento 302.29 kN/m<sup>2</sup>
- Esfuerzo por desgarre (Método Grap) 7.06MN/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de balastro: 0.5x10<sup>4</sup>KN/m<sup>3</sup>



**Figura 3.2** Sección A – Uso de geotextil para separación del terreno

Fuente: Propia.

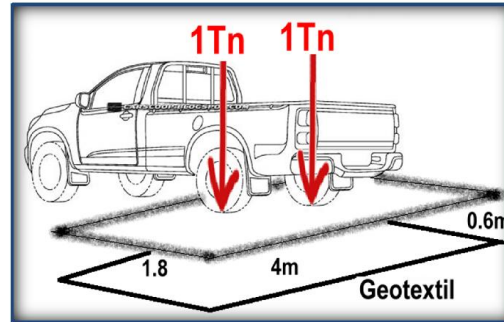


Figura 3.3 Diagrama de la aplicación

Fuente: Propia.

### 3.2 Modelamiento

Se realiza el modelamiento por elementos finitos en el SAP2000 simulando el área del geotextil a colocar como protección para la tubería corrugada

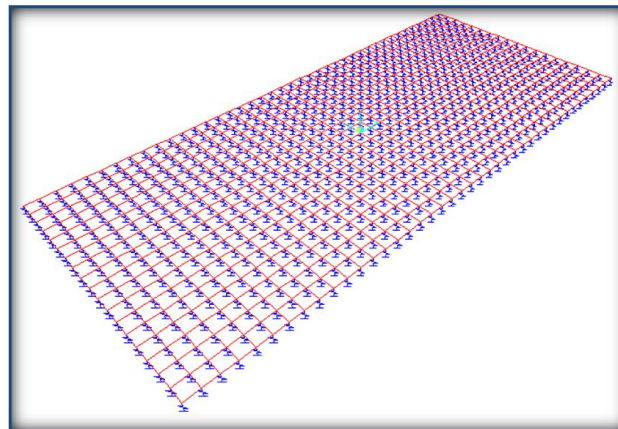
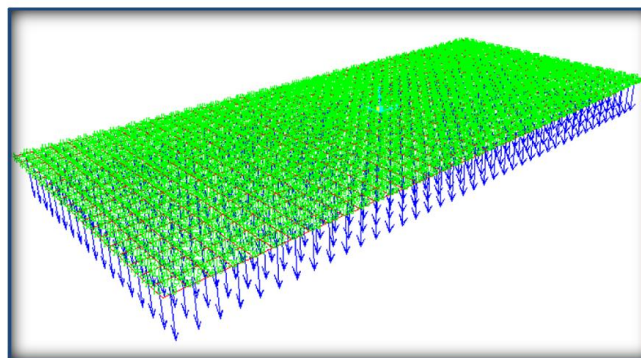


Figura 3.4 Modelamiento según aplicación

Fuente: Propia.

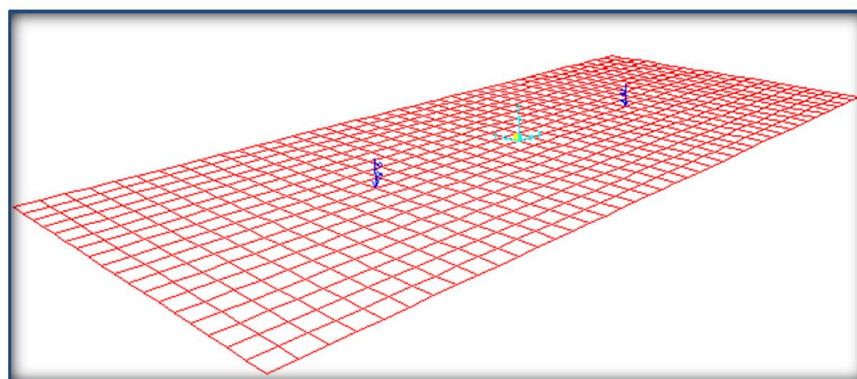
En la Figura 3.5 se muestran las cargas distribuidas obtenidas de las dimensiones de la Figura 3.2, del peso específico del relleno estructural y del coeficiente de balastro del terreno



**Figura 3.5** Representación de cargas del relleno estructural

**Fuente:** Propia.

En la Figura 3.6 se representa 02 cargas puntuales de las llantas posteriores de la camioneta Hilux ver Figura 3.3

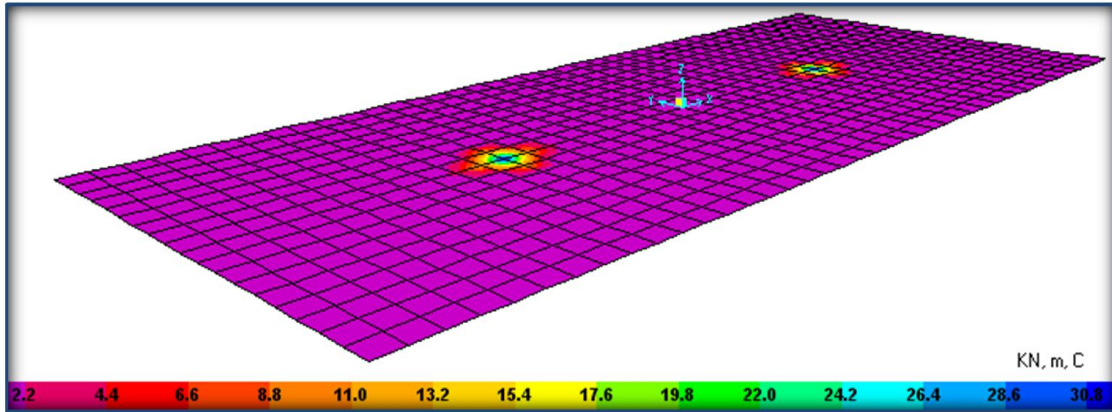


**Figura 3.6** Representación de cargas de camioneta

**Fuente:** Propia.

### 3.3 Resultados de la simulación

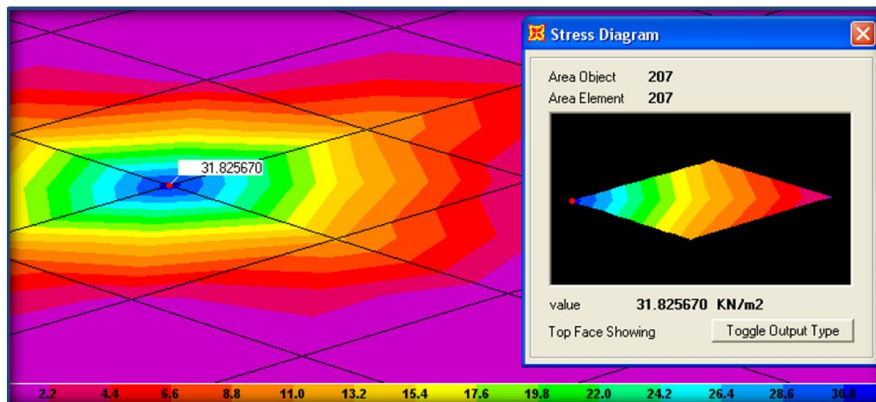
Luego de combinar la carga muerta del relleno estructural y de la carga móvil (camioneta hilux) se obtienen los siguientes resultados de la simulación (ver figura 3.7).



**Figura 3.7** Esfuerzo Von Mises

Fuente: Propia.

En la Figura 3.8 se muestra el máximo esfuerzo de Von Mises



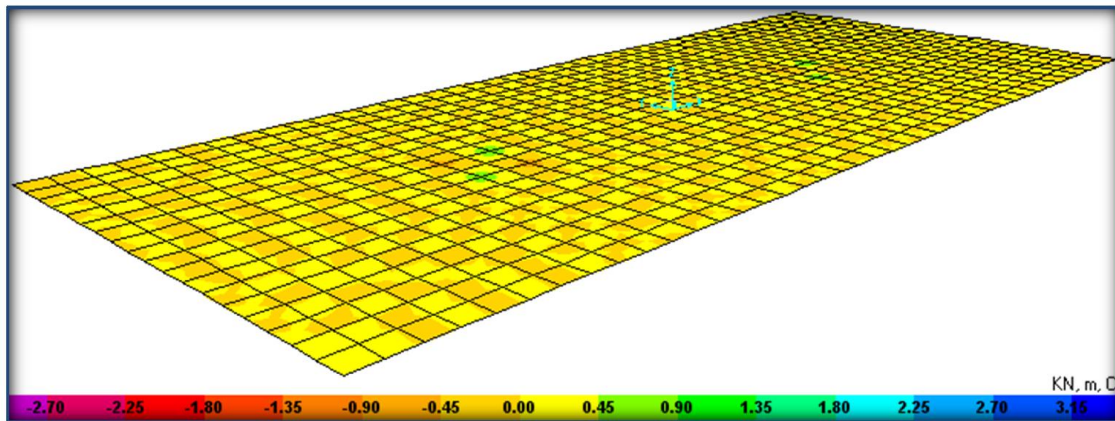
**Figura 3.8** Máximo esfuerzo Von Mises

Fuente: Propia.

Para simular el comportamiento del geotextil se realizaron dos escenarios con cargas distintas.

### 3.3.1 Escenario 1

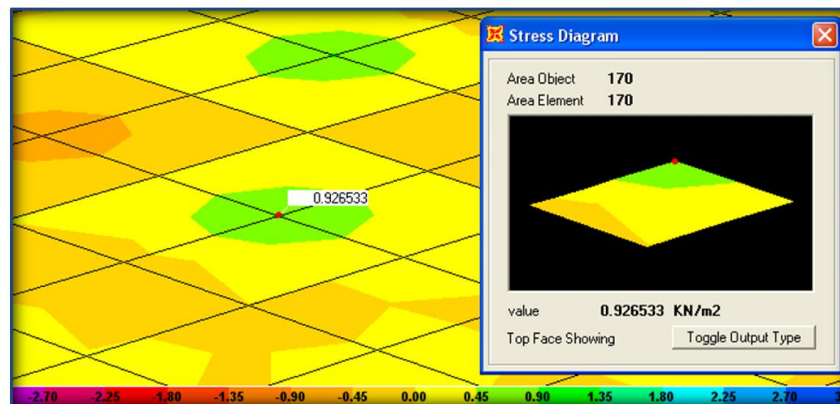
Se simulo con los datos de entrada obtenidos del planteamiento real



**Figura 3.9** Resultados de esfuerzo por corte – Escenario 1

Fuente: Propia.

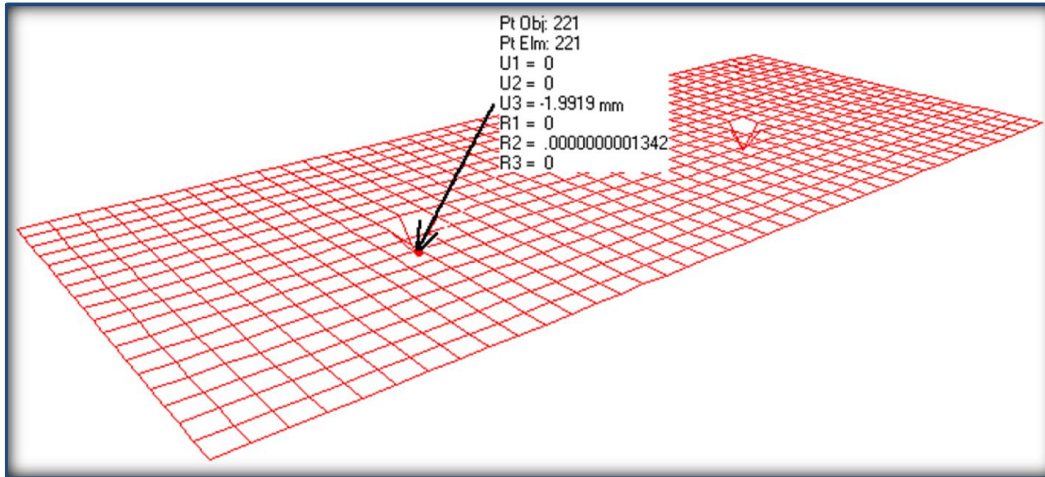
En la Figura 3.10 se observa el máximo esfuerzo por corte de  $0.926\text{ kN/m}^2$ , este resultado es mucho menor con respecto a la resistencia del geotextil.



**Figura 3.10** Máximo esfuerzo por corte – Escenario 1

Fuente: Propia.

En la simulación del escenario 1 se obtiene como resultado una deformación de 2 mm. (ver Figura 3.11).



**Figura 3.11** Deformación de geotextil – Escenario 1

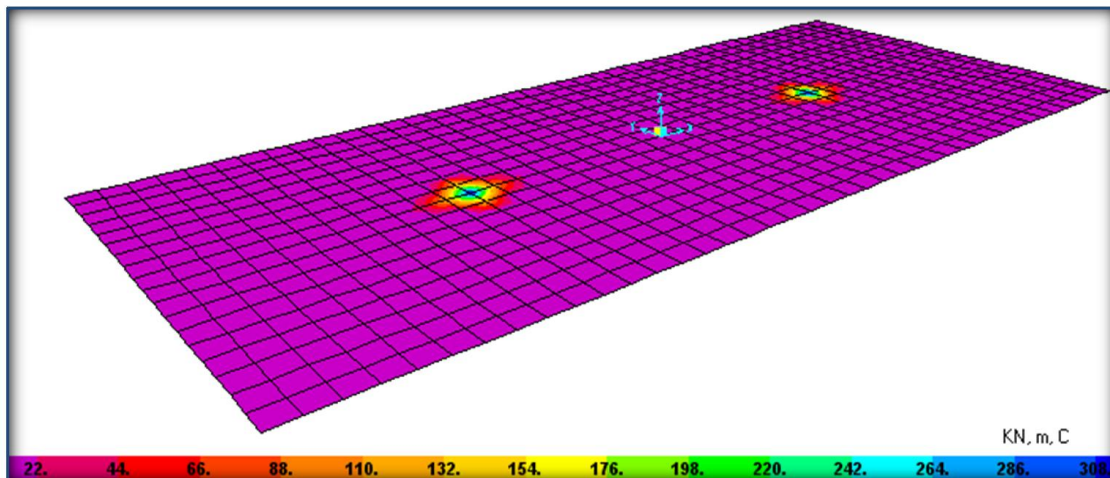
Fuente: Propia.

### 3.3.2 Escenario 2

Se multiplica la carga por un factor de 10 para llevar ver la falla del geotextil por punzonamiento.

El punzonamiento es sufrido por la carga ejercida en el geotextil teniendo como apoyo a la grava de 1".

Esfuerzos (Límite = 7000 KPa y 302 KPa) (Carga Viva factor de 10)



**Figura 3.12** Esfuerzo máximo por punzonamiento – Escenario 2

Fuente: Propia.

En el escenario 2 se obtiene como resultado una deformación de 20 mm (Ver Figura 3.13).

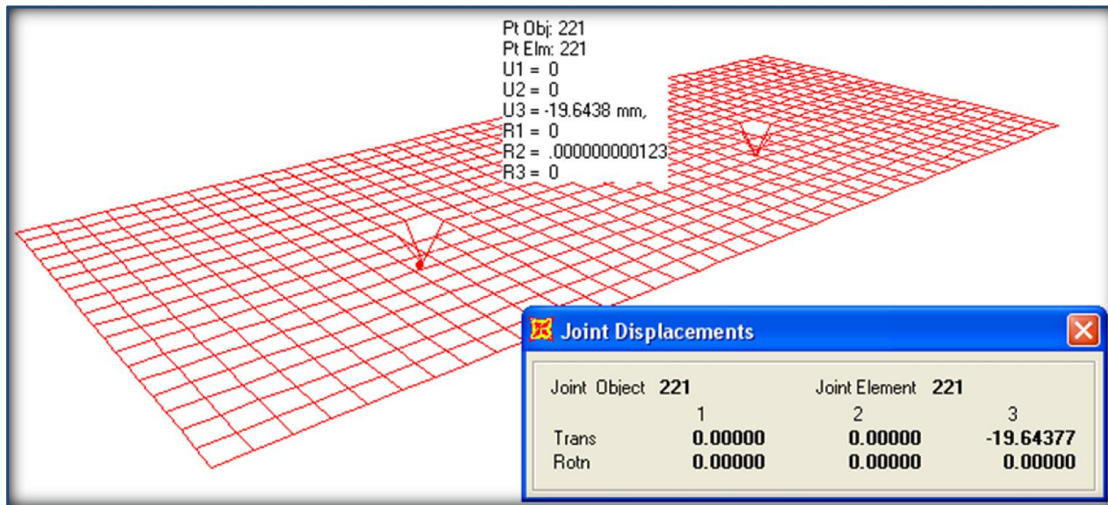
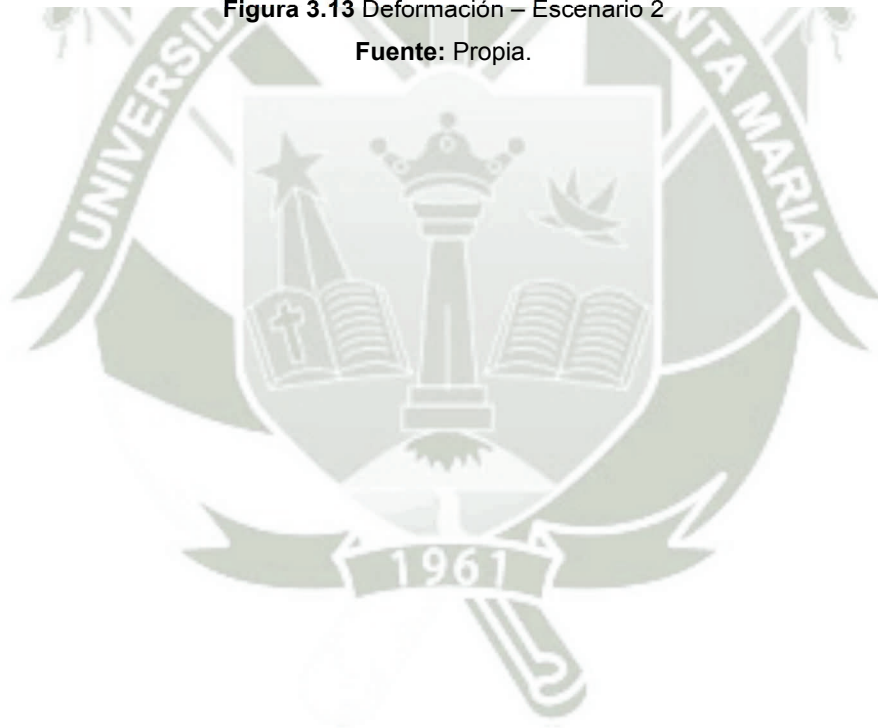


Figura 3.13 Deformación – Escenario 2

Fuente: Propia.



## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de la masa por unidad de superficie

En el Cuadro 4.1 se muestran las dimensiones de cada probeta ensayada, estas fueron determinadas con instrumentos de precisión.

**Cuadro N°4.1:** Dimensiones de las probetas para ensayo de Gramaje.

N° Probeta	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)
1	1.64	100	100
2	1.63	100	100
3	1.65	100	100
4	1.63	100	100
5	1.65	100	100
6	1.63	100	100
7	1.62	100	100
8	1.64	100	100
9	1.65	100	100
10	1.62	100	100
<b>Promedio</b>	<b>1.636</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fuente: Propia.

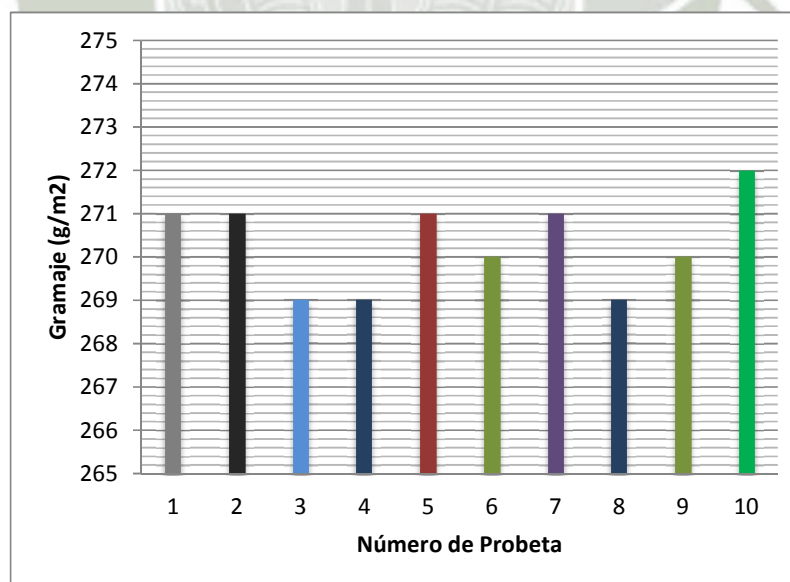
En el Cuadro 4.2 se muestran los resultados ensayados en la balanza electrónica, estos se trabajaron con una precisión de  $\pm 0.01g$ , también se muestran los resultados del cálculo de gramaje y densidad de las probetas.

**Cuadro N°4.2:** Resultados de ensayo de Gramaje.

N° Probeta	Masa (g)	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	GRAMAJE (g/m <sup>2</sup> )	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
1	2.71	1.64	100	100	271.00	0.1652439
2	2.71	1.63	100	100	271.00	0.16625767
3	2.69	1.65	100	100	269.00	0.1630303
4	2.69	1.63	100	100	269.00	0.16503067
5	2.71	1.65	100	100	271.00	0.16424242
6	2.70	1.63	100	100	270.00	0.16564417
7	2.71	1.62	100	100	271.00	0.16728395
8	2.69	1.64	100	100	269.00	0.16402439
9	2.70	1.65	100	100	270.00	0.16363636
10	2.72	1.62	100	100	272.00	0.16790123
<b>Promedio</b>	<b>2.70</b>	<b>1.636</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>270.30</b>	<b>0.16522951</b>

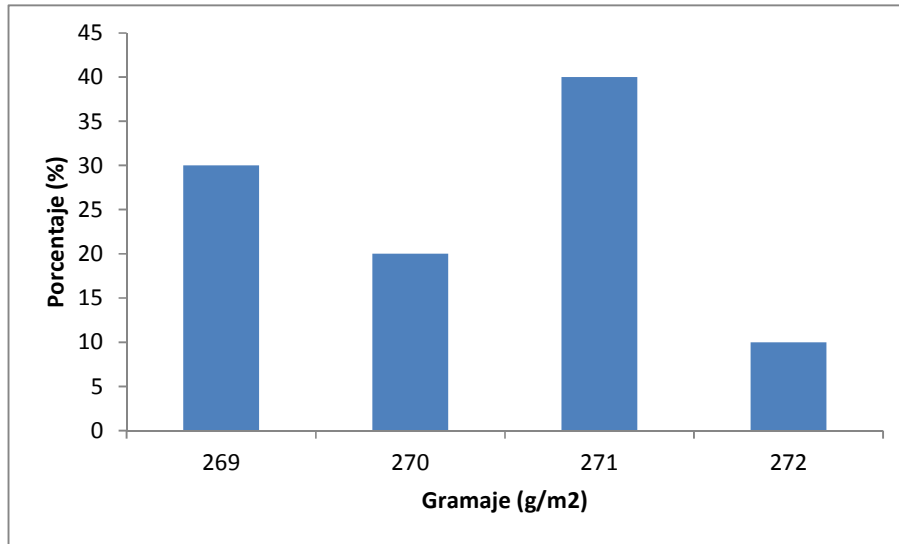
Fuente: Propia.

**Grafica N°4.1:** Resultados de ensayo de Gramaje.



Fuente: Propia.

**Grafica N°4.2:** Porcentaje de los Resultados de ensayo de Gramaje.

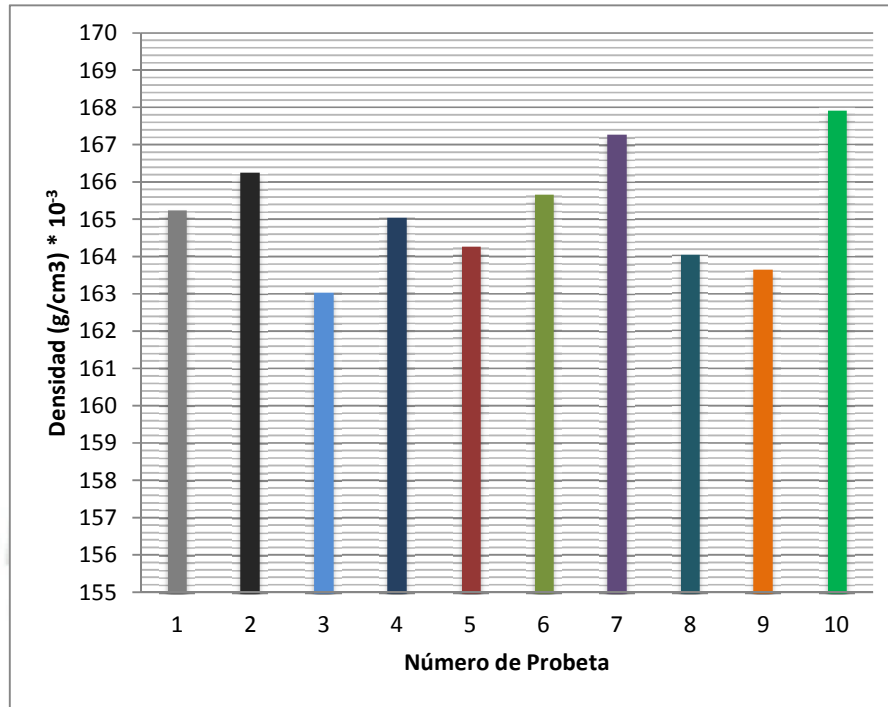


Fuente: Propia.

**Descripción:**

Como resultado del ensayo, el valor mínimo del gramaje obtenido es de 269 g/m<sup>2</sup> correspondiente al 30 % de los datos, el máximo es 272 g/m<sup>2</sup> que corresponde al 10 % de los datos y se obtuvo un gramaje promedio de 270g/m<sup>2</sup>, este resultado se encuentra a una unidad de diferencia del valor de 272 g/m<sup>2</sup> indicado por el proveedor de la empresa Geosistemas Pavco de Mexichem Ver Anexo 1; donde se menciona que los valores reportados son los mínimos en cualquier sentido (Longitudinal / Transversal ). La variación puede deberse a las condiciones del laboratorio humedad y temperatura de trabajo.

**Grafica N°4.3:** Resultados de ensayo de Densidad.



**Fuente:** Propia.

**Descripción:** El promedio registrado de la densidad del geotextil es de  $165\text{g/cm}^3$ , la variación observada de cada probeta analizada fue mínima como se observa en la Grafica N°3.2.



**Figura 4.1** Fotografía del geotextil a 200 aumentos.

**Fuente:** Propia

**Cuadro N° 4.3** Determinación aproximada del espesor de las fibras del geotextil.

N°	Espesor de fibras (mm)
1	0.023
2	0.021
3	0.024
4	0.025
5	0.021
6	0.022
7	0.020
8	0.020
9	0.019
10	0.021
11	0.022
<b>Promedio</b>	<b>0.022</b>

Fuente: Propia

Las figuras N° 4.1 muestran la microestructura de los fieltros de fibra de polipropileno. Las fibras poseen un diámetro aproximado de 22  $\mu\text{m}$  (ver cuadro 3.3).

En muchas de las intersecciones puede apreciarse la formación de un “cuello de unión”, con un ligero aplastamiento de las fibras como resultado de la unión térmica de las mismas. La fotografía de la Figura 3.1 fue tomada en por el lado de la cara del geotextil.

#### 4.2 Análisis Mecánico por el Ensayo de Tracción

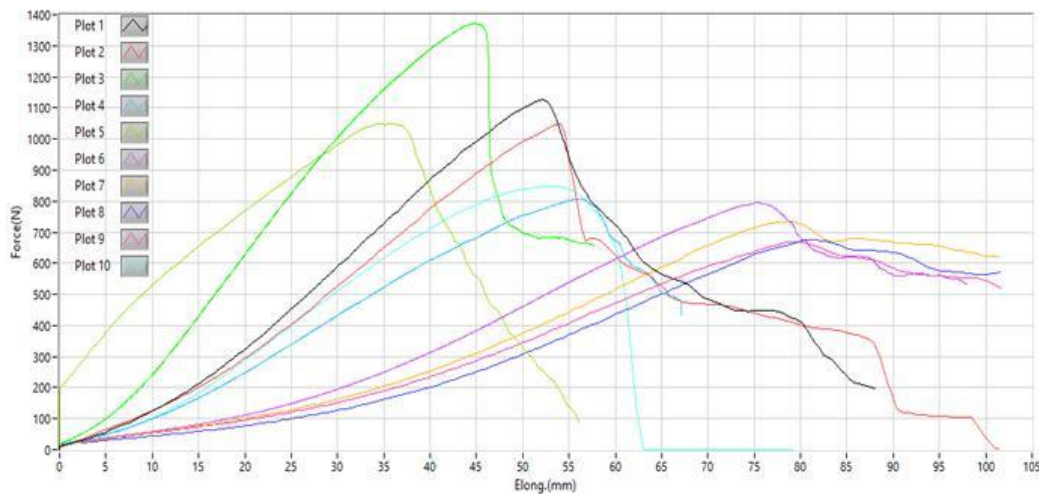
Previo al ensayo de tracción se muestra el Cuadro N°3.4 con las características físicas de las 10 probetas que se ensayaron.

**Cuadro N°4.4:** Dimensiones de las probetas de ensayo de Tracción.

N° Probeta	Espesor (mm)	Longitud inicial (mm)
1	1.61	85.00
2	1.60	85.00
3	1.62	85.00
4	1.61	85.00
5	1.61	85.00
6	1.62	85.00
7	1.62	85.00
8	1.62	85.00
9	1.61	85.00
10	1.61	85.00

La Grafica N°3.4 presenta las curvas obtenidas luego de haber realizado el ensayo de tracción, estas curvas están expresadas en Carga vs Elongación. Este ensayo mide la resistencia a la tracción simple de muestras de un ancho predeterminado.

**Grafica N°4.4:** Resultados de ensayo de Tracción.



Fuente: Propia.

En la gráfica N° 4.4 muestra las curvas Carga - Elongacion de los fieltros de fibras de polipropileno (geotextil). El comportamiento inicial es lineal, las curvas presentan su máximo de resistencia, para deformaciones del orden del 50% (45 mm) a más, momento a partir del cual muestran un decaimiento gradual.

Interpretando las curvas de acuerdo con la microestructura, el fieltro se va cargando elásticamente hasta que pierde la linealidad posiblemente por ciertos reajustes a pequeña escala. Posteriormente alcanza el máximo de carga, a partir de donde comienzan a ceder algunas de las uniones de las fibras y es entonces cuando se localiza la deformación en cierta sección de la probeta. En ese momento, dicha zona colapsa, con la consiguiente caída brusca de la carga; pero el material es capaz de reorganizarse sin perder completamente su capacidad portante gracias tanto a que las uniones ceden gradualmente como a la fricción entre fibras.

Para verificar la deformación de las fibras de las probetas, se mide el espesor de los hilos que componen el fieltro antes y después del ensayo, las mediciones

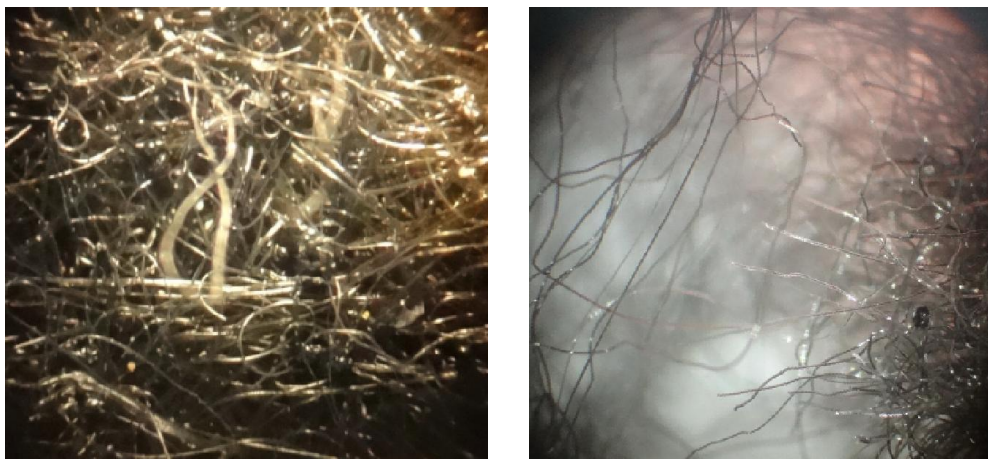
de las fibras después del ensayo de tracción se realizaron en la zona de ruptura. Los resultados se muestran en el cuadro 4.4.

Como se aprecia en los promedios del espesor de los hilos del cuadro 4.4 existe una disminución desde 0.022 mm para las fibras antes del ensayo a 0.018 mm para las fibras después del ensayo; lo que demuestra que los hilos sufren deformaciones antes de romperse la disminución corresponde al 18.18 %. La disminución del espesor de las fibras se puede apreciar también en la figura N° 4.3.

**Cuadro N°4.5:** Espesor de las fibras (mm) antes y después del ensayo probeta N° 3.

Espesor de fibras (mm)		
N°	Antes ensayo	Después ensayo
1	0.023	0.020
2	0.021	0.020
3	0.024	0.014
4	0.025	0.013
5	0.021	0.022
6	0.022	0.020
7	0.020	0.013
8	0.020	0.010
9	0.019	0.019
10	0.021	0.023
11	0.022	0.022
<b>Promedio</b>	<b>0.022</b>	<b>0.018</b>

Fuente: Propia.



**Figura N° 4.2** a) Fotografía de material no ensayado a 200 aumentos, b) Imagen de la zona de ruptura a 200 aumentos de la probeta de tracción.

Fuente: Propia.

Luego de haber realizado el ensayo de tracción a cada una de las probetas, presentamos el Cuadro N°4.4 con las características físicas finales y la resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

**Cuadro N°4.6:** Resultados de ensayo de Tracción.

N° de Probeta	Longitud inicial (mm)	Longitud Final (mm)	% Deformación	Resistencia a la Tracción (MPa)
1	85.00	126.50	48.82	6.06
2	85.00	124.00	45.88	5.63
3	85.00	118.00	38.82	7.38
4	85.00	123.00	44.71	4.34
5	85.00	124.50	46.47	5.65
6	85.00	119.40	40.47	4.27
7	85.00	121.30	42.71	3.95
8	85.00	125.30	47.41	3.63
9	85.00	123.70	45.53	3.60
10	85.00	121.90	43.41	4.29
<b>Promedio</b>	<b>85.00</b>	<b>122.76</b>	<b>44.42%</b>	<b>4.88</b>

**Descripción:** Se puede observar que la resistencia a la tracción del geotextil representa una gran dispersión teniendo un valor mínimo de 3.6 Mpa y un valor máximo de 7.38 Mpa. La resistencia promedio de las probetas de los geotextiles fue de 4.88 Mpa, este dato se encuentra por debajo de la resistencia de los polímeros termoplásticos, cuya resistencia bordea entre los 20 y 50 Mpa. El porcentaje de deformación no presento mucha variación, pero si presento un valor promedio de 44.42% lo que indica que el material ensayado tiene muy buenas propiedades de elongación.

Es relevante destacar la significación práctica de la elongación a la rotura. Una alta elongación a la rotura será un efecto deseable en tanto el geotextil no opere a niveles de deformación cercanos a aquella. Si en la aplicación se logra esto último, el geotextil podrá absorber energía adicional ante cargas dinámicas. Esto es, como se ha dicho, lo que habitualmente se llama tenacidad residual a la rotura. El área integrada bajo la curva tensión-deformación ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) entre la elongación de servicio y la de rotura, representa la cantidad remanente de energía que el geotextil podrá absorber ante una carga dinámica. Este tipo de cargas suele ser mucho más crítica durante la etapa de construcción, en que el agregado dispuesto sobre el Geotextil no ha alcanzado su mayor valor soporte o capacidad para disipar tensiones y por ello ésta no podrá atenuarse lo suficiente antes de ser absorbida por el geotextil.

#### **4.3 Análisis Mecánico por el Ensayo de Punzonamiento**

En ensayo de punzonamiento es una prueba realizada para determinar la resistencia a la perforación de los Geotextiles, Este ensayo cuantifica la dificultad con que un Geotextil podría ser perforado por un elemento punzante que, soportado estáticamente sobre la tela, es presionado enérgicamente sobre la misma.

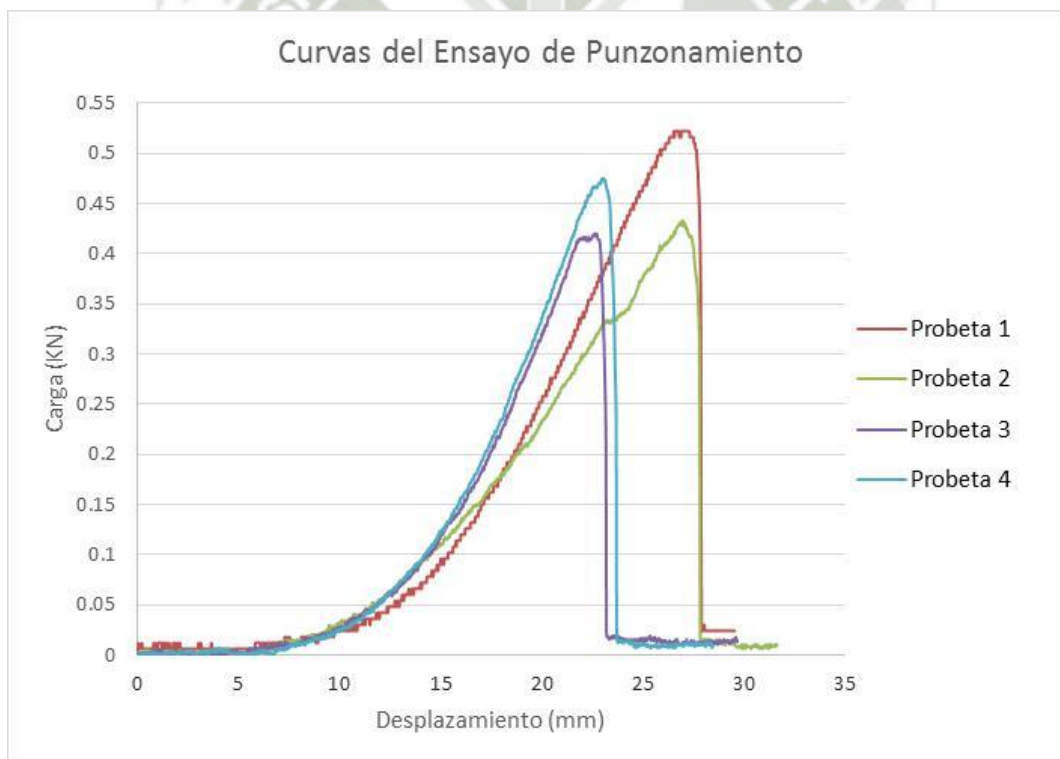
En el Cuadro N°4.7 se presentan los datos físicos de las probetas para el ensayo de resistencia al punzonamiento.

**Cuadro N°4.7:** Dimensiones iniciales de las probetas para el ensayo de punzonamiento.

Probeta	Espesor (mm)	Ancho(mm)	Largo(mm)
1	1.70	76.20	101.60
2	1.65	76.20	101.60
3	1.62	76.20	101.60
4	1.67	76.20	101.60

**Fuente:** Propia.

Luego del ensayo realizado se obtuvieron las curvas con el software del equipo universal de ensayos. En la Grafica N°4.5 se presentan las curvas que representan a las probetas ensayadas.



**Grafica N°4.5:** Resultados: Curva de ensayo de punzonamiento.

**Fuente:** Propia.

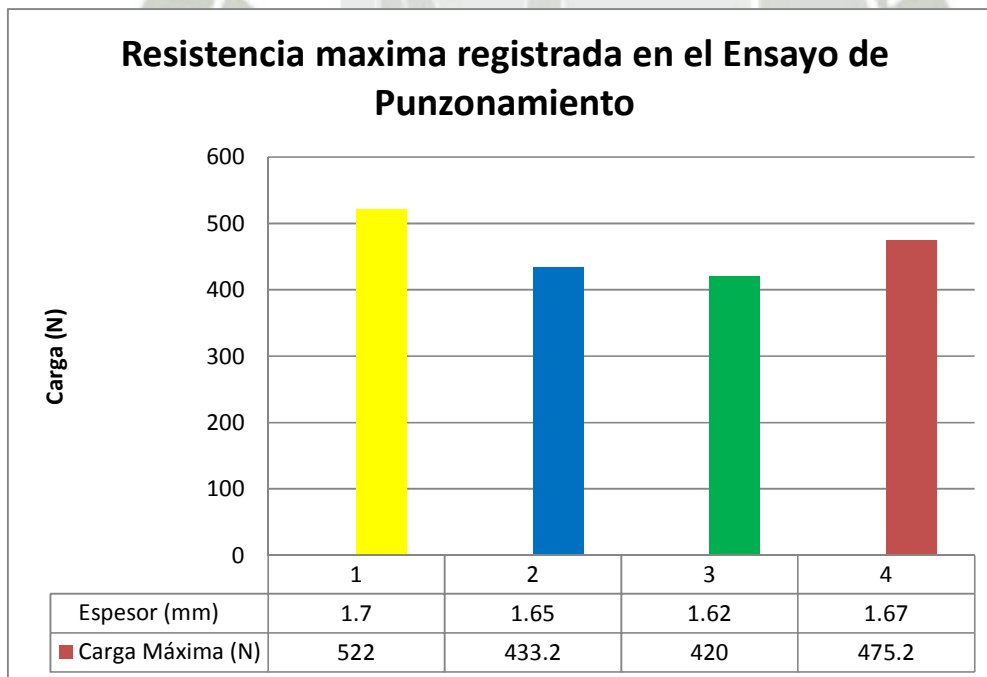
En el Cuadro N°3.8 se pueden observar las cargas máximas obtenidas en el ensayo de punzonamiento.

**Cuadro N°4.8:** Resultados de ensayo de punzonamiento.

Probeta	Espesor (mm)	Carga Máxima (N)
1	1.70	522.00
2	1.65	433.20
3	1.62	420.00
4	1.67	475.20
<b>Promedio</b>	<b>1.66</b>	<b>462.60</b>

Fuente: Propia.

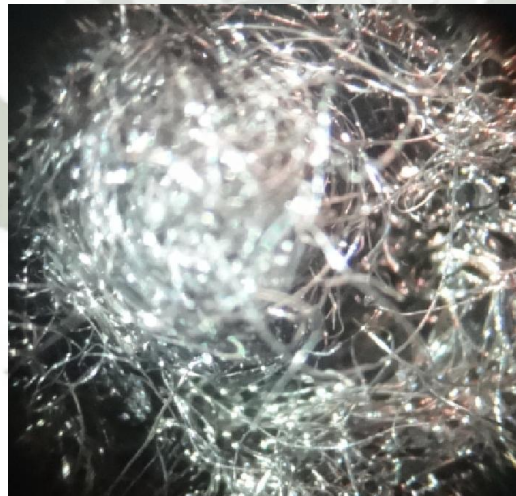
**Grafica N°4.6:** Resistencia máxima registrada en ensayo de punzonamiento



Fuente: Propia.

**Descripción:** El promedio de resultados de los 4 ensayos de tracción es de 462.60 N, este resultado se encuentra 25.27% por debajo del valor indicado por el proveedor de la empresa Geosistemas Pavco de Mexichem, cuyo dato es de 619 N. Ver Anexo 1, el geosintético es evaluado por este método porque está sometido a cargas que generan un punzonamiento a la superficie del mismo, es por esto que se mide la resistencia que presenta la superficie cuando se encuentra bien estirado. Una baja resistencia nos indica que el material puede colapsar y una alta resistencia es lo apropiado.

Al relacionar el espesor con el valor de la carga nos da manifiesto el importante efecto ejercido por el espesor de la probeta sobre los valores de carga obtenido, es así, que se obtiene 522N para espesor 1.70mm siendo este el mayor a comparación del 420N con un espesor de 1.62mm. Por tanto existe una relación proporcional entre el espesor y carga máxima que soporta el geotextil.



**Figura 4.3** Vista del orificio generado por el punzón.

**Fuente:** Propia.

#### 4.4 Análisis Mecánico por el Ensayo de Agarre

Este ensayo también llamado de resistencia a la tracción en carga concentrada o ensayo de agarre, se diferencia del ensayo de tracción en tiras o del realizado con probetas con bordes cercanos, en cual el ancho de las probetas es mayor que la impronta de las mordazas de la máquina que realiza tracción en la muestra. Mediante este artificio, una parte del espécimen provee anclaje a los filamentos sin ser específicamente sometida a esfuerzo. Este ensayo es el mas cercano a las condiciones reales cuando sobre un Geotextil se presiona un elemento punzante (piedra) en forma descendente, o se ejerce un esfuerzo lateral sobre el elemento (aun presionado).

Previo al ensayo de Agarre se muestra el Cuadro N°4.9 con las características físicas de las 4 probetas que se ensayaron.

**Cuadro N°4.9:** Dimensiones iniciales de probetas para ensayo de Agarre.

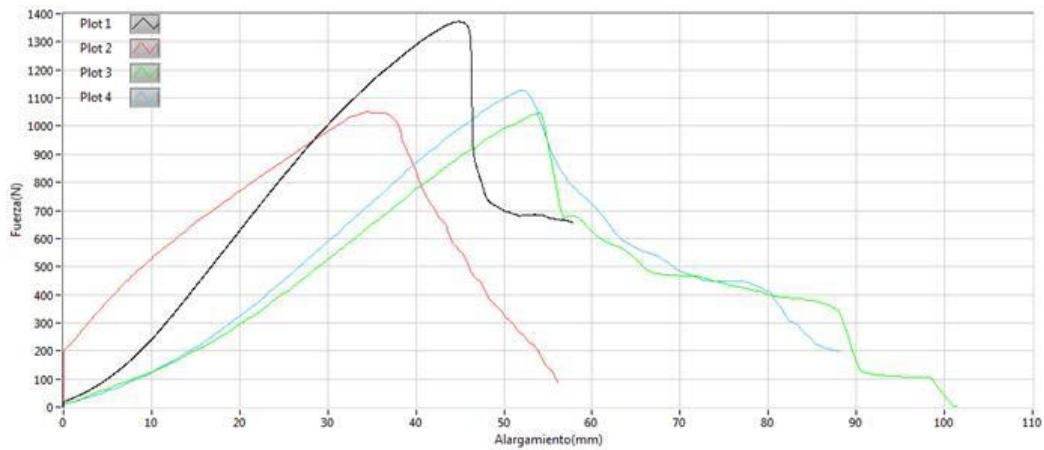
N° Probeta	Espesor (mm)	Longitud inicial (mm)
1	1.61	101.6
2	1.60	101.6
3	1.62	101.6
4*	1.61	101.6

\* Probetas cortadas longitudinalmente

Fuente: Propia.

Luego del ensayo realizado se obtuvieron las curvas con el software TMZ 2101 de la máquina de tracción de plásticos. En la Grafica N°4.7 se presentan las curvas que representan a las probetas ensayadas.

**Grafica N°4.7:** Curvas de ensayo de Agarre



**Fuente:** Propia.

En el cuadro N°4.10 se muestran la carga máxima obtenida por probeta así como también el porcentaje de deformación.

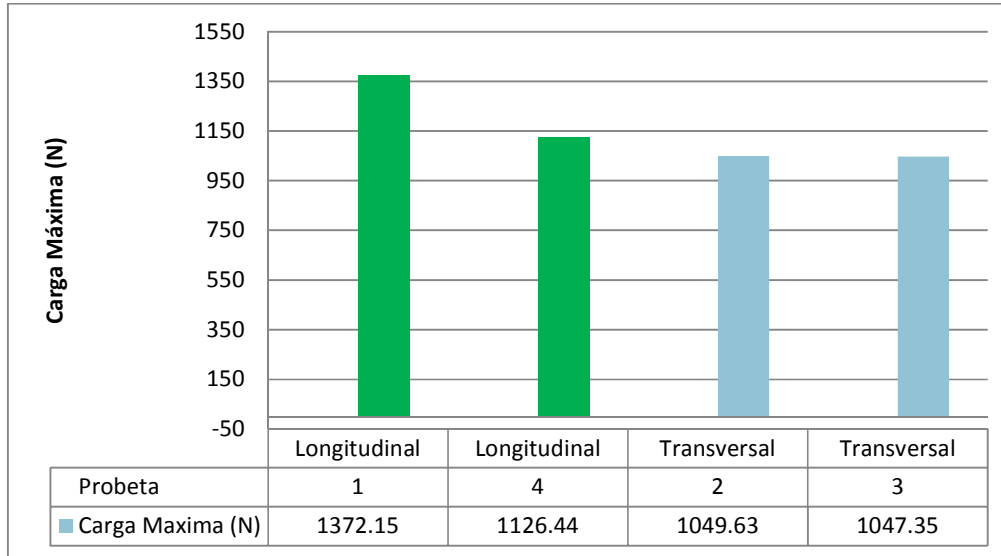
Durante el proceso de deformación nos encontramos ante la presencia de dos micromecanismos de daño que compiten entre sí. Por un lado, la rotura de las propias fibras. Por otro lado, la rotura de los anclajes entre ellas. Cuando predomina la rotura de uniones, la carga se va transfiriendo a lo largo de cada fibra, ocasionando la rotura de las siguientes uniones y el deslizamiento viscoso de las fibras, lo que incrementa drásticamente la absorción de energía por parte del fieltro.

**Cuadro N°4.10:** Resultados de ensayo de Agarre.

N° Probeta	Longitud Final (mm)	Carga Máxima (N)	% Deformación
1*	139.00	1372.15	36.81
2	140.00	1049.63	37.80
3	145.00	1047.35	42.72
4*	142.00	1126.44	39.76
<b>Promedio</b>	<b>141.50</b>	<b>1148.89</b>	<b>39.27%</b>

\* Probetas cortadas longitudinalmente. **Fuente:** Propia.

**Grafica N°4.8:** Comparación de los resultados de carga máxima en la dirección longitudinal y transversal.

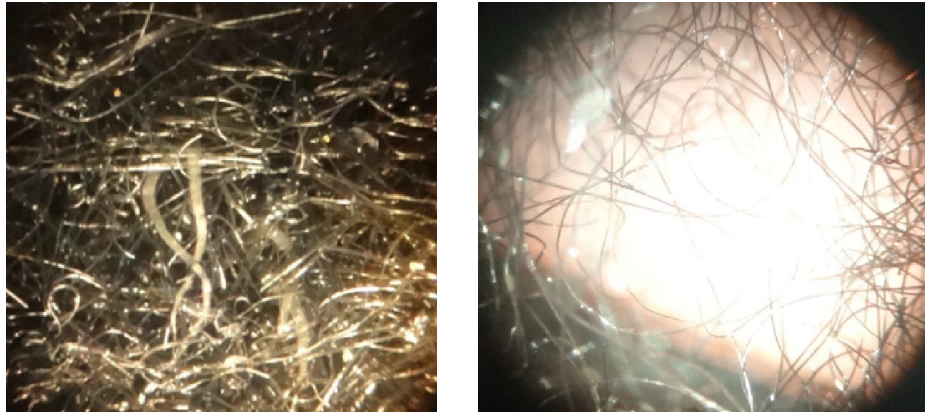


**Fuente:** Propia.

**Descripción:**

Se puede observar que la carga de rotura promedio es de 1148.89N este valor es comparable con la ficha técnica proporcionada por la empresa Geosistemas Pavco de Mexichem cuyo es de 1085 N, ver anexo 1. El porcentaje de deformación se encuentra en el rango de 39.27 % este valor promedio es valor fue menor con respecto al valor promedio obtenido en el ensayo de tracción.

Se puede observar también en los resultados obtenidos, que las telas geotextiles ensayadas poseen mayor resistencia en la dirección longitudinal (valor promedio de 1249.30N), que en la dirección transversal a ésta (valor promedio de 1048.49N) Ver cuadro N° 4.10.



**Figura 4.4** a) Fotografía de material no ensayado a 200 aumentos, b) Imagen de la zona de ruptura a 200 aumentos.

Fuente: Propia.

En la figura 4.4 a) se puede observar la fotografía de una probeta no ensayada a 200 aumentos y en b) la imagen de la zona de ruptura; por comparación de las imágenes se puede observar que existe una disminución del espesor de las fibras lo que se corrobora con los espesores medidos antes y después del ensayo, donde se aprecia una disminución del espesor del geotextil desde 1.25 % hasta 27.33 %.

**Cuadro N°4.11:** Resultados de espesores del ensayo en el geotextil.

Probeta	Espesor de geotextil (mm)	
	Antes del ensayo	Después del ensayo *
1	1.61	1.43
2	1.6	1.58
3	1.62	1.45
4	1.61	1.17

\* promedio de 21 datos cercanos a la zona de ruptura

Fuente: Propia.

## 4.5 Simulación de geotextil no tejido

### 4.5.1 Escenario 1

En la simulación se visualiza que en la figura N° 3.10 el máximo esfuerzo es de 0.926KN/m<sup>2</sup> con una deformación de 2 mm. El geotextil se comporta de la mejor manera con la carga sobrepuesta en el acceso.

### 4.5.2 Escenario 2

En este escenario llevamos al límite el geotextil para verificar su máxima deformación al momento de la falla por punzonamiento.

El esfuerzo máximo obtenido en la simulación es de 308 kN/m<sup>2</sup>.

La deformación de la simulación es mayor con respecto a la deformación promedio obtenida en los ensayos de punzonamiento realizados en el laboratorio, por lo tanto se concluye que al pasar un vehículo pesado (mayor igual a 20 Tn) por el acceso este provocaría una ruptura por punzonamiento y el relleno estructural con la grava se mezclarían por el contacto con el agua del drenaje formando grietas y deformaciones en el acceso. El software SAP 2000 emite un informe de la simulación (Ver Anexo 05)

## CONCLUSIONES

1. El resultado obtenido en el ensayo de gramaje es  $270.30 \text{ g/m}^2$  valor comparable respecto al valor indicado en la ficha técnica del geotextil no tejido suministrado por Geosistemas Pavco de Mexichem cuyo valor es  $272 \text{ g/m}^2$
2. La resistencia a la tracción obtenida fue de  $4.88 \text{ MPa}$ , este valor fue muy bajo con respecto al polipropileno compacto, según la fuente de la compañía GEHR plastic, el valor de resistencia a la tracción de los es  $33 \text{ MPa}$ , esto es debido a que las fibras del material poseen direcciones aleatorias y no es un material compacto.
3. Al realizar el ensayo del punzonamiento según la norma ASTM D 4833-00 se obtuvo un valor promedio de  $462.60 \text{ N}$  este valor está  $25.27\%$  debajo del valor según los proveedores de las diferentes empresas nacionales e internacionales, a mayor espesor será mayor el valor de la carga obtenida en el geotextil.
4. La resistencia en el ensayo de desgarre de las probetas cortadas en dirección longitudinal al rollo es mayor en  $19.15\%$  que en la dirección transversal del rollo del geotextil.
5. Las distintas variables que presenta el software asociado a la maquina universal, nos permite realizar distintos tipos de ensayos, variando los parámetros indicados en las normas ASTM.
6. El máximo valor de esfuerzo obtenido es  $308 \text{ KN/m}^2$  nos da una carga de  $471.34 \text{ N}$  por encima del valor promedio de carga del Cuadro N°4.8 de punzonamiento, dando a conocer sus límites de carga en el material por uso de la simulación.
7. De la simulación se concluye que el geotextil nos proporciona una buena compactación y evita la mezcla de distintos tipos de materiales de relleno, esto nos sirve para evitar agrietamientos y hundimientos en los accesos.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ensayar probetas unidas para simular el empalme de situaciones similares en obra según recomendaciones indicadas por el proveedor del geotextil.
2. Se sugiere realizar ensayos de resistencia al desgarro con telas no tejidas cortadas en su sección diagonal para comparar comportamientos y diferencias con las secciones longitudinal y transversal
3. Se recomienda realizar ensayos de roce estático/dinámico para conocer la relación que pudiera existir entre el porcentaje de las fibras que componen un no tejido y estas propiedades. Además de considerar la estructura y el tipo de acabado que se hayan empleado en su fabricación.
4. Se sugiere realizar los ensayos de tracción, agarre y punzonado; con las probetas húmedas para verificar su cumplimiento con las especificaciones del proveedor. Esto se realiza ya que estos geotextiles siempre están afectos a diversas condiciones ambientales.
5. Se recomienda realizar ensayos de tracción, agarre y punzonado con las probetas a diferentes ambientes ácidos ya que esto puede variar los resultados de los ensayos.
6. Para obtener los resultados reales de tracción, desgarre y elongación; y poder compararlos con los datos técnicos del proveedor, es necesario desarrollar los ensayos en base a las distintas normas ASTM.
7. Luego de simular ambos escenarios con cargas distintas se recomienda señalar los accesos con cargas máximas de vehículos para evitar la falla por punzonamiento en el geotextil, de lo contrario utilizar un geotextil con mayor gramaje para evitar las fallas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Díaz J., Escobar O., Olivo E. “Aplicación de los Geosintéticos en la Estructura de los Pavimentos y en Obras de Drenaje para carreteras”. Universidad de El Salvador. Facultad de ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Civil. San Salvador. 2009
- [2] Geosistemas PAVCO de Mexichem. “Manual de Diseño con Geosintéticos”. Departamento de Ingeniería. Bogotá D.C. – Colombia Octava Edición, junio de 2009.
- [3] ASTM D - 4439-97:
- [4] Campaña J., Mata W., Mendoza X. “Los Geosintéticos Aplicados a Obras de Pavimento Flexible”. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Ingeniería Civil. Guayaquil. Ecuador. 2011
- [5] FAO. (2001). The Potential Market for Sisal and Henequen Geotextiles. Washington, USA
- [6] Raimond B. Seymour & Charles E. Carreher. “Introducción a la Química de los Polímeros”, Editorial Reverte. SA Barcelona. 1995.
- [7] Doctorovich F., Aldabe S., Kornblihtt A. “Plásticos y fibras”. Ministerio de Educación. Ciencia y Tecnología. Conicet. Argentina.( [www.me.gov.ar](http://www.me.gov.ar))
- [8] Richard J. Bathurst. Funciones de los Geosintéticos. International Geosynthetics Society – IGS ([www.geosynthetics-international.com](http://www.geosynthetics-international.com))
- [9] UNE 40523 Textiles. Vocabulario de los geotextiles.
- [10] USO DE GEOMALLAS EN CAMINOS MINEROS. Tello D. TDM Perú Congreso MinerNorte. ([http://www.ciptrujillo.org/multimedia/congreso\\_minernorte/EXPO\\_GEOMALLA\\_MINERNORTE.pdf](http://www.ciptrujillo.org/multimedia/congreso_minernorte/EXPO_GEOMALLA_MINERNORTE.pdf))
- [11] Ingeniería y geosintéticos (<http://www.iyg.com.ec/IYG/georedes.swf>)

[12] Geocompuestos GEOTEXAN.

[http://www.geotexan.com/geocompuestos\\_geotesan\\_geobent.php](http://www.geotexan.com/geocompuestos_geotesan_geobent.php)

[13] GEO-PRODUCTORES MEXICANOS.

<http://www.geoproductos.com.mx/geoweb/definiciones.html>

[14] Pliego de Prescripciones Tecnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. ORDEN FOM/1382/2002. BOE núm. 139.2002.

[15] Robert M. Koerner. "Designing With Geosynthetics". Quinta Edición.U.S.A. 2005





## CERTIFICADO DE CALIDAD

PRODUCTO : GEOTEXTIL NO TEJIDO TDM GT 270P

LOTE : 0713B1735-1818, B1838-1875, B2066-2072, 2013  
B2087-2158, B2176-2300, B2315-2436, B2464-2473,  
B2658-2698

TIPO DE MUESTREO : ASTM D - 4354

CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura 22° C - Humedad Relativa 65%

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	VALOR
Método Grab			
Resistencia a la Tensión	ASTM D - 4632	N	1085
Elongación a la Rotura		%	87
Resistencia Punzonamiento	ASTM D - 4833	N	619
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D - 4533	N	375
Método Mullen Burst			
Resistencia al Estallido	ASTM D - 3786	kPa	2973
Resistencia al Deterioro de Geotextiles a la Exposición de Luz U.V. y Agua	ASTM D -4355 500 Horas	%	> 70
Tamaño Abertura Aparente	ASTM D - 4751	mm	0.125
Permeabilidad	ASTM D - 4491	cm/s	0.55
Permitividad	ASTM D - 4491	S <sup>-1</sup>	1.69
Tasa de Flujo	ASTM D - 4491	l/min/m <sup>2</sup>	4600
Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D - 6241	KN	3.0
Masa por Unidad de Area	ASTM D - 5261	g / m <sup>2</sup>	272

OBSERVACIONES: Los valores reportados son los mínimos en cualquier sentido ( Longitudinal / Transversal )  
Especificación Vigente : Diciembre 2008

Fecha Emisión : 31 de julio de 2013

TUBERIAS Y GEOSISTEMAS DEL PERU S.A.  
Av Separadora Industrial 2557, Ate  
Lima - Perú  
Teléfonos: 51 1 627 6038 / 51 1 6276039  
R.U.C. 20517932346  
E-mail: geosperu@mexichem.com



## Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 5261; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This test method can be used as an index to the determination of mass per unit area of all geotextiles.

1.2 The values stated in SI units or other units shall be regarded separately as standard. The values stated in parentheses are provided for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- D 123 Terminology Relating to Textiles
- D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing
- D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing
- D 4439 Terminology for Geotextiles

#### 2.2 ISO/DIS Document:

- 9864-1990 Mass per Unit Area of Geotextiles<sup>2</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n*— air maintained at a relative humidity of  $65 \pm 5\%$  and temperature of  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $70 \pm 4^\circ\text{F}$ ).

3.1.2 *geosynthetic, n*—a planar product manufactured from polymeric material used with soil, rock, earth, or other geotechnical-engineering-related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.3 *geotextile, n*—any permeable textile used with foundation, soil, rock, earth, or any other geotechnical-engineering-related material as an integral part of a man-made project, structure, or system.

3.1.4 *Discussion*—Current textile manufacturing techniques produce: nonwoven fabrics, knitted (non-tabular) fabrics, and woven fabrics.

3.2 For definitions of other textile terms used in this test method, refer to Terminology D 123.

3.3 For definitions of other terms relating to geotextiles used in this test method, refer to Terminology D 4439.

### 4. Summary of Test Method

4.1 The mass per unit area of a geotextile is determined by weighing test specimens of known dimensions, cut from various locations over the full width of the laboratory sample. The calculated values are then averaged to obtain the mean mass per unit area of the laboratory sample.

### 5. Significance and Use

5.1 This test method is used to determine if the geotextile material meets specifications for mass per unit area. This test method can be used for quality control to determine specimen conformance. This measurement allows for a simple control of the delivered material by a comparison of the mass per unit area of the delivered material and the specified mass per unit area.

5.2 The procedure in this test method may be used for acceptance testing of commercial shipments, but caution is advised since information about between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests in accordance with 5.2.1 are advisable.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using the procedures in this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the manufacturer should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimen should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using the appropriate student's *t*-test and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the manufacturer must agree to interpret future test results in light of the known bias.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved June 15, 1992. Published August 1992.

<sup>2</sup> Available from ISO Case Postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.

## 6. Apparatus

6.1 *Balance*, calibrated, capable of weighing to 5000 g, with an accuracy of 0.01 g.

## 7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—Divide the test specimens into lots, and for the lot to be tested, take the lot sample in accordance with Practice D 4354.

7.2 *Laboratory Sample*—Consider the units in the lot sample as the units in the laboratory sample. For the laboratory sample, take a full width swatch of sufficient length along the salvage so that the requirements of 7.3 can be met.

7.2.1 The laboratory sample should be free from imperfections or other areas not representative of the material sampled.

7.3 The number of test specimens shall be a minimum of five, cut such that they are representative of the entire roll width and with a combined total minimum area of 100 000 mm<sup>2</sup> (155 in.<sup>2</sup>). Each test specimen shall be equal in area (not less than 10 000 mm<sup>2</sup> (15.5 in.<sup>2</sup>), as described in ISO/DIS 9864-1990). Cut each test specimen with an accuracy of ±0.5 % of its area.

NOTE 1—For test specimens prepared in the field, larger than minimum-sized test specimens will be required to stay within the cutting accuracy (0.5 %). Field experience has shown that a test specimen with an area not less than 90 000 mm<sup>2</sup> (139.5 in.<sup>2</sup>) will be necessary to achieve the required accuracy.

7.3.1 Cut the test specimens at least one tenth the width of the geotextile from any selvage, unless otherwise specified.

7.3.2 If the structure of the geotextile is such that the specified test specimen size is not representative of the laboratory sample, a larger size shall be agreed upon between the purchaser and the supplier.

## 8. Conditioning

8.1 Bring the test specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles. Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the test specimen in successive weighings, made at intervals of not less than 2 h, does not exceed ±0.1 % of the mass of the test specimen. In general practice, the industry approaches equilibrium from the “as-received” side.

NOTE 2—It is recognized that in practice geotextile materials frequently are not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a procedure cannot be accepted in cases of dispute,

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for testing for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may exhibit slow moisture equilibration rates from the “as-received” wet side. When this is known, a preconditioning cycle, in accordance with Practice D 1776, may be agreed upon between the contractual parties.

## 9. Procedure

9.1 Test the conditioned test specimens in the standard atmosphere for testing geotextiles.

9.2 Weigh each of the conditioned specimens separately on a calibrated balance to the nearest 0.01 g.

## 10. Calculation

10.1 Calculate the mass per unit area of each of the specimens as follows:

$$m = M_s \times 1\,000\,000/A \quad (1)$$

where:

$m$  = mass per unit area rounded to the nearest 0.1 g/m<sup>2</sup>,

$M_s$  = mass of the specimen, g, and

$A$  = area of the specimen, mm<sup>2</sup>.

10.2 Repeat this procedure for each test specimen.

10.3 Calculate the average and standard deviation of the mass per unit area results for the test specimens.

## 11. Report

11.1 Report the following information on mass per unit area of geotextiles:

11.1.1 Type of geotextile tested, sampling method used, the test specimen size, shape, and the number of test specimens tested,

11.1.2 The average mass per unit area and standard deviation to three significant figures, and

11.1.3 A statement of any departures from the suggested testing procedures so that the results can be evaluated and used.

## 12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—The precision of this test method is being established.

12.2 *Bias*—This test method has no bias because the value of mass per unit area can only be defined in terms of a test method.

## 13. Keywords

13.1 geotextile; mass per unit area; weight

## Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method can be used for testing materials of any thickness up to 14 mm [0.55 in.]. However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm [0.04 in.] in thickness, Test Methods D 882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm [0.55 in.] must be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

NOTE 1—This test method and ISO 527-1 are technically equivalent.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D 229 and Test Method D 651.

NOTE 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus  $>20$ -GPa [ $>3.0 \times 10^6$ -psi] fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D 3039/D 3039M.

1.4 Test data obtained by this test method are relevant and appropriate for use in engineering design.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in brackets are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- D 229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation
- D 412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D 651 Test Method for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials
- D 882 Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting
- D 883 Terminology Relating to Plastics
- D 1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials
- D 3039/D 3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials
- D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

#### 2.2 ISO Standard:<sup>3</sup>

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved December 1, 2003. Published January 2004. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2002 as D 638 - 02a.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D 883 and Annex A2.

### 4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development. For many materials, there may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.2 Tensile properties may vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.2.1 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, the greatest care must be exercised to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care must be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.3 Tensile properties may provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

NOTE 5—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term “elastic modulus” in its quoted, generally accepted definition to describe the “stiffness” or “rigidity” of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

4.4 *Poisson’s Ratio*—When uniaxial tensile force is applied to a solid, the solid stretches in the direction of the applied force (axially), but it also contracts in both dimensions lateral to the applied force. If the solid is homogeneous and isotropic,

and the material remains elastic under the action of the applied force, the lateral strain bears a constant relationship to the axial strain. This constant, called Poisson’s ratio, is defined as the negative ratio of the transverse (negative) to axial strain under uniaxial stress.

4.4.1 Poisson’s ratio is used for the design of structures in which all dimensional changes resulting from the application of force need to be taken into account and in the application of the generalized theory of elasticity to structural analysis.

NOTE 6—The accuracy of the determination of Poisson’s ratio is usually limited by the accuracy of the transverse strain measurements because the percentage errors in these measurements are usually greater than in the axial strain measurements. Since a ratio rather than an absolute quantity is measured, it is only necessary to know accurately the relative value of the calibration factors of the extensometers. Also, in general, the value of the applied loads need not be known accurately.

### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used extreme care should be taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm [0.09 in.] apart and about 1.6 mm [0.06 in.] deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. The serrations should be kept clean and sharp. Breaking in the grips may occur at times, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used; other techniques must be used in these cases. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin

pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic, or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

**5.1.4 Drive Mechanism**—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member, with this velocity to be regulated as specified in Section 8.

**5.1.5 Load Indicator**—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free of inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of  $\pm 1\%$  of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

**NOTE 7**—Experience has shown that many testing machines now in use are incapable of maintaining accuracy for as long as the periods between inspection recommended in Practices E 4. Hence, it is recommended that each machine be studied individually and verified as often as may be found necessary. It frequently will be necessary to perform this function daily.

**5.1.6** The fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total elastic longitudinal strain of the system constituted by these parts does not exceed 1 % of the total longitudinal strain between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the rated capacity of the machine.

**5.1.7 Crosshead Extension Indicator**—A suitable extension indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips, that is, crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing and shall indicate the crosshead movement with an accuracy of  $\pm 10\%$  of the indicated value.

**5.2 Extension Indicator (extensometer)**—A suitable instrument shall be used for determining the distance between two designated points within the gage length of the test specimen as the specimen is stretched. For referee purposes, the extensometer must be set at the full gage length of the specimen, as shown in Fig. 1. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance, or any change in it, as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia at the specified speed of testing. Extensometers shall be classified and their calibration periodically verified in accordance with Practice E 83.

**5.2.1 Modulus-of-Elasticity Measurements**—For modulus-of-elasticity measurements, an extensometer with a maximum strain error of 0.0002 mm/mm [in./in.] that automatically and continuously records shall be used. An extensometer classified by Practice E 83 as fulfilling the requirements of a B-2

classification within the range of use for modulus measurements meets this requirement.

**5.2.2 Low-Extension Measurements**—For elongation-at-yield and low-extension measurements (nominally 20 % or less), the same above extensometer, attenuated to 20 % extension, may be used. In any case, the extensometer system must meet at least Class C (Practice E 83) requirements, which include a fixed strain error of 0.001 strain or  $\pm 1.0\%$  of the indicated strain, whichever is greater.

**5.2.3 High-Extension Measurements**—For making measurements at elongations greater than 20 %, measuring techniques with error no greater than  $\pm 10\%$  of the measured value are acceptable.

**5.2.4 Poisson's Ratio**—Bi-axial extensometer or axial and transverse extensometers capable of recording axial strain and transverse strain simultaneously. The extensometers shall be capable of measuring the change in strains with an accuracy of 1 % of the relevant value or better.

**NOTE 8**—Strain gages can be used as an alternative method to measure axial and transverse strain; however, proper techniques for mounting strain gages are crucial to obtaining accurate data. Consult strain gage suppliers for instruction and training in these special techniques.

**5.3 Micrometers**—Apparatus for measuring the width and thickness of the test specimen shall comply with the requirements of Test Method D 5947.

## 6. Test Specimens

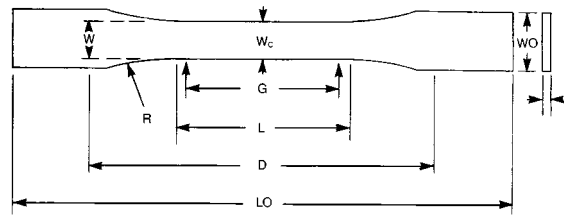
### 6.1 Sheet, Plate, and Molded Plastics:

**6.1.1 Rigid and Semirigid Plastics**—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type I specimen is the preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 7 mm [0.28 in.] or less is available. The Type II specimen may be used when a material does not break in the narrow section with the preferred Type I specimen. The Type V specimen shall be used where only limited material having a thickness of 4 mm [0.16 in.] or less is available for evaluation, or where a large number of specimens are to be exposed in a limited space (thermal and environmental stability tests, etc.). The Type IV specimen should be used when direct comparisons are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and semirigid). The Type III specimen must be used for all materials with a thickness of greater than 7 mm [0.28 in.] but not more than 14 mm [0.55 in.].

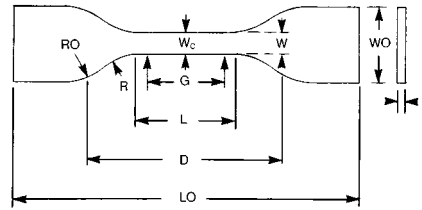
**6.1.2 Nonrigid Plastics**—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type IV specimen shall be used for testing nonrigid plastics with a thickness of 4 mm [0.16 in.] or less. The Type III specimen must be used for all materials with a thickness greater than 7 mm [0.28 in.] but not more than 14 mm [0.55 in.].

**6.1.3 Reinforced Composites**—The test specimen for reinforced composites, including highly orthotropic laminates, shall conform to the dimensions of the Type I specimen shown in Fig. 1.

**6.1.4 Preparation**—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form. Materials thicker than 14 mm [0.55



TYPES I, II, III & V



TYPE IV

Specimen Dimensions for Thickness,  $T$ , mm [in.]<sup>A</sup>

Dimensions (see drawings)	7 [0.28] or under		Over 7 to 14 [0.28 to 0.55], incl		4 [0.16] or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV <sup>B</sup>	Type V <sup>C,D</sup>		
$W$ —Width of narrow section <sup>E,F</sup>	13 [0.50]	6 [0.25]	19 [0.75]	6 [0.25]	3.18 [0.125]	$\pm 0.5$ [ $\pm 0.02$ ] <sup>B,C</sup>	
$L$ —Length of narrow section	57 [2.25]	57 [2.25]	57 [2.25]	33 [1.30]	9.53 [0.375]	$\pm 0.5$ [ $\pm 0.02$ ] <sup>C</sup>	
$WO$ —Width overall, min <sup>G</sup>	19 [0.75]	19 [0.75]	29 [1.13]	19 [0.75]	...	+ 6.4 [+ 0.25]	
$WO$ —Width overall, min <sup>G</sup>	...	...	...	...	9.53 [0.375]	+ 3.18 [+ 0.125]	
$LO$ —Length overall, min <sup>H</sup>	165 [6.5]	183 [7.2]	246 [9.7]	115 [4.5]	63.5 [2.5]	no max [no max]	
$G$ —Gage length <sup>I</sup>	50 [2.00]	50 [2.00]	50 [2.00]	...	7.62 [0.300]	$\pm 0.25$ [ $\pm 0.010$ ] <sup>C</sup>	
$G$ —Gage length <sup>I</sup>	...	...	...	25 [1.00]	...	$\pm 0.13$ [ $\pm 0.005$ ]	
$D$ —Distance between grips	115 [4.5]	135 [5.3]	115 [4.5]	65 [2.5] <sup>J</sup>	25.4 [1.0]	$\pm 5$ [ $\pm 0.2$ ]	
$R$ —Radius of fillet	76 [3.00]	76 [3.00]	76 [3.00]	14 [0.56]	12.7 [0.5]	$\pm 1$ [ $\pm 0.04$ ] <sup>C</sup>	
$RO$ —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 [1.00]	...	$\pm 1$ [ $\pm 0.04$ ]	

<sup>A</sup> Thickness,  $T$ , shall be  $3.2 \pm 0.4$  mm [ $0.13 \pm 0.02$  in.] for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness,  $T$ , may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm [0.55 in.] the specimens shall be machined to  $14 \pm 0.4$  mm [ $0.55 \pm 0.02$  in.] in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm [0.55 and 2 in.] approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm [0.55 in.] shall be those standard for the grade of material tested.

<sup>B</sup> For the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be  $6.00 \pm 0.05$  mm [ $0.250 \pm 0.002$  in.]. The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D 412.

<sup>C</sup> The Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:

$W = 3.18 \pm 0.03$  mm [ $0.125 \pm 0.001$  in.],

$L = 9.53 \pm 0.08$  mm [ $0.375 \pm 0.003$  in.],

$G = 7.62 \pm 0.02$  mm [ $0.300 \pm 0.001$  in.], and

$R = 12.7 \pm 0.08$  mm [ $0.500 \pm 0.003$  in.].

The other tolerances are those in the table.

<sup>D</sup> Supporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D 1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1038.

<sup>E</sup> The width at the center  $W_c$  shall be  $+0.00$  mm,  $-0.10$  mm [ $+0.000$  in.,  $-0.004$  in.] compared with width  $W$  at other parts of the reduced section. Any reduction in  $W$  at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

<sup>F</sup> For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm [0.005 in.] may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm [0.13 in.] in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

<sup>G</sup> Overall widths greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

<sup>H</sup> Overall lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

<sup>I</sup> Test marks or initial extensometer span.

<sup>J</sup> When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

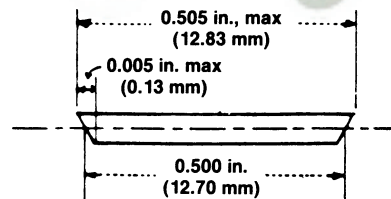
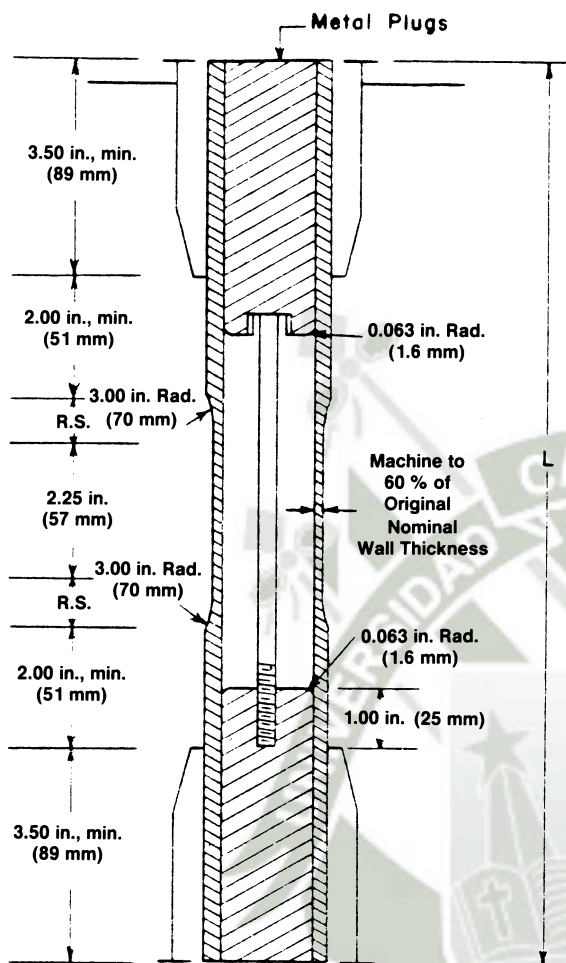


FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics

in.] must be machined to 14 mm [0.55 in.] for use as Type III specimens. Specimens can also be prepared by molding the material to be tested.



DIMENSIONS OF TUBE SPECIMENS

Nominal Wall Thickness	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, L, of Specimen to Be Used for 89-mm [3.5-in.] Jaws <sup>A</sup>
mm [in.]			
0.79 [ $\frac{1}{32}$ ]	13.9 [0.547]	350 [13.80]	381 [15]
1.2 [ $\frac{3}{64}$ ]	17.0 [0.670]	354 [13.92]	381 [15]
1.6 [ $\frac{1}{16}$ ]	19.6 [0.773]	356 [14.02]	381 [15]
2.4 [ $\frac{3}{32}$ ]	24.0 [0.946]	361 [14.20]	381 [15]
3.2 [ $\frac{1}{8}$ ]	27.7 [1.091]	364 [14.34]	381 [15]
4.8 [ $\frac{3}{16}$ ]	33.9 [1.333]	370 [14.58]	381 [15]
6.4 [ $\frac{1}{4}$ ]	39.0 [1.536]	376 [14.79]	400 [15.75]
7.9 [ $\frac{5}{16}$ ]	43.5 [1.714]	380 [14.96]	400 [15.75]
9.5 [ $\frac{3}{8}$ ]	47.6 [1.873]	384 [15.12]	400 [15.75]
11.1 [ $\frac{7}{16}$ ]	51.3 [2.019]	388 [15.27]	400 [15.75]
12.7 [ $\frac{1}{2}$ ]	54.7 [2.154]	391 [15.40]	419 [16.5]

<sup>A</sup> For other jaws greater than 89 mm [3.5 in.], the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm [7 in.]. The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm [0.25 to 0.50 in.] in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 2 Diagram Showing Location of Tube Tension Test Specimens in Testing Machine

NOTE 9—Test results have shown that for some materials such as glass

cloth, SMC, and BMC laminates, other specimen types should be considered to ensure breakage within the gage length of the specimen, as mandated by 7.3.

NOTE 10—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, care must be exercised in cutting the specimens parallel to the reinforcement. The reinforcement will be significantly weakened by cutting on a bias, resulting in lower laminate properties, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

NOTE 11—Specimens prepared by injection molding may have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrow sections.

6.2 *Rigid Tubes*—The test specimen for rigid tubes shall be as shown in Fig. 2. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 2. A groove shall be machined around the outside of the specimen at the center of its length so that the wall section after machining shall be 60 % of the original nominal wall thickness. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm [2.25 in.] in length with a radius of 76 mm [3 in.] at each end joining it to the outside diameter. Steel or brass plugs having diameters such that they will fit snugly inside the tube and having a length equal to the full jaw length plus 25 mm [1 in.] shall be placed in the ends of the specimens to prevent crushing. They can be located conveniently in the tube by separating and supporting them on a threaded metal rod. Details of plugs and test assembly are shown in Fig. 2.

6.3 *Rigid Rods*—The test specimen for rigid rods shall be as shown in Fig. 3. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 3. A groove shall be machined around the specimen at the center of its length so that the diameter of the machined portion shall be 60 % of the original nominal diameter. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm [2.25 in.] in length with a radius of 76 mm [3 in.] at each end joining it to the outside diameter.

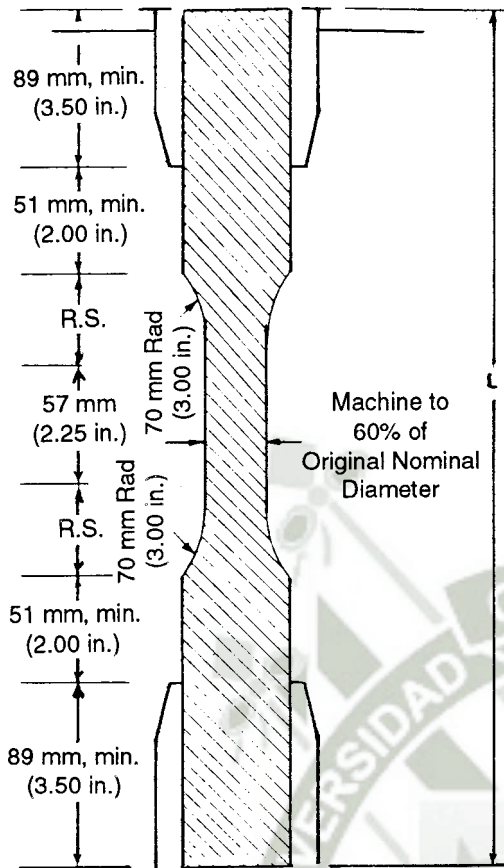
6.4 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.

6.5 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gage marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

6.6 When testing materials that are suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared, having their long axes respectively parallel with, and normal to, the suspected direction of anisotropy.

## 7. Number of Test Specimens

7.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.



DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diameter	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, L, of Specimen to Be Used for 89-mm [3½-in.] Jaws <sup>A</sup>
mm [in.]			
3.2 [1/8]	19.6 [0.773]	356 [14.02]	381 [15]
4.7 [1/16]	24.0 [0.946]	361 [14.20]	381 [15]
6.4 [1/4]	27.7 [1.091]	364 [14.34]	381 [15]
9.5 [3/8]	33.9 [1.333]	370 [14.58]	381 [15]
12.7 [1/2]	39.0 [1.536]	376 [14.79]	400 [15.75]
15.9 [5/8]	43.5 [1.714]	380 [14.96]	400 [15.75]
19.0 [3/4]	47.6 [1.873]	384 [15.12]	400 [15.75]
22.2 [7/8]	51.5 [2.019]	388 [15.27]	400 [15.75]
25.4 [1]	54.7 [2.154]	391 [15.40]	419 [16.5]
31.8 [1¼]	60.9 [2.398]	398 [15.65]	419 [16.5]
38.1 [1½]	66.4 [2.615]	403 [15.87]	419 [16.5]
42.5 [1¾]	71.4 [2.812]	408 [16.06]	419 [16.5]
50.8 [2]	76.0 [2.993]	412 [16.24]	432 [17]

<sup>A</sup> For other jaws greater than 89 mm [3.5 in.], the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm [7 in.]. The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm [0.25 to 0.50 in.] in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 3 Diagram Showing Location of Rod Tension Test Specimen in Testing Machine

7.2 Test ten specimens, five normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy, for each sample in the case of anisotropic materials.

7.3 Discard specimens that break at some flaw, or that break outside of the narrow cross-sectional test section (Fig. 1, dimension “L”), and make retests, unless such flaws constitute a variable to be studied.

NOTE 12—Before testing, all transparent specimens should be inspected in a polariscope. Those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected, unless the effects of these residual strains constitute a variable to be studied.

## 8. Speed of Testing

8.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. The rate of motion of the driven grip or fixture when the testing machine is running idle may be used, if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

8.2 Choose the speed of testing from Table 1. Determine this chosen speed of testing by the specification for the material being tested, or by agreement between those concerned. When the speed is not specified, use the lowest speed shown in Table 1 for the specimen geometry being used, which gives rupture within ½ to 5-min testing time.

8.3 Modulus determinations may be made at the speed selected for the other tensile properties when the recorder response and resolution are adequate.

8.4 The speed of testing for Poisson’s ratio determination shall be 5 mm/min.

## 9. Conditioning

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  [ $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ] and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference pre-test conditioning, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  [ $1.8^\circ\text{F}$ ] and  $\pm 2\%$  relative humidity.

9.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  [ $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ] and  $50 \pm 5\%$  relative humidity, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference testing conditions, to settle disagreements, shall apply tolerances of  $\pm 1^\circ\text{C}$  [ $1.8^\circ\text{F}$ ] and  $\pm 2\%$  relative humidity.

TABLE 1 Designations for Speed of Testing<sup>A</sup>

Classification <sup>B</sup>	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min [in./min]	Nominal Strain <sup>C</sup> Rate at Start of Test, mm/mm·min [in./in.·min]
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 [0.2] $\pm$ 25 %	0.1
		50 [2] $\pm$ 10 %	1
	IV	500 [20] $\pm$ 10 %	10
		5 [0.2] $\pm$ 25 %	0.15
		50 [2] $\pm$ 10 %	1.5
Nonrigid	V	500 [20] $\pm$ 10 %	15
		1 [0.05] $\pm$ 25 %	0.1
	III	10 [0.5] $\pm$ 25 %	1
		100 [5] $\pm$ 25 %	10
		50 [2] $\pm$ 10 %	1
IV	500 [20] $\pm$ 10 %	10	
	50 [2] $\pm$ 10 %	1.5	
		500 [20] $\pm$ 10 %	15

<sup>A</sup> Select the lowest speed that produces rupture in ½ to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).

<sup>B</sup> See Terminology D 883 for definitions.

<sup>C</sup> The initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the fillets. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

## 10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness of each specimen to the nearest 0.025 mm [0.001 in.] using the applicable test methods in D 5947.

**TABLE 2 Modulus, 10<sup>6</sup> psi, for Eight Laboratories, Five Materials**

	Mean	S <sub>r</sub>	S <sub>R</sub>	I <sub>r</sub>	I <sub>R</sub>
Polypropylene	0.210	0.0089	0.071	0.025	0.201
Cellulose acetate butyrate	0.246	0.0179	0.035	0.051	0.144
Acrylic	0.481	0.0179	0.063	0.051	0.144
Glass-reinforced nylon	1.17	0.0537	0.217	0.152	0.614
Glass-reinforced polyester	1.39	0.0894	0.266	0.253	0.753

10.1.1 Measure the width and thickness of flat specimens at the center of each specimen and within 5 mm of each end of the gage length.

10.1.2 Injection molded specimen dimensions may be determined by actual measurement of only one specimen from each sample when it has previously been demonstrated that the specimen-to-specimen variation in width and thickness is less than 1 %.

10.1.3 Take the width of specimens produced by a Type IV die as the distance between the cutting edges of the die in the narrow section.

10.1.4 Measure the diameter of rod specimens, and the inside and outside diameters of tube specimens, to the nearest 0.025 mm [0.001 in.] at a minimum of two points 90° apart; make these measurements along the groove for specimens so constructed. Use plugs in testing tube specimens, as shown in Fig. 2.

10.2 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. On tube and rod specimens, the location for the grips shall be as shown in Fig. 2 and Fig. 3. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test, but not to the point where the specimen would be crushed.

10.3 Attach the extension indicator. When modulus is being determined, a Class B-2 or better extensometer is required (see 5.2.1).

NOTE 13—Modulus of materials is determined from the slope of the linear portion of the stress-strain curve. For most plastics, this linear portion is very small, occurs very rapidly, and must be recorded automatically. The change in jaw separation is never to be used for calculating modulus or elongation.

### 10.3.1 Poisson's Ratio Determination:

10.3.1.1 The measurement of Poisson's Ratio is optional and need be determined only when requested. If the tensile modulus is determined at a test speed of 5 mm/min, it is acceptable to determine the Poisson's ratio at the same time as the tensile modulus.

10.3.1.2 Poisson's Ratio shall be determined at a speed of 5 mm/min. For materials having a distinct linear elastic region on the stress-strain curve the ratio shall be determined in the same load range as that used for the measurement of the modulus of

elasticity. If the material does not exhibit a linear stress to strain relationship the ratio shall be determined within the axial strain range of 0.0005 to 0.0025 mm/mm (0.05 to 0.25%). If the ratio is determined in this manner it shall be noted in the report that a region of proportionality of stress to strain was not evident.

NOTE 14—A suitable method to judge the determination of linearity of the stress to strain curve is by making a series of tangent modulus measurements at different axial strain levels. Values equivalent at each strain level indicate linearity. Values showing a downward trend with increasing strain level indicate non linearity.

10.3.1.3 Attach the transverse strain measuring device. The transverse strain measuring device must continuously measure the strain simultaneously with the axial strain measuring device.

**TABLE 3 Tensile Stress at Yield, 10<sup>3</sup> psi, for Eight Laboratories, Three Materials**

	Mean	S <sub>r</sub>	S <sub>R</sub>	I <sub>r</sub>	I <sub>R</sub>
Polypropylene	3.63	0.022	0.161	0.062	0.456
Cellulose acetate butyrate	5.01	0.058	0.227	0.164	0.642
Acrylic	10.4	0.067	0.317	0.190	0.897

**TABLE 4 Elongation at Yield, %, for Eight Laboratories, Three Materials**

	Mean	S <sub>r</sub>	S <sub>R</sub>	I <sub>r</sub>	I <sub>R</sub>
Cellulose acetate butyrate	3.65	0.27	0.62	0.76	1.75
Acrylic	4.89	0.21	0.55	0.59	1.56
Polypropylene	8.79	0.45	5.86	1.27	16.5

10.3.1.4 Make simultaneous measurements of load and strain and record the data. The precision of the value of Poisson's Ratio will depend on the number of data points of axial and transverse strain taken. It is recommended that the data collection rate for the test be a minimum of 20 points per second. This is particularly important for materials having a non linear stress to strain curve.

10.4 Set the speed of testing at the proper rate as required in Section 8, and start the machine.

10.5 Record the load-extension curve of the specimen.

10.6 Record the load and extension at the yield point (if one exists) and the load and extension at the moment of rupture.

NOTE 15—If it is desired to measure both modulus and failure properties (yield or break, or both), it may be necessary, in the case of highly extensible materials, to run two independent tests. The high magnification extensometer normally used to determine properties up to the yield point may not be suitable for tests involving high extensibility. If allowed to remain attached to the specimen, the extensometer could be permanently damaged. A broad-range incremental extensometer or hand-rule technique may be needed when such materials are taken to rupture.

## 11. Calculation

11.1 Toe compensation shall be made in accordance with Annex A1, unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the take-up of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

11.2 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load in newtons [pounds-force] by the average original cross-sectional area in the gage length segment of the specimen in square metres [square inches]. Express the result in pascals [pounds-force per square inch] and report it to three significant figures as tensile strength at yield or tensile strength at break, whichever term is applicable. When a nominal yield or break load less than the maximum is present and applicable, it may be desirable also to calculate, in a similar manner, the corresponding tensile stress at yield or tensile stress at break and report it to three significant figures (see Note A2.8).

11.3 Elongation values are valid and are reported in cases where uniformity of deformation within the specimen gage length is present. Elongation values are quantitatively relevant and appropriate for engineering design. When non-uniform deformation (such as necking) occurs within the specimen gage length nominal strain values are reported. Nominal strain values are of qualitative utility only.

11.4 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by extending the initial linear portion of the load-extension curve and dividing the difference in stress corresponding to any segment of section on this straight line by the corresponding difference in strain. All elastic modulus values shall be computed using the average original cross-sectional area in the gage length segment of the specimen in the calculations. The result shall be expressed in pascals [pounds-force per square inch] and reported to three significant figures.

11.5 *Secant Modulus*—At a designated strain, this shall be calculated by dividing the corresponding stress (nominal) by the designated strain. Elastic modulus values are preferable and shall be calculated whenever possible. However, for materials where no proportionality is evident, the secant value shall be calculated. Draw the tangent as directed in A1.3 and Fig. A1.2, and mark off the designated strain from the yield point where the tangent line goes through zero stress. The stress to be used in the calculation is then determined by dividing the load-extension curve by the original average cross-sectional area of

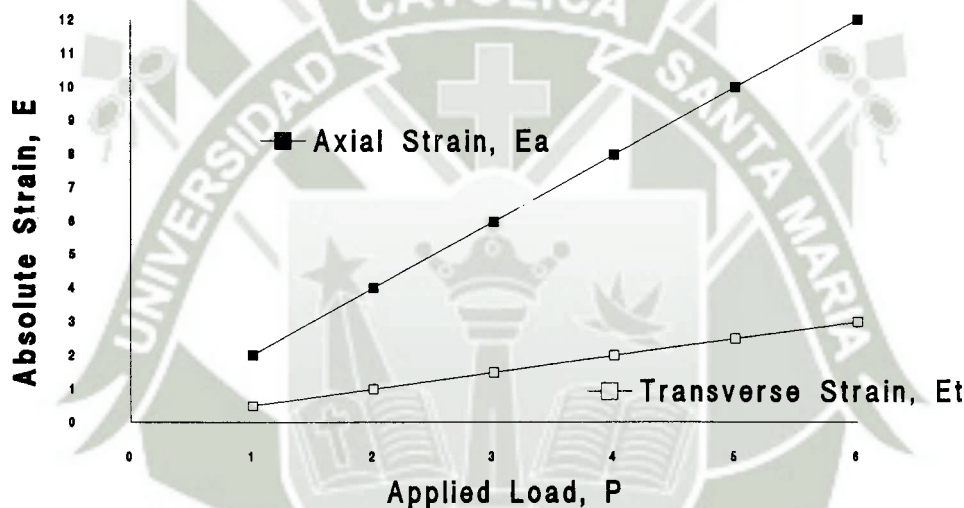


FIG. 4 Plot of Strains Versus Load for Determination of Poisson's Ratio

11.3.1 *Percent Elongation*—Percent elongation is the change in gage length relative to the original specimen gage length, expressed as a percent. Percent elongation is calculated using the apparatus described in 5.2.

11.3.1.1 *Percent Elongation at Yield*—Calculate the percent elongation at yield by reading the extension (change in gage length) at the yield point. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.1.2 *Percent Elongation at Break*—Calculate the percent elongation at break by reading the extension (change in gage length) at the point of specimen rupture. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.2 *Nominal Strain*—Nominal strain is the change in grip separation relative to the original grip separation expressed as a percent. Nominal strain is calculated using the apparatus described in 5.1.7.

11.3.2.1 *Nominal strain at break*—Calculate the nominal strain at break by reading the extension (change in grip separation) at the point of rupture. Divide that extension by the original grip separation and multiply by 100.

the specimen.

11.6 *Poisson's Ratio*—The axial strain,  $\epsilon_a$ , indicated by the axial extensometer, and the transverse strain,  $\epsilon_t$ , indicated by the transverse extensometers, are plotted against the applied load,  $P$ , as shown in Fig. 4.

11.6.1 For those materials where there is proportionality of stress to strain and it is possible to determine a modulus of elasticity, a straight line is drawn through each set of points within the load range used for determination of modulus, and the slopes  $d\epsilon_a / dP$  and  $d\epsilon_t / dP$ , of those lines are determined. The use of a least squares method of calculation will reduce errors resulting from drawing lines. Poisson's ratio,  $\mu$ , is then calculated as follows:

$$\mu = -(d\epsilon_t / dP) / (d\epsilon_a / dP) \quad (1)$$

where:

- $d\epsilon_t$  = change in transverse strain,
- $d\epsilon_a$  = change in axial strain, and
- $dP$  = change in applied load;

or

$$\mu = -(d\epsilon_r) / (d\epsilon_a) \quad (2)$$

The errors that may be introduced by drawing a straight line through the points can be reduced by applying the least squares method.

11.6.2 For those materials where there is no proportionality of stress to strain evident determine the ratio of  $d\epsilon_r / d\epsilon_a$  when  $d\epsilon_a = 0.002$  (based on axial strain range of 0.0005 to 0.0025 mm/mm) and after toe compensation has been made.

$$\mu = d\epsilon_r / 0.002 \quad (3)$$

11.7 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all values obtained and report it as the “average value” for the particular property in question.

11.8 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2) / (n - 1)} \quad (4)$$

where:

$s$  = estimated standard deviation,

$X$  = value of single observation,

$n$  = number of observations, and

$\bar{X}$  = arithmetic mean of the set of observations.

11.9 See Annex A1 for information on toe compensation.

**TABLE 5 Tensile Strength at Break, 10<sup>3</sup> psi, for Eight Laboratories, Five Materials<sup>A</sup>**

	Mean	$S_r$	$S_R$	$I_r$	$I_R$
Polypropylene	2.97	1.54	1.65	4.37	4.66
Cellulose acetate butyrate	4.82	0.058	0.180	0.164	0.509
Acrylic	9.09	0.452	0.751	1.27	2.13
Glass-reinforced polyester	20.8	0.233	0.437	0.659	1.24
Glass-reinforced nylon	23.6	0.277	0.698	0.784	1.98

<sup>A</sup> Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced propylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or “drawing” of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

**TABLE 6 Elongation at Break, %, for Eight Laboratories, Five Materials<sup>A</sup>**

	Mean	$S_r$	$S_R$	$I_r$	$I_R$
Glass-reinforced polyester	3.68	0.20	2.33	0.570	6.59
Glass-reinforced nylon	3.87	0.10	2.13	0.283	6.03
Acrylic	13.2	2.05	3.65	5.80	10.3
Cellulose acetate butyrate	14.1	1.87	6.62	5.29	18.7
Polypropylene	293.0	50.9	119.0	144.0	337.0

<sup>A</sup> Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced propylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or “drawing” of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

## 12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer’s code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

**TABLE 7 Tensile Yield Strength, for Ten Laboratories, Eight Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
LDPE	20	1544	52.4	64.0	146.6	179.3
LDPE	20	1894	53.1	61.2	148.7	171.3
LLDPE	20	1879	74.2	99.9	207.8	279.7
LLDPE	20	1791	49.2	75.8	137.9	212.3
LLDPE	20	2900	55.5	87.9	155.4	246.1
LLDPE	20	1730	63.9	96.0	178.9	268.7
HDPE	2	4101	196.1	371.9	549.1	1041.3
HDPE	2	3523	175.9	478.0	492.4	1338.5

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Classification of extensometers used. A description of measuring technique and calculations employed instead of a minimum Class-C extensometer system,

12.1.9 Tensile strength at yield or break, average value, and standard deviation,

12.1.10 Tensile stress at yield or break, if applicable, average value, and standard deviation,

12.1.11 Percent elongation at yield, or break, or nominal strain at break, or all three, as applicable, average value, and standard deviation,

12.1.12 Modulus of elasticity or secant modulus, average value, and standard deviation,

12.1.13 If measured, Poisson’s ratio, average value, standard deviation, and statement of whether there was proportionality within the strain range,

12.1.14 Date of test, and

12.1.15 Revision date of Test Method D 638.

## 13. Precision and Bias<sup>4</sup>

13.1 *Precision*—Tables 2-6 are based on a round-robin test conducted in 1984, involving five materials tested by eight laboratories using the Type I specimen, all of nominal 0.125-in. thickness. Each test result was based on five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

13.1.1 Tables 7-10 are based on a round-robin test conducted by the polyolefin subcommittee in 1988, involving eight polyethylene materials tested in ten laboratories. For each material, all samples were molded at one source, but the individual specimens were prepared at the laboratories that tested them. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained three test results for each material. Data from some laboratories could not be used for various reasons, and this is noted in each table.

13.1.2 Table 11 is based on a repeatability study involving a single laboratory. The two materials used were unfilled polypropylene types. Measurements were performed by a

<sup>4</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1125 for the 1984 round robin and RR:D20-1170 for the 1988 round robin.

**TABLE 8 Tensile Yield Elongation, for Eight Laboratories, Eight Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
LDPE	20	17.0	1.26	3.16	3.52	8.84
LDPE	20	14.6	1.02	2.38	2.86	6.67
LLDPE	20	15.7	1.37	2.85	3.85	7.97
LLDPE	20	16.6	1.59	3.30	4.46	9.24
LLDPE	20	11.7	1.27	2.88	3.56	8.08
LLDPE	20	15.2	1.27	2.59	3.55	7.25
HDPE	2	9.27	1.40	2.84	3.91	7.94
HDPE	2	9.63	1.23	2.75	3.45	7.71

**TABLE 9 Tensile Break Strength, for Nine Laboratories, Six Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
LDPE	20	1592	52.3	74.9	146.4	209.7
LDPE	20	1750	66.6	102.9	186.4	288.1
LLDPE	20	4379	127.1	219.0	355.8	613.3
LLDPE	20	2840	78.6	143.5	220.2	401.8
LLDPE	20	1679	34.3	47.0	95.96	131.6
LLDPE	20	2660	119.1	166.3	333.6	465.6

**TABLE 10 Tensile Break Elongation, for Nine Laboratories, Six Materials**

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	$S_r$	$S_R$	$r$	$R$
LDPE	20	567	31.5	59.5	88.2	166.6
LDPE	20	569	61.5	89.2	172.3	249.7
LLDPE	20	890	25.7	113.8	71.9	318.7
LLDPE	20	64.4	6.68	11.7	18.7	32.6
LLDPE	20	803	25.7	104.4	71.9	292.5
LLDPE	20	782	41.6	96.7	116.6	270.8

single technician on a single day. Each test result is an individual determination. Testing was run using two Type B-1 extensometers for transverse and axial measurements at a test speed of 5 mm/min.

13.1.3 In Tables 2-11, for the materials indicated, and for test results that derived from testing five specimens:

**TABLE 11 Poisson's Ratio Repeatability Data for One Laboratory and Two Polypropylene Materials**

Materials	Values Expressed as a Dimensionless Ratio		
	Average	$S_r$	$r$
PP #1 Chord	0.412	0.009	0.026
PP #1 Least Squares	0.413	0.011	0.032
PP #2 Chord	0.391	0.009	0.026
PP #2 Least Squares	0.392	0.010	0.028

13.1.3.1  $S_r$  is the within-laboratory standard deviation of the average;  $I_r = 2.83 S_r$ . (See 13.1.3.3 for application of  $I_r$ .)

13.1.3.2  $S_R$  is the between-laboratory standard deviation of the average;  $I_R = 2.83 S_R$ . (See 13.1.3.4 for application of  $I_R$ .)

13.1.3.3 *Repeatability*—In comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_r$  value for that material and condition.

13.1.3.4 *Reproducibility*—In comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_R$  value for that material and condition. (This applies between different laboratories or between different equipment within the same laboratory.)

13.1.3.5 Any judgment in accordance with 13.1.3.3 and 13.1.3.4 will have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.1.3.6 Other formulations may give somewhat different results.

13.1.3.7 For further information on the methodology used in this section, see Practice E 691.

13.1.3.8 The precision of this test method is very dependent upon the uniformity of specimen preparation, standard practices for which are covered in other documents.

13.2 *Bias*—There are no recognized standards on which to base an estimate of bias for this test method.

## 14. Keywords

14.1 modulus of elasticity; percent elongation; plastics; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

## ANNEXES

### (Mandatory Information)

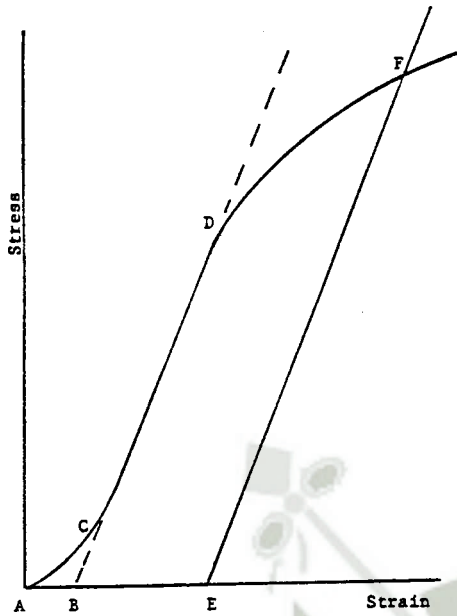
#### A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region, AC, that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

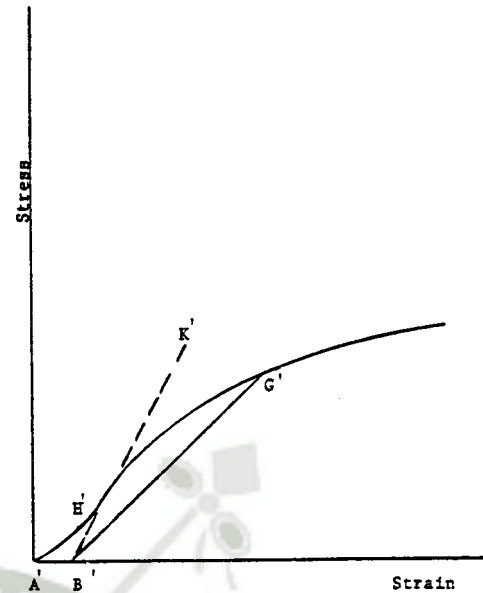
A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the

linear (CD) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (B) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (BE), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line CD (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point B, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
**FIG. A1.1 Material with Hookean Region**



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
**FIG. A1.2 Material with No Hookean Region**

zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point ( $H'$ ). This is extended to intersect the strain axis at Point  $B'$ , the corrected zero-strain point. Using Point  $B'$  as zero strain, the stress at any point ( $G'$ )

on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of Line  $B' G'$ ). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.

## A2. DEFINITIONS OF TERMS AND SYMBOLS RELATING TO TENSION TESTING OF PLASTICS

**A2.1 elastic limit**—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any permanent strain remaining upon complete release of the stress. It is expressed in force per unit area, usually megapascals [pounds-force per square inch].

NOTE A2.1—Measured values of proportional limit and elastic limit vary greatly with the sensitivity and accuracy of the testing equipment, eccentricity of loading, the scale to which the stress-strain diagram is plotted, and other factors. Consequently, these values are usually replaced by yield strength.

**A2.2 elongation**—the increase in length produced in the gage length of the test specimen by a tensile load. It is expressed in units of length, usually millimetres [inches]. (Also known as *extension*.)

NOTE A2.2—Elongation and strain values are valid only in cases where uniformity of specimen behavior within the gage length is present. In the case of materials exhibiting necking phenomena, such values are only of qualitative utility after attainment of yield point. This is due to inability to ensure that necking will encompass the entire length between the gage marks prior to specimen failure.

**A2.3 gage length**—the original length of that portion of the specimen over which strain or change in length is determined.

**A2.4 modulus of elasticity**—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area, usually megapascals [pounds-force per square inch]. (Also known as *elastic modulus* or *Young's modulus*).

NOTE A2.3—The stress-strain relations of many plastics do not conform to Hooke's law throughout the elastic range but deviate therefrom even at stresses well below the elastic limit. For such materials the slope of the tangent to the stress-strain curve at a low stress is usually taken as the modulus of elasticity. Since the existence of a true proportional limit in plastics is debatable, the propriety of applying the term "modulus of elasticity" to describe the stiffness or rigidity of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are very dependent on such factors as rate of stressing, temperature, previous specimen history, etc. However, such a value is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and other factors are realized.

**A2.5 necking**—the localized reduction in cross section which may occur in a material under tensile stress.

**A2.6 offset yield strength**—the stress at which the strain exceeds by a specified amount (the offset) an extension of the initial proportional portion of the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals [pounds-force per square inch].

NOTE A2.4—This measurement is useful for materials whose stress-strain curve in the yield range is of gradual curvature. The offset yield strength can be derived from a stress-strain curve as follows (Fig. A2.1):

On the strain axis lay off  $OM$  equal to the specified offset. Draw  $OA$  tangent to the initial straight-line portion of the stress-strain

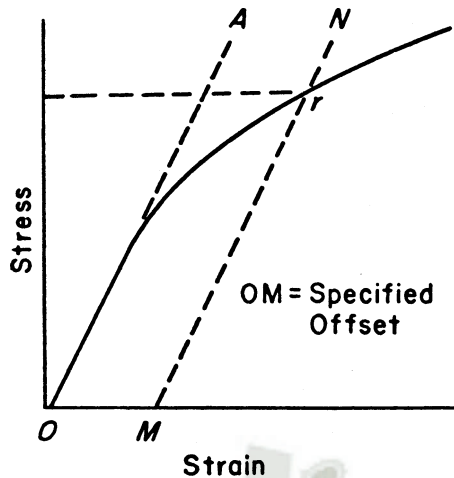


FIG. A2.1 Offset Yield Strength

curve.

Through  $M$  draw a line  $MN$  parallel to  $OA$  and locate the intersection of  $MN$  with the stress-strain curve.

The stress at the point of intersection  $r$  is the “offset yield strength.” The specified value of the offset must be stated as a percent of the original gage length in conjunction with the strength value. *Example:* 0.1 % offset yield strength = ... MPa [psi], or yield strength at 0.1 % offset ... MPa [psi].

**A2.7 percent elongation**—the elongation of a test specimen expressed as a percent of the gage length.

**A2.8 percent elongation at break and yield:**

**A2.8.1 percent elongation at break**—the percent elongation at the moment of rupture of the test specimen.

**A2.8.2 percent elongation at yield**—the percent elongation at the moment the yield point (A2.22) is attained in the test specimen.

**A2.9 percent reduction of area (nominal)**—the difference between the original cross-sectional area measured at the point of rupture after breaking and after all retraction has ceased, expressed as a percent of the original area.

**A2.10 percent reduction of area (true)**—the difference between the original cross-sectional area of the test specimen and the minimum cross-sectional area within the gage boundaries prevailing at the moment of rupture, expressed as a percentage of the original area.

**A2.11 Poisson’s Ratio**—The absolute value of the ratio of transverse strain to the corresponding axial strain resulting from uniformly distributed axial stress below the proportional limit of the material.

**A2.12 proportional limit**—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke’s law). It is expressed in force per unit area, usually megapascals [pounds-force per square inch].

**A2.13 rate of loading**—the change in tensile load carried by the specimen per unit time. It is expressed in force per unit time, usually newtons [pounds-force] per minute. The initial

rate of loading can be calculated from the initial slope of the load versus time diagram.

**A2.14 rate of straining**—the change in tensile strain per unit time. It is expressed either as strain per unit time, usually metres per metre [inches per inch] per minute, or percent elongation per unit time, usually percent elongation per minute. The initial rate of straining can be calculated from the initial slope of the tensile strain versus time diagram.

**NOTE A2.5**—The initial rate of straining is synonymous with the rate of crosshead movement divided by the initial distance between crossheads only in a machine with constant rate of crosshead movement and when the specimen has a uniform original cross section, does not “neck down,” and does not slip in the jaws.

**A2.15 rate of stressing (nominal)**—the change in tensile stress (nominal) per unit time. It is expressed in force per unit area per unit time, usually megapascals [pounds-force per square inch] per minute. The initial rate of stressing can be calculated from the initial slope of the tensile stress (nominal) versus time diagram.

**NOTE A2.6**—The initial rate of stressing as determined in this manner has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which the initial stress (nominal) carried by the test specimen is applied. It is affected by the elasticity and flow characteristics of the materials being tested. At the yield point, the rate of stressing (true) may continue to have a positive value if the cross-sectional area is decreasing.

**A2.16 secant modulus**—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals [pounds-force per square inch], and reported together with the specified stress or strain.

**NOTE A2.7**—This measurement is usually employed in place of modulus of elasticity in the case of materials whose stress-strain diagram does not demonstrate proportionality of stress to strain.

**A2.17 strain**—the ratio of the elongation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length. It is expressed as a dimensionless ratio.

**A2.17.1 nominal strain at break**—the strain at the moment of rupture relative to the original grip separation.

**A2.18 tensile strength (nominal)**—the maximum tensile stress (nominal) sustained by the specimen during a tension test. When the maximum stress occurs at the yield point (A2.22), it shall be designated tensile strength at yield. When the maximum stress occurs at break, it shall be designated tensile strength at break.

**A2.19 tensile stress (nominal)**—the tensile load per unit area of minimum original cross section, within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area, usually megapascals [pounds-force per square inch].

**NOTE A2.8**—The expression of tensile properties in terms of the minimum original cross section is almost universally used in practice. In the case of materials exhibiting high extensibility or necking, or both (A2.16), nominal stress calculations may not be meaningful beyond the

yield point (A2.22) due to the extensive reduction in cross-sectional area that ensues. Under some circumstances it may be desirable to express the tensile properties per unit of minimum prevailing cross section. These properties are called true tensile properties (that is, true tensile stress, etc.).

A2.20 *tensile stress-strain curve*—a diagram in which values of tensile stress are plotted as ordinates against corresponding values of tensile strain as abscissas.

A2.21 *true strain* (see Fig. A2.2) is defined by the following equation for  $\epsilon_T$ :

$$\epsilon_T = \int_{L_o}^L \frac{dL}{L} = \ln L/L_o \quad (A2.1)$$

where:

- $dL$  = increment of elongation when the distance between the gage marks is  $L$ ,
- $L_o$  = original distance between gage marks, and
- $L$  = distance between gage marks at any time.

A2.22 *yield point*—the first point on the stress-strain curve at which an increase in strain occurs without an increase in stress (Fig. A2.2).

NOTE A2.9—Only materials whose stress-strain curves exhibit a point of zero slope may be considered as having a yield point.

NOTE A2.10—Some materials exhibit a distinct “break” or discontinuity in the stress-strain curve in the elastic region. This break is not a yield point by definition. However, this point may prove useful for material characterization in some cases.

A2.23 *yield strength*—the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. Unless otherwise specified, this stress will be the stress at the yield point and when expressed in relation to the tensile strength shall be designated either tensile strength at yield or tensile stress at yield as required in A2.18 (Fig. A2.3). (See *offset yield strength*.)

A2.24 *Symbols*—The following symbols may be used for the above terms:

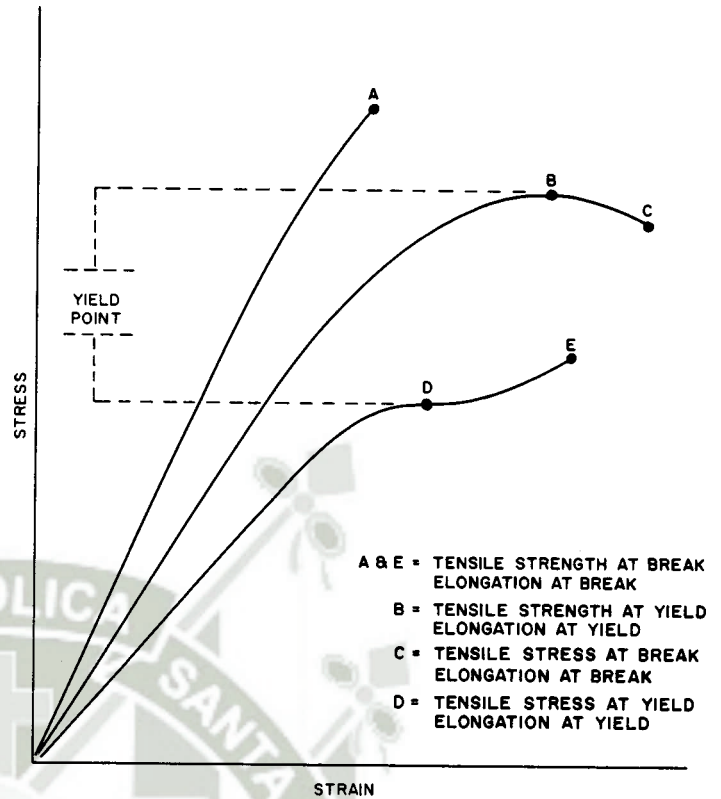


FIG. A2.3 Tensile Designations

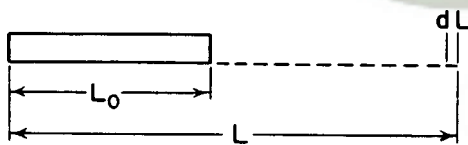


FIG. A2.2 Illustration of True Strain Equation

Symbol	Term
$W$	Load
$\Delta W$	Increment of load
$L$	Distance between gage marks at any time
$L_o$	Original distance between gage marks
$L_u$	Distance between gage marks at moment of rupture
$\Delta L$	Increment of distance between gage marks = elongation
$A$	Minimum cross-sectional area at any time
$A_o$	Original cross-sectional area
$\Delta A$	Increment of cross-sectional area
$A_u$	Cross-sectional area at point of rupture measured after breaking specimen
$A_T$	Cross-sectional area at point of rupture, measured at the moment of rupture
$t$	Time
$\Delta t$	Increment of time
$\sigma$	Tensile stress
$\Delta \sigma$	Increment of stress
$\sigma_T$	True tensile stress
$\sigma_U$	Tensile strength at break (nominal)
$\sigma_{UT}$	Tensile strength at break (true)
$\epsilon$	Strain
$\Delta \epsilon$	Increment of strain
$\epsilon_U$	Total strain, at break
$\epsilon_T$	True strain
$\%EI$	Percentage elongation
Y.P.	Yield point
$E$	Modulus of elasticity

A2.25 Relations between these various terms may be defined as follows:

$$\begin{aligned} \sigma &= W/A_o \\ \sigma_T &= W/A \\ \sigma_U &= W/A_o \text{ (where } W \text{ is breaking load)} \\ \sigma_{UT} &= W/A_T \text{ (where } W \text{ is breaking load)} \\ \epsilon &= \Delta L/L_o = (L - L_o)/L_o \\ \epsilon_U &= (L_u - L_o)/L_o \\ \epsilon_T &= \int_{L_o}^L dL/L = \ln L/L_o \\ \%EI &= [(L - L_o)/L_o] \times 100 = \epsilon \times 100 \end{aligned}$$

Percent reduction of area (nominal) =  $[(A_o - A_u)/A_o] \times 100$

Percent reduction of area (true) =  $[(A_o - A_T)/A_o] \times 100$

Rate of loading =  $\Delta W/\Delta t$

Rate of stressing (nominal) =  $\Delta \sigma/\Delta t = (\Delta W)/A_o/\Delta t$

Rate of straining =  $\Delta \epsilon/\Delta t = (\Delta L/L_o)/\Delta t$

For the case where the volume of the test specimen does not change during the test, the following three relations hold:

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon) = \sigma L/L_o \quad (A2.2)$$

$$\sigma_{UT} = \sigma_U(1 + \epsilon_U) = \sigma_U L_u/L_o$$

$$A = A_o/(1 + \epsilon)$$

### SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to this test method. For the convenience of the user, Committee D20 has highlighted those changes that may impact the use of this test method. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

#### D 638 - 03:

- (1) Revised paragraphs 5.3, 10.1, 11.2, and 11.4 to reflect use of D 5947 and harmonization with ISO 527.
- (2) Revised 8.4.
- (3) Added new 10.3.1.1.
- (4) Renumbered old 10.3.1.1 to 10.3.1.2.
- (5) Added new Note 14.
- (6) Renumbered old 10.3.1.2 to 10.3.1.3.
- (7) Renumbered old 10.3.1.3 to 10.3.1.4.
- (8) Revised wording of new 10.3.1.4.
- (9) Renumbered old Note 14 to 15.
- (10) Revised 11.6.
- (11) Revised 11.6.1.
- (12) Added new 11.6.2.
- (13) Added new equation (3).
- (14) Renumbered old equation (3) to (4).
- (15) Revised 12.1.12.
- (16) Added new 12.1.13.
- (17) Add new Table 11.
- (18) Add new 13.1.2.
- (19) Renumbered old 13.1.2 through 13.1.2.8 to 13.1.3 through 13.1.3.8.
- (20) Added Poisson's ratio to 14.1 Keywords.

(21) Added new A2.11.

(22) Renumbered A2.11 through A2.24 to A2.12 through A2.25.

#### D 638 - 02a:

(1) Added 5.1.7.

(2) Added new text from 11.3 to 11.3.2.1.

(3) Revised 12.1.11.

(4) Added A2.16.1.

#### D 638 - 02:

(1) Revised 9.1 and 9.2.

#### D 638 - 01:

(1) Modified 7.3 regarding conditions for specimen discard.

#### D 638 - 00:

(1) Added 11.1 and renumbered subsequent sections.

#### D 638 - 99:

(1) Added and clarified extensometer classification requirements.

#### D 638 - 98:

(1) Revised 10.3 and added 12.1.8 to clarify extensometer usage.

(2) Added 12.1.15.

(3) Replaced reference to Test Methods D 374 with Test Method D 5947 in 2.1 and 5.3.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*





# Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 4833; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This test method is used to measure the index puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related products.

1.2 The use of Test Method D 4833 may be inappropriate for testing some woven geotextiles or related products which have large openings (Note 1).

NOTE 1—Geonets and geogrids cannot be tested using this test method.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values provided in inch-pound units are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles<sup>2</sup>

D 123 Terminology Relating to Textiles<sup>2</sup>

D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing<sup>2</sup>

D 2905 Practice for Statements on Number of Specimens for Textiles<sup>3</sup>

D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing<sup>3</sup>

D 4439 Terminology for Geosynthetics<sup>3</sup>

## 3. Terminology

### 3.1 Definitions:

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n*—air maintained at a relative humidity of  $65 \pm 5\%$  and a temperature of  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $70 \pm 4^\circ\text{F}$ ).

3.1.2 *geomembrane, n*—very low permeability synthetic membrane liners or barriers used with any geotechnical engineering related material so as to control fluid migration in a

man-made project, structure, or system.

3.1.3 *geotextile, n*—any permeable textile used with foundations, soil, rock, earth, or any other geotechnical material as an integral part of man-made project, structure, or system.

3.1.4 *index test, n*—a test procedure which may contain a known bias but which may be used to establish an order for a set of specimens with respect to the property of interest.

3.1.5 *puncture resistance, (F), n*—the inherent resisting mechanism of the test specimen to the failure by a penetrating or puncturing object.

3.2 For definitions of other textile terms used in this standard, refer to Terminology D 123.

3.3 For definitions of other terms relating to geotextiles used in this standard, refer to Terminology D 4439.

## 4. Summary of Test Method

4.1 A test specimen is clamped without tension between circular plates of a ring clamp attachment secured in a tensile testing machine. A force is exerted against the center of the unsupported portion of the test specimen by a solid steel rod attached to the load indicator until rupture of the specimen occurs. The maximum force recorded is the value of puncture resistance of the specimen.

## 5. Significance and Use

5.1 This test method is an index test for determining the puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related products. The use of this test method is to establish an index value by providing standard criteria and a basis for uniform reporting.

5.2 This test method is considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments of geotextiles, geomembranes, and related materials since the test method has been used extensively in the trade for acceptance testing.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and that are from a lot material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved Feb. 10, 2000. Published May 2000. Originally published as D4833-88. Last previous edition D4833-88(96)<sup>\epsilon</sup>1.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.09.

laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student's *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before the testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

## 6. Apparatus

6.1 *Tensile/Compression Testing Machine*, of the constant-rate-of extension (CRE) type, with autographic recorder conforming to the requirements of Specification D 76. See Fig. 1.

6.2 *Ring Clamp Attachment*, consisting of concentric plates with an open internal diameter of  $45 \pm 0.025$  mm ( $1.772 \pm 0.001$  in.), capable of clamping the test specimen without slippage. A suggested clamping arrangement is shown in Fig. 1 and Fig. 2. The external diameter is suggested to be  $100 \pm 0.025$  mm ( $3.937 \pm 0.001$  in.). The diameter of the six holes

used for securing the ring clamp assembly is suggested to be 8 mm (0.135 in.) and equally spaced at a radius of 37 mm (2.95 in.). The surfaces of these plates can consist of grooves with O-rings or coarse sandpaper bonded onto opposing surfaces.

6.3 *Solid Steel Rod*, with a diameter of  $8 \pm 0.1$  mm ( $0.315 \pm 0.004$  in.) having a flat end with a  $45^\circ = 0.8$  mm (0.315 in.) chamfered edge contacting the test specimen's surface. See Fig. 1 and Fig. 3.

## 7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—Divide the product into lots and take the lot sample as directed in Practice D 4354.

7.2 *Laboratory Sample*—For the laboratory sample take a swatch extending the full width of the geotextile, of sufficient length along the selvage from each sample roll so that the requirements of 7.3 and 8.1 can be met. Take a sample that will exclude material from the outer wrap and inner wrap around the core unless the sample is taken at the production site, then

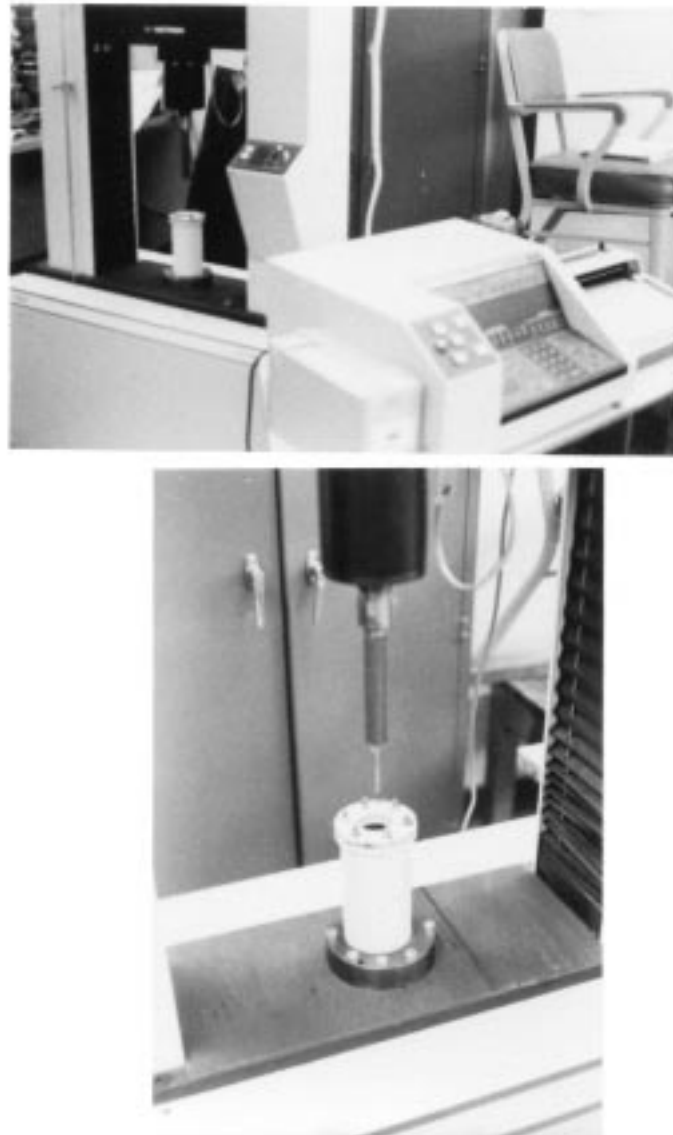


FIG. 1 Photographs of Test Setup and Fixture

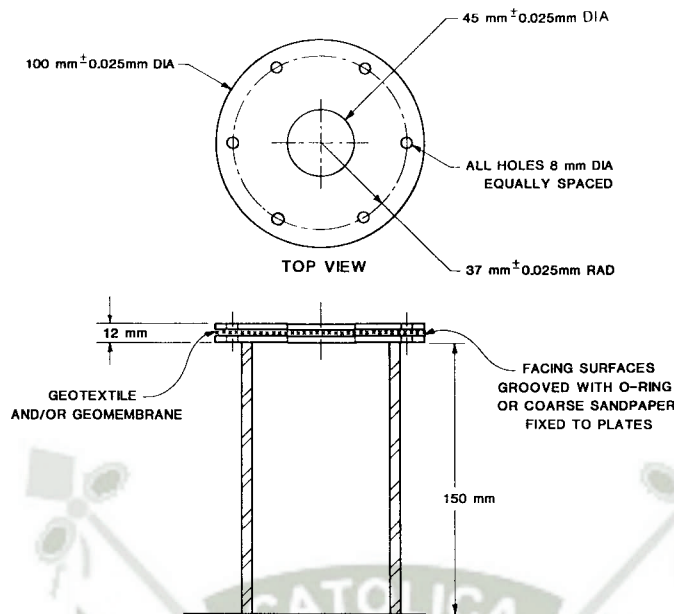


FIG. 2 Test Fixture Detail (Not to Scale)

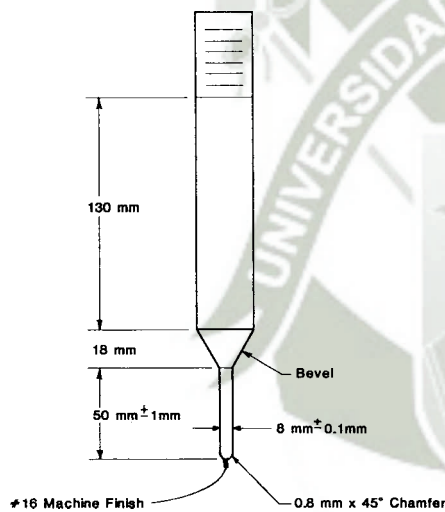


FIG. 3 Test Probe Detail (Not to Scale)

- $n$  = number of specimens (rounded upward to a whole number),
- $v$  = reliable estimate of the coefficient of variation for individual observations on similar materials in the user's laboratory under conditions of single-operator precision,
- $t$  = value of Student's test for two-sided limits, (see Table 1) a 95 % probability level, and the degrees of freedom associated with the estimate of  $v$ , and
- $A$  = 6 % of the average, the value of the allowable variable.

8.2 *No Reliable Estimate of  $v$* —When there is no reliable estimate of  $v$  in the user's laboratory, specify the fixed number of 15 specimens per swatch in the laboratory sample. This number of specimens is calculated using  $v = 10\%$  of the average, which is a somewhat larger value of  $v$  than is usually found in practice. When a reliable estimate of  $v$  for the user's laboratory becomes available, Eq 1 will usually require fewer than 15 specimens per swatch in the laboratory sample.

inner and outer wrap material may be used.

7.3 *Test Specimens*—Select from the laboratory sample the number of specimens directed in Section 8. Minimum specimen diameter is 100 mm (4 in.) to facilitate clamping. Space the specimens along a diagonal on the unit of the laboratory sample. Take no specimens nearer the selvage or edge of the geotextile sample than  $1/10$  the width of the geotextile sample.

## 8. Number of Specimens

8.1 *Reliable Estimate of  $v$* —When there is a reliable estimate of  $v$  based on extensive past records for similar materials tested in the user's laboratory, calculate the number of specimens per unit in the laboratory sample using Eq 1:

$$n = (tv/a)^2 = (tv)^2/36 \quad (1)$$

where:

TABLE 1 Values of Student's  $t$  for One-Sided Limits and the 95 % Probability<sup>A</sup>

df	One-Sided	df	One-sided	df	One-Sided
1	6.314	11	1.796	22	1.717
2	2.920	12	1.782	23	1.711
3	2.353	13	1.771	26	1.706
4	2.123	14	1.761	28	1.701
5	2.015	15	1.753	30	1.697
6	1.943	16	1.746	40	1.684
7	1.895	17	1.740	50	1.676
8	1.860	18	1.734	60	1.671
9	1.833	19	1.729	120	1.658
10	1.812	20	1.725		

<sup>A</sup> Values in this table were calculated using Hewlett Packard HP 67/97 Users' Library Program 03848D, "One-Sided and Two-Sided Critical Values of Student's  $t$ " and 00305D, "Improved Normal and Inverse Distribution." For values at other than the 95 % probability level, see published tables of critical values of Student's  $t$  in any standard statistical text. Further use of this table is defined in Practice D 2905.

## 9. Conditioning

9.1 Bring the specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles (3.1). Equilibrium is considered to have been reached when the increase in the mass of the specimen, in successive weighings made at intervals of not less than 2 h, does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen. In general, most geotextiles, geomembranes, and related products contain more moisture when received than they will after reaching moisture equilibrium.

NOTE 2—It is recognized that in practice, geotextile materials are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a method cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may contain more moisture upon receipt than after conditioning. When this is known, a preconditioning cycle, as described in Practice D 1776, may be agreed upon by the contractual parties for routine testing.

## 10. Procedure

10.1 Select the load range of the tensile/compression testing machine such that the rupture occurs between 10 and 90 % of the full-scale load.

10.2 Center and secure the specimen between the holding plates ensuring that the test specimen extends to or beyond the outer edges of the clamping plates.

10.3 Test at a machine speed of  $300 \pm 10$  mm (12 in.  $\pm$  1/2 in.)/min until the puncture rod completely ruptures the test specimen.

NOTE 3—The rate of testing specified is not an indication of the performance of the specimen for its end use.

10.4 Read the puncture resistance from the greatest force registered on the recording instrument during the test. For the testing of composite geotextile or composite geomembrane materials, there may be a double peak. If so, the initial value

should be reported even if the second peak is higher than the first one.

10.5 For geotextile testing, if the yarns fail to break due to the slippage of the specimen from the ring clamp or if the probe slips between the yarns without causing yarn breakage, discard the result and test another specimen.

## 11. Calculation

11.1 Calculate the average puncture resistance and standard deviation for all tests as read directly from the recording instrument.

## 12. Report

12.1 State that the specimens were treated as directed in Test Method D 4833.

12.2 Report on the following information:

12.2.1 The method of holding the test specimen in the clamping device.

12.2.2 The average puncture resistance of the specimens tested.

12.2.3 The coefficient of variation (if known) and standard deviation for each group of specimens.

12.2.4 The variation, if any, from the described test method.

## 13. Precision and Bias

13.1 *Precision*—The precision of the procedure in this test method for measuring the puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related materials is being established.

13.2 *Bias*—The procedure in this test method for measuring the puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related materials has no bias because the value of that property can be defined only in terms of a test method.

## 14. Keywords

14.1 geomembranes; geotextiles; puncture; puncture resistance

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



Designation: D 4632 – 08

## Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 4632; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This test method is an index test which provides a procedure for determining the breaking load (grab strength) and elongation (grab elongation) of geotextiles using the grab method. This test method is not suitable for knitted fabrics and alternate test methods should be used. While useful for quality control and acceptance testing for a specific fabric structure, the results can only be used comparatively between fabrics with very similar structures, because each different fabric structure performs in a unique and characteristic manner in this test. The grab test methods does not provide all the information needed for all design applications and other test methods should be used.

1.2 Procedures for measuring the breaking load and elongation by the grab method in both the dry and wet state are included; however, testing is normally done in the dry condition unless specified otherwise in an agreement or specification.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values stated in inch-pound units are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

- D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles
- D 123 Terminology Relating to Textiles
- D 1776 Practice for Conditioning and Testing Textiles

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved July 1, 2008. Published May 1991. Originally approved in 1991. Last previous edition approved in 2003 as D 4632–91(2003).

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

D 2905 Practice for Statements on Number of Specimens for Textiles

D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing

D 4439 Terminology for Geosynthetics

### 3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n*—air maintained at a relative humidity of  $65 \pm 5\%$  relative humidity and temperature of  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $70 \pm 4^\circ\text{F}$ ).

3.1.2 *breaking load, n*—the maximum force applied to a specimen in a tensile test carried to rupture.

3.1.3 *cross-machine direction, n*—the direction in the plane of the fabric perpendicular to the direction of manufacture.

3.1.4 *elongation at break, n*—the elongation corresponding to the breaking load, that is, the maximum load.

3.1.5 *geotextile, n*—any permeable textile material used with foundation, soil, rock, earth, or any other geotechnical material, as an integral part of a man-made product, structure, or system.

3.1.6 *grab test, n*—*in fabric testing*, a tension test in which only a part of the width of the specimen is gripped in the clamps.

3.1.6.1 *Discussion*—For example, if the specimen width is 101.6 mm (4 in.) and the width of the jaw faces 25.4 mm (1 in.), the specimen is gripped centrally in the clamps.

3.1.7 *machine direction, n*—the direction in the plane of the fabric parallel to the direction of manufacture.

3.1.8 For definitions of other terms used in this test method, refer to Terminology D 123 or Terminology D 4439.

### 4. Summary of Test Method

4.1 A continually increasing load is applied longitudinally to the specimen and the test is carried to rupture. Values for the breaking load and elongation of the test specimen are obtained from machine scales or dials, autographic recording charts, or interfaced computers.

### 5. Significance and Use

5.1 The grab method is applicable whenever it is desired to determine the "effective strength" of the fabric in use, that is, the strength of the material in a specific width, together with

 D 4632 – 08

the additional strength contributed by adjacent material. There is no simple relationship between grab tests and strip tests since the amount of fabric assistance depends on the construction of the fabric. It is useful as a quality control or acceptance test.

5.2 The procedure in Test Method D 4632 for the determination of grab strength of geotextiles may be used for acceptance testing of commercial shipments, but caution is advised since information about between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests as directed in 5.2.1 are advisable.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using the procedures in Test Method D 4632 for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the manufacturer should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using the appropriate Student's *t*-test and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the manufacturer must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

5.3 Most geotextile fabrics can be tested by this test method. Some modification of clamping techniques may be necessary for a given fabric, depending upon its structure. Special adaptation may be necessary with strong fabrics, or fabrics made from glass fibers, to prevent them from slipping in the clamps or being damaged as a result of being gripped in the clamps, such as cushioning the clamp or boarding the specimen within the clamp.

5.4 This test method is applicable for testing fabrics either dry or wet. It may be used with constant-rate-of-traverse (CRT) or constant-rate-of-extension (CRE) type tension machines. However, there may be no overall correlation between the results obtained with the CRT machine and the CRE machine. Consequently, these two tension testers cannot be used interchangeably. In case of controversy, the CRE machine shall prevail.

## 6. Apparatus

6.1 *Tensile Testing Machine*, of the constant-rate-of-extension (CRE) or constant-rate-of-traverse (CRT) type with autographic recorder conforming to the requirements of Specification D 76.

6.2 *Clamps*, having all gripping surfaces parallel, flat, and capable of preventing slipping of the specimen during a test. Each clamp shall have one jaw face measuring 25.4 by 50.8 mm (1 by 2 in.), with the longer dimension parallel to the direction of application of the load. The other jaw face of each clamp shall be at least as large as its mate. Each jaw face shall be in line, both with respect to its mate in the same clamp and to the corresponding jaw of the other clamp.

## 7. Sampling and Selection

7.1 *Division into Lots and Lot Samples*—Divide the material into lots and take a lot sample as directed in Practice D 4354. Rolls of fabric are the primary sampling unit.

7.2 *Laboratory Sample*—Take for the laboratory sample a swatch extending the width of the fabric and approximately 1 m (39.37 in.) along the selvage from each roll in the lot sample. The swatch may be taken from the end portion of a roll provided there is no evidence that it is distorted or different from other portions of the roll. In cases of dispute, take a swatch that will exclude fabric from the outer wrap of the roll or the inner wrap around the core.

7.3 *Test Specimens*—Cut the number of specimens from each swatch in the laboratory sample determined as directed in Section 8. Take no specimens nearer the selvage of fabric edge than 1/20 of the fabric width or 150 mm (6 in.), whichever is the smaller. Cut rectangular specimens 101.6 by 203.2 mm (4 by 8 in.). Cut the specimens to be used for grab tests in the machine direction with the longer dimension parallel to the machine direction and the specimens to be used for grab tests in the cross-machine direction with the longer dimension parallel to the cross-machine direction. Locate each group of specimens along a diagonal line on the swatch so that each specimen will contain different warp ends and filling picks. Draw a line 37 mm (1.5 in.) from the edge of the specimen running its full length. For woven and reinforced nonwoven fabrics, this line must be accurately parallel to the lengthwise yarns in the specimen.

## 8. Number of Specimens

8.1 Unless otherwise agreed upon as when provided in an applicable material specification, take a number of test specimens per swatch in the laboratory sample such that the user may expect at the 95 % probability level that the test result is no more than 5 % above the true average for each swatch in the laboratory sample for each the machine and cross-machine direction, respectively.

8.1.1 *Reliable Estimate of  $v$* —When there is a reliable estimate of  $v$  based upon extensive past records for similar materials tested in the user's laboratory as directed in the method, calculate the required number of specimens using Eq 1, as follows:

$$n = (tv/A)^2 \quad (1)$$

where:

- $n$  = number of test specimens (rounded upward to a whole number),
- $v$  = reliable estimate of the coefficient of variation of individual observations on similar materials in the user's laboratory under conditions of single-operator precision, %,
- $t$  = the value of Student's *t* for one-sided limits (see Table 1), a 95 % probability level, and the degrees of freedom associated with the estimate of  $v$ , and
- $A$  = 5.0 % of the average, the value of the allowable variation.

8.1.2 *No Reliable Estimate of  $v$* —When there is no reliable estimate of  $v$  for the user's laboratory, Eq 1 should not be used

 D 4632 – 08

**TABLE 1 Values of Student's *t* for One-Sided Limits and the 95 % Probability<sup>a</sup>**

df	One-Sided	df	One-Sided	df	One-sided
1	6.314	11	1.796	22	1.717
2	2.920	12	1.782	24	1.711
3	2.353	13	1.771	26	1.706
4	2.132	14	1.761	28	1.701
5	2.015	15	1.753	30	1.697
6	1.943	16	1.746	40	1.684
7	1.895	17	1.740	50	1.676
8	1.860	18	1.734	60	1.671
9	1.833	19	1.729	120	1.658
10	1.812	20	1.725		1.645

<sup>a</sup>Values in this table were calculated using Hewlett Packard HP 67/97 Users' Library Programs 03848D, "One-Sided and Two-Sided Critical Values of Student's *t*" and 00350D, "Improved Normal and Inverse Distribution." For values at other than the 95 % probability level, see published tables of critical values of Student's *t* in any standard statistical text. Further use of this table is defined in Practice D 2905.

directly. Instead, specify the fixed number of 10 specimens for the machine direction tests and 10 specimens for the cross-machine direction tests. The number of specimens is calculated using  $v = 9.5$  % of the average for both machine direction and cross-machine direction. These values for  $v$  are somewhat larger than usually found in practice. When a reliable estimate of  $v$  for the user's laboratory becomes available, Eq 1 will usually require fewer than the fixed number of specimens.

**9. Conditioning**

9.1 Bring the specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles. Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the specimen in successive weighings made at intervals of not less than 2 h does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen. In general practice, the industry approaches equilibrium from the "as received" side.

NOTE 1—It is recognized that in practice geotextile materials are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a procedure cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for testing for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may exhibit slow moisture equilization rates from the "as received" wet side. When this is known, a preconditioning cycle, as described in Practice D 1776, may be agreed upon between contractual parties.

9.2 Specimens to be tested in the wet condition shall be immersed in water maintained at a temperature of  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $70 \pm 4^\circ\text{F}$ ). The time of immersion must be sufficient to wet-out the specimens thoroughly, as indicated by no significant change in strength or elongation following a longer period of immersion, and at least 2 min. To obtain thorough wetting, it may be necessary or advisable to add not more than 0.05 % of a nonionic neutral wetting agent to the water.

**10. Procedure**

10.1 Test the conditioned specimens in the standard atmosphere for testing in accordance with Section 9.

10.2 Set the distance between the clamps at the start of the test at  $75 \pm 1$  mm ( $3 \pm 0.05$  in.). Select the load range of the

testing machine such that the maximum load occurs between 10 and 90 % of full-scale load. Set the machine to operate at a speed of  $300 \pm 10$  mm/min ( $12 \pm 0.5$  in./min).

10.3 Secure the specimen in the clamps of the testing machine, taking care that the long dimension is as nearly as possible parallel to the direction of application of the load. Be sure that the tension in the specimen is uniform across the clamped width. Insert the specimen in the clamps so that approximately the same length of fabric extends beyond the jaw at each end. Locate the jaws centrally in the widthwise direction by having the line which was drawn 37 mm (1.5 in.) from the edge of the specimen run adjacent to the side of the upper and lower front jaws which are nearest this edge. This ensures that the same lengthwise yarns are gripped in both clamps.

10.4 If a specimen slips in the jaws, breaks at the edge of or in the jaws, or if for any reason attributed to a faulty operation the result falls markedly below the average for the set of specimens, discard the result and take another specimen. Continue this procedure until the required number of acceptable breaks have been obtained.

NOTE 2—The decision to discard a break shall be based on observation of the specimen during the test and upon the inherent variability of the fabric. In the absence of other criteria for rejecting a so-called jaw break, any break occurring within 5 mm ( $\frac{1}{4}$  in.) of the jaws which results in a value below 80 % of the average of all the other breaks shall be discarded. No other break shall be discarded unless it is known to be faulty.

NOTE 3—It is difficult to determine the precise reason for breakage of test specimens near the edge of the jaws. If breaks are caused by damage to the specimen by the jaws, then the results should be discarded. If, however, they are merely due to randomly distributed weak places in specimens, the results should be considered perfectly legitimate. In some cases, breaks may be caused by a concentration of stress in the area adjacent to the jaws. If this occurs, the specimen is prevented from contracting in width as the load is applied. In such cases, a break near the edge of the jaws is inevitable and shall be accepted as a characteristic of the geotextile when tested by this test method.

10.5 Start the tensile testing machine and the area measuring device, if used, and continue running the test to rupture. Stop the machine and reset to the initial gage position. Record and report the test results for each direction separately.

10.6 If fabric manifests slippage in the jaws, the jaw faces, but not the jaw dimensions, may be modified. If a modification is used, the method of modification should be stated in the report.

10.7 If a measure of the elongation of the specimen is required, the initial length and therefore the measured elongation depend upon the pretension applied in placing the specimen in the clamps of the machine. In this case, secure the specimen in one clamp of the machine and apply a pretension to the specimen of approximately  $\frac{1}{2}$  % of the breaking load, or other initial load specified for the particular material in question, before gripping the specimen in the other clamp.

10.8 Unless otherwise specified, measure the elongation of the fabric at any stated load by means of a suitable autographic recording device, at the same time the breaking strength is determined. Measure the elongation from the point where the curve leaves the zero loading axis established after preload is applied, to a point of corresponding force in millimetres (inches).

 D 4632 – 08

**11. Calculation**

11.1 *Breaking Load*—Calculate the breaking load by averaging the value of breaking load for all accepted specimen results. The breaking load shall be determined separately for the machine direction specimens and cross-machine direction specimens.

11.2 *Apparent Elongation*—Calculate the apparent elongation at the breaking load or at other specified loads by averaging the values of apparent elongation for all accepted specimen results. The apparent elongation shall be determined separately for the machine direction specimens and cross-machine direction specimens and expressed as the percentage increase in length, based upon the initial nominal gage length of the specimen. Report this as the apparent elongation.

*Note 4*—The observed elongation calculated as a percentage of the initial nominal gage length of the specimen should be referred to as “apparent elongation.” Because the actual length of fabric stretched is usually somewhat greater than this initial length due to pull-out of fabric from between the jaws, elongation calculated on initial length may be somewhat in error, depending upon the amount of this pull-out.

**12. Report**

12.1 Report the following:

12.1.1 State that the tests were performed as directed in Test Method D 4632. Describe the material(s) or product(s) sampled and the method of sampling used.

12.1.2 The average grab breaking load for specimens cut in each direction, for all specimens giving acceptable breaks.

12.1.3 The average grab percent apparent elongation of specimens cut in each direction, for all specimens giving acceptable breaks, if required. Identify this as “apparent breaking elongation,” or “apparent elongation at x lb load,” as required by the test specifications.

12.1.4 Number of specimens tested in each direction.

12.1.5 Condition of specimens (wet or dry).

12.1.6 Type of testing machine used.

12.1.7 Maximum load obtainable in the range used for testing.

12.1.8 Type of padding used in jaws, modification of specimen gripped in the jaws, or modification of jaw faces, if used.

12.1.9 Any modifications of sample specimens as manufactured, or test method as described.

**13. Precision and Bias**

13.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Method D 4632 is being established.

13.2 *Bias*—The procedure in Test Method D 4632 for measuring the breaking load and elongation by the grab test method has no bias because the value of the breaking load and elongation can be defined only in terms of a test method.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



**SAP2000**<sup>®</sup>  
License #



**SAP2000 Analysis Report**

Prepared by  
**Home**

**Model Name: Geotextil.SDB**

**18 Marzo de 2015**

## Contents

<a href="#">1. Model geometry</a> .....	4
<a href="#">1.1. Joint coordinates</a> .....	4
<a href="#">1.2. Element connectivity</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">2. Material properties</a> .....	5
<a href="#">3. Section properties</a> .....	6
<a href="#">3.1. Areas</a> .....	6
<a href="#">4. Load patterns</a> .....	6
<a href="#">4.1. Definitions</a> .....	6
<a href="#">5. Load cases</a> .....	7
<a href="#">5.1. Definitions</a> .....	7
<a href="#">5.2. Static case load assignments</a> .....	7
<a href="#">5.3. Response spectrum case load assignments</a> .....	7
<a href="#">6. Load combinations</a> .....	8
<a href="#">7. Structure results</a> .....	9
<a href="#">7.1. Mass summary</a> .....	9
<a href="#">7.2. Base reactions</a> .....	10
<a href="#">8. Joint results</a> .....	10
<a href="#">9. Area results</a> .....	11
<a href="#">10. Material take-off</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">11. Design preferences</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">11.1. Steel design</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">11.2. Concrete design</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">11.3. Aluminum design</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">11.4. Cold formed design</a> .....	¡Error! Marcador no definido.

## List of Figures

<a href="#">Figure 1: Finite element model</a> .....	4
<a href="#">Figure 2: Deformed shape</a> .....	9

## List of Tables

<a href="#">Table 1: Joint Coordinates, Part 1 of 2</a> .....	4
<a href="#">Table 1: Joint Coordinates, Part 2 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 2: Connectivity - Area, Part 1 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 2: Connectivity - Area, Part 2 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 3: Area Section Assignments</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 4: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties</a> .....	5
<a href="#">Table 5: Material Properties 03a - Steel Data, Part 1 of 2</a> .....	5
<a href="#">Table 5: Material Properties 03a - Steel Data, Part 2 of 2</a> .....	5
<a href="#">Table 6: Material Properties 03b - Concrete Data, Part 1 of 2</a> .....	5
<a href="#">Table 6: Material Properties 03b - Concrete Data, Part 2 of 2</a> .....	5
<a href="#">Table 7: Area Section Properties, Part 1 of 4</a> .....	6
<a href="#">Table 7: Area Section Properties, Part 2 of 4</a> .....	6
<a href="#">Table 7: Area Section Properties, Part 3 of 4</a> .....	6
<a href="#">Table 7: Area Section Properties, Part 4 of 4</a> .....	6
<a href="#">Table 8: Load Pattern Definitions</a> .....	6
<a href="#">Table 9: Load Case Definitions, Part 1 of 2</a> .....	7
<a href="#">Table 9: Load Case Definitions, Part 2 of 2</a> .....	7
<a href="#">Table 10: Case - Static 1 - Load Assignments</a> .....	7
<a href="#">Table 11: Function - Response Spectrum - User</a> .....	8
<a href="#">Table 12: Combination Definitions, Part 1 of 3</a> .....	8
<a href="#">Table 12: Combination Definitions, Part 2 of 3</a> .....	8
<a href="#">Table 12: Combination Definitions, Part 3 of 3</a> .....	8

<a href="#">Table 13: Assembled Joint Masses</a> .....	9
<a href="#">Table 14: Base Reactions, Part 1 of 3</a> .....	10
<a href="#">Table 14: Base Reactions, Part 2 of 3</a> .....	10
<a href="#">Table 14: Base Reactions, Part 3 of 3</a> .....	10
<a href="#">Table 15: Joint Displacements</a> .....	10
<a href="#">Table 16: Joint Reactions</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 17: Element Forces - Area Shells, Part 1 of 4</a> .....	11
<a href="#">Table 17: Element Forces - Area Shells, Part 2 of 4</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 17: Element Forces - Area Shells, Part 3 of 4</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 17: Element Forces - Area Shells, Part 4 of 4</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 18: Element Stresses - Area Shells, Part 1 of 4</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 18: Element Stresses - Area Shells, Part 2 of 4</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 18: Element Stresses - Area Shells, Part 3 of 4</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 18: Element Stresses - Area Shells, Part 4 of 4</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 19: Material List 2 - By Section Property</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 20: Preferences - Steel Design - AISC-LRFD93, Part 1 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 20: Preferences - Steel Design - AISC-LRFD93, Part 2 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 21: Preferences - Concrete Design - ACI 318-05/IBC2003, Part 1 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 21: Preferences - Concrete Design - ACI 318-05/IBC2003, Part 2 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 22: Preferences - Aluminum Design - AA-ASD 2000</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 23: Preferences - Cold Formed Design - AISI-ASD96, Part 1 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.
<a href="#">Table 23: Preferences - Cold Formed Design - AISI-ASD96, Part 2 of 2</a> .....	¡Error! Marcador no definido.



# 1. Modelo Geométrico

Esta sección proporciona información geometría del modelo, incluyendo elementos tales como ejes de coordenadas, sujeciones y conectividad elemento.

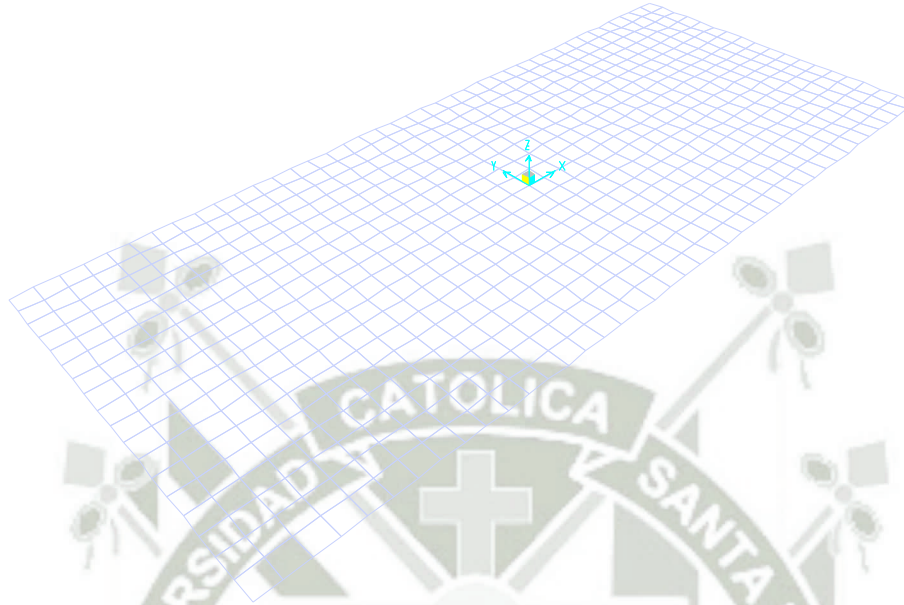


Figure 1: Modelo de elemento finito

## 1.1. Eje de coordenadas

Tabla 1: Eje de coordenadas, Parte 1 de 2

Table 1: Joint Coordinates, Part 1 of 2

punto	Sistema de coordenada	Tipo de coordenada	X o R	Y	Z	SpecialJt	GlobalX
			m	m	m		
1	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.90000	0.00000	No	-2.00000
2	GLOBAL	Cartesiano	2.00000	-0.90000	0.00000	No	2.00000
3	GLOBAL	Cartesiano	2.00000	0.90000	0.00000	No	2.00000
4	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	0.90000	0.00000	No	-2.00000
5	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.90000	0.00000	No	-1.90000
6	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.80000	0.00000	No	-1.90000
7	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.80000	0.00000	No	-2.00000
8	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.70000	0.00000	No	-1.90000
9	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.70000	0.00000	No	-2.00000
10	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.60000	0.00000	No	-1.90000
11	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.60000	0.00000	No	-2.00000
12	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.50000	0.00000	No	-1.90000
13	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.50000	0.00000	No	-2.00000
14	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.40000	0.00000	No	-1.90000
15	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.40000	0.00000	No	-2.00000
16	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.30000	0.00000	No	-1.90000
17	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.30000	0.00000	No	-2.00000
18	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.20000	0.00000	No	-1.90000
19	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.20000	0.00000	No	-2.00000
20	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	-0.10000	0.00000	No	-1.90000
21	GLOBAL	Cartesiano	-2.00000	-0.10000	0.00000	No	-2.00000

Table 1: Joint Coordinates, Part 1 of 2

punto	Sistema de coordenada	Tipo de coordenada	X o R	Y	Z	SpecialJt	GlobalX
			m	m	m		m
22	GLOBAL	Cartesiano	-1.90000	0.00000	0.00000	No	-1.90000

## 2. Propiedades del material

Esta sección provee información de las propiedades del material usado en el modelo

Tabla 4: Propiedades del material 02 – Propiedades Mecánicas basicas

Table 4: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties

Material	Unidad de peso KN/m3	Unidad de masa KN-s2/m4	E1 KN/m2	G12 KN/m2	U12	A1 1/C
4000Psi	2.3563E+01	2.4028E+00	24855578.28	10356490.95	0.200000	9.9000E-06
A992Fy50	7.6973E+01	7.8490E+00	199947978.8	76903068.77	0.300000	1.1700E-05
Geotextil	1.9613E-03	2.0000E-04	23000.00	8214.29	0.400000	0.0000E+00

Tabla 5: Propiedades del material 03a – Datos del acero, Part 1 of 2

Table 5: Material Properties 03a - Steel Data, Part 1 of 2

Material	Fy KN/m2	Fu KN/m2	EffFy KN/m2	EffFu KN/m2	SSCurveOpt	SSHysType	SHard	SMax
A992Fy50	344737.89	448159.26	379211.68	492975.19	Simple	Kinematic	0.015000	0.110000

Tabla 5: Propiedades del material 03a – Datos del acero, Part 2 of 2

Table 5: Material Properties 03a - Steel Data, Part 2 of 2

Material	SRup	FinalSlope
A992Fy50	0.170000	-0.100000

Tabla 6: Propiedades del material 03b – Datos del concreto, Part 1 of 2

Table 6: Material Properties 03b - Concrete Data, Part 1 of 2

Material	Fc KN/m2	LtWtConc	SSCurveOpt	SSHysType	SFc	SCap	FinalSlope	FAngle Degrees
4000Psi	27579.03	No	Mander	Takeda	0.002219	0.005000	-0.100000	0.000

Tabla 6: Material Properties 03b - Concrete Data, Part 2 of 2

Table 6: Material Properties 03b - Concrete Data, Part 2 of 2

Material	DAngle Degrees
4000Psi	0.000

### 3. Propiedades de sección

Esta sección provee información de las propiedades de sección para objetos usados en el modelo

#### 3.1. Áreas

**Tabla 7: Propiedades de área de sección, Parte 1 de 4**

Table 7: Area Section Properties, Part 1 of 4

Sección	Material	MatAngle Degrees	AreaType	Type	DrillDOF	Thickness m	BendThick m	Arc Degrees
ASEC1	Geotextil	0.000	Shell	Shell-Thin	Yes	0.001600	0.001600	
Geotextil	Geotextil	0.000	Shell	Shell-Thin	Yes	0.001600	0.001600	

**Tabla 7: Propiedades de área de sección, Parte 2 de 4**

Table 7: Area Section Properties, Part 2 of 4

Sección	InComp	CoordSys	Color	TotalWt KN	TotalMass KN-s2/m	F11Mod	F22Mod
ASEC1			Green	0.000	0.00	1.000000	1.000000
Geotextil			Green	2.259E-05	2.304E-06	1.000000	1.000000

**Tabla 7: Propiedades de área de sección, Parte 3 de 4**

Table 7: Area Section Properties, Part 3 of 4

Sección	F12Mod	M11Mod	M22Mod	M12Mod	V13Mod	V23Mod	MMod	WMod
ASEC1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
Geotextil	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000

**Tabla 7: Propiedades de area de sección, Parte 4 de 4**

Table 7: Area Section Properties, Part 4 of 4

Section	GUID	Notes
ASEC1		Added 17/01/2015 09:01:27 p.m.
Geotextil		Added 17/01/2015 09:01:51 p.m.

### 4. Patrones de carga

This section provides loading information as applied to the model.

Esta sección provee la información de carga tal como se aplicó en el modelo

#### 4.1. Definiciones

**Tabla 8: Definiciones de patrones de carga**

Table 8: Load Pattern Definitions

Patrones de carga	Tipo de diseño	SelfWtMult	AutoLoad	GUID	Notes
DEAD	DEAD	1.000000			
TIERRA	DEAD	0.000000			

Table 8: Load Pattern Definitions

Patrones de carga	Tipo de diseño	SelfWtMult	AutoLoad	GUID	Notes
CARRO	LIVE	0.000000			

## 5. Casos de carga

Esta sección proporciona la información de casos de carga

### 5.1. Definiciones

Tabla 9: Definiciones de casos de carga, Parte 1 de 2

Table 9: Load Case Definitions, Part 1 of 2

Case	Type	InitialCond	ModalCase	BaseCase	DesTypeOpt	DesignType	AutoType
DEAD	LinStatic	Zero			Prog Det	DEAD	None
MODAL	LinModal	Zero			Prog Det	OTHER	None
TIERRA	LinStatic	Zero			Prog Det	DEAD	None
CARRO	LinStatic	Zero			Prog Det	LIVE	None

Tabla 9: Definiciones de casos de carga, Parte 2 de 2

Table 9: Load Case Definitions, Part 2 of 2

Caso	RunCase	CaseStatus	GUID	Notes
DEAD	Yes	Finished		
MODAL	No	Not Run		
TIERRA	Yes	Finished		
CARRO	Yes	Finished		

### 5.2. Asignaciones de carga de casos estático

Tabla 10: Caso estático 1 - Load Assignments

Table 10: Case - Static 1 - Load Assignments

Case	LoadType	LoadName	LoadSF
DEAD	Load pattern	DEAD	1.000000
TIERRA	Load pattern	TIERRA	1.000000
CARRO	Load pattern	CARRO	1.000000

### 5.3. Espectro de respuesta asignaciones de caso de carga

### Tabla 11: Respuesta de espectro – función- usuario

Table 11: Function - Response Spectrum - User

Name	Period Sec	Accel	FuncDamp
UNIFRS	0.000000	1.000000	0.050000
UNIFRS	1.000000	1.000000	

## 6. Combinación de cargas

Esta sección provee información de la combinación de cargas.

### Tabla 12: Definición de combinación, Parte 1 de 3

Table 12: Combination Definitions, Part 1 of 3

ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor	SteelDesign
COMB1	Linear Add	No	Linear Static	CARRO	1.000000	No
COMB1			Linear Static	DEAD	1.000000	
COMB1			Linear Static	TIERRA	1.000000	

### Tabla 12: Definición de combinación, Part 2 de 3

Table 12: Combination Definitions, Part 2 of 3

ComboName	CaseName	ConcDesign	AlumDesign	ColdDesign	GUID
COMB1	CARRO	No	No	No	
COMB1	DEAD				
COMB1	TIERRA				

### Tabla 12: Definición de combinación, Part 3 of 3

Table 12: Combination Definitions, Part 3 of 3

ComboName	CaseName	Notes
COMB1	CARRO	
COMB1	DEAD	
COMB1	TIERRA	

## 7. Estructura resultados

Esta sección provee resultados de la estructura, incluyendo elemento tanto como periodos estructurales y reacciones base.

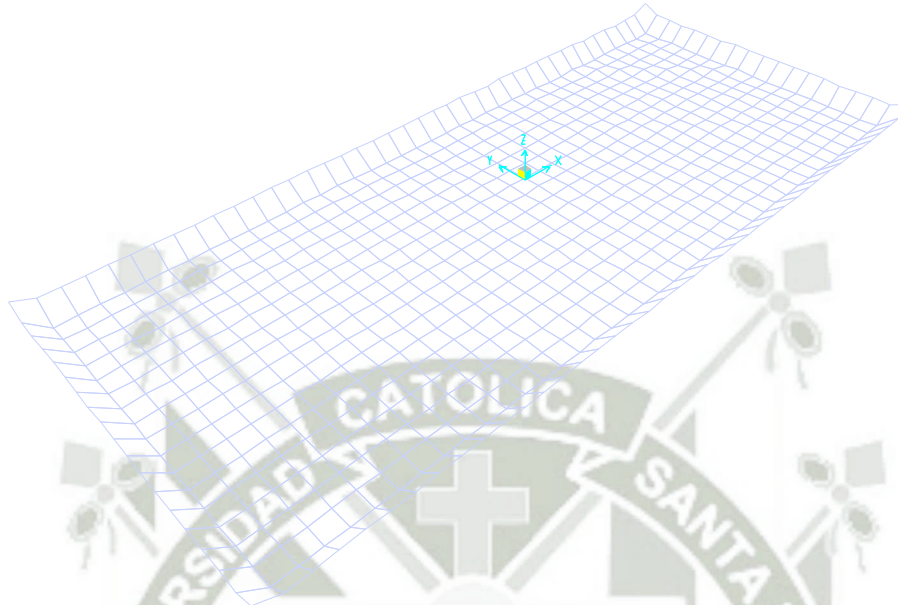


Figure 2: Cuerpo deformado

### 7.1. Sumatoria de masas

Table 13: Punto de ensamble de masas

Table 13: Punto de ensamble de masas

Punto	U1 KN-s2/m	U2 KN-s2/m	U3 KN-s2/m	R1 KN-m-s2	R2 KN-m-s2	R3 KN-m-s2
1	8.000E-10	8.000E-10	8.000E-10	0.0000	0.0000	0.0000
2	8.000E-10	8.000E-10	8.000E-10	0.0000	0.0000	0.0000
3	8.000E-10	8.000E-10	8.000E-10	0.0000	0.0000	0.0000
4	8.000E-10	8.000E-10	8.000E-10	0.0000	0.0000	0.0000
5	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
6	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
7	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
8	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
9	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
10	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
11	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
12	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
13	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
14	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
15	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
16	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
17	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
18	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
19	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
20	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000
21	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000
22	3.200E-09	3.200E-09	3.200E-09	0.0000	0.0000	0.0000

Table 13: Punto de ensamble de masas

Punto	U1 KN-s2/m	U2 KN-s2/m	U3 KN-s2/m	R1 KN-m-s2	R2 KN-m-s2	R3 KN-m-s2
23	1.600E-09	1.600E-09	1.600E-09	0.0000	0.0000	0.0000

## 7.2. Reacciones base

Tabla 14: Reacciones base, Parte 1 de 3

Tabla 14: Reacciones base, Parte 1 de 3

OutputCase	CaseType	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m
DEAD	LinStatic	0.000	0.000	2.259E-05	0.0000	0.0000	0.0000	0.00000
TIERRA	LinStatic	0.000	0.000	110.148	8.535E-16	1.443E-15	0.0000	0.00000
CARRO	LinStatic	0.000	0.000	19.613	6.561E-20	-1.196E-15	0.0000	0.00000

Tabla 14: Reacciones base, Parte 2 de 3

Tabla 14: Reacciones base, Parte 2 de 3

OutputCase	GlobalY m	GlobalZ m	XCentroidF X m	YCentroidF X m	ZCentroidF X m	XCentroidF Y m	YCentroidF Y m	ZCentroidF Y m
DEAD	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
TIERRA	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
CARRO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Tabla 14: Reacciones base, Parte 3 de 3

Tabla 14: Reacciones base, Parte 3 de 3

OutputCase	XCentroidF Z m	YCentroidF Z m	ZCentroidFZ Z m
DEAD	1.614E-16	8.274E-18	0.00000
TIERRA	-1.310E-17	7.748E-18	0.00000
CARRO	6.095E-17	0.00000	0.00000

## 8. Resultado conjunto

Esta sección provee resultados conjuntos, incluyendo elementos tanto de desplazamiento como reacción

Tabla 15: Desplazamiento conjunto

Tabla 15: Desplazamiento conjunto

Joint	OutputCase	CaseType	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	-1.569E-12	0.000000	2.753E-11	0.000000
1	TIERRA	LinStatic	0.000000	0.000000	-7.649E-06	0.000000	0.000134	0.000000
1	CARRO	LinStatic	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.174E-13	0.000000
2	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	-1.569E-12	0.000000	-2.753E-11	0.000000
2	TIERRA	LinStatic	0.000000	0.000000	-7.649E-06	0.000000	-0.000134	0.000000
2	CARRO	LinStatic	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-1.174E-13	0.000000
3	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	-1.569E-12	0.000000	-2.753E-11	0.000000
3	TIERRA	LinStatic	0.000000	0.000000	-7.649E-06	0.000000	-0.000134	0.000000
3	CARRO	LinStatic	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-1.174E-13	0.000000
4	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	-1.569E-12	0.000000	2.753E-11	0.000000
4	TIERRA	LinStatic	0.000000	0.000000	-7.649E-06	0.000000	0.000134	0.000000

Tabla 15: Desplazamiento conjunto

Joint	OutputCase	CaseType	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
4	CARRO	LinStatic	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.174E-13	0.000000
5	DEAD	LinStatic	0.000000	0.000000	-3.138E-12	0.000000	5.554E-12	0.000000
5	TIERRA	LinStatic	0.000000	0.000000	-0.000015	0.000000	0.000027	0.000000

## 9. Resultados de área

Esta sección provee resultados de área, incluyendo elementos tanto como fuerza y esfuerzos

Tabla 17: Elementos de área - Area Shells, Parte 1 de 4

Table 17: Element Forces - Area Shells, Part 1 of 4

Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	F11 KN/m	F22 KN/m	F12 KN/m
1	1	Shell-Thin	1	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	5	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	6	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	7	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	1	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	5	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	6	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	7	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	1	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	5	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	6	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
1	1	Shell-Thin	7	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	7	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	6	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	8	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	9	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	7	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	6	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	8	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	9	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	7	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	6	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	8	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
2	2	Shell-Thin	9	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	9	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	8	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	10	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	11	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	9	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	8	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	10	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	11	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	9	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	8	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	10	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
3	3	Shell-Thin	11	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	11	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	10	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	12	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	13	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	11	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	10	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	12	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	13	TIERRA	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	11	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00

Table 17: Element Forces - Area Shells, Part 1 of 4

Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	F11 KN/m	F22 KN/m	F12 KN/m
4	4	Shell-Thin	10	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	12	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
4	4	Shell-Thin	13	CARRO	LinStatic	0.00	0.00	0.00
5	5	Shell-Thin	13	DEAD	LinStatic	0.00	0.00	0.00

