

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“Resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

Bach. Edgar Jhony Llanos Chuquiruna
Bach. Nelson Alberto Llanos Chuquiruna

Asesor:

M. Cs. Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán

Cajamarca - Perú

2019



DEDICATORIA

A Dios, por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada paso que damos, para fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en el camino a aquellas personas que han ayudado y han sido nuestra compañía durante todo el periodo de estudio y por darnos fortaleza en los momentos más difíciles.

A nuestros padres por ser el pilar fundamental en todo lo que somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Finalmente, a nuestros maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración y culminación de dicha tesis.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestra familia por el apoyo brindado para culminar la carrera profesional.

A nuestro asesor, el Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán, por su paciencia y por haberme brindado horas de sus fines de semana para la culminación de mi tesis.

A las personas que colaboraron, cuyos aportes han sido muy relevantes para la culminación de nuestra tesis y obtener lo mejor de ello.

A la empresa El Aliso Servicios Generales SRL. Por brindar las facilidades de elaborar nuestra tesis y poder llevar a cabo este gran reto en nuestra vida.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRÁFICOS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
✓ Polímeros.....	11
• Clasificación	11
✓ Geosintéticos.....	12
• Función de los geosintéticos	13
• Ventajas de los geosintéticos	15
✓ Geomembranas.....	15
• Historia	16
• Tipos de geomembranas.....	16
✓ Las geomembranas HDPE	17
• Aplicaciones	19
✓ Tipos de soldado	20
• Por extrusión	20
• Por fusión o termofusión	21
✓ Máquina extrusora	22
• MODELO POLYWELD WB-9 000.....	22
✓ Máquina cuña.....	22
• MODELO PRO-WEDGE-3XL (DEMTECH)	22
✓ Parámetros norma ASTM D 6692	23
• Métodos de pruebas destructivas.....	23
✓ Definición de términos básicos	24
1.2. Formulación del problema	26
1.3. Objetivos	26
✓ Objetivo general	26
✓ Objetivos específicos	26
1.4. Hipótesis.....	26
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Tipo de investigación.....	27
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	27
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	28
2.4. Procedimiento.....	28

2.4.1. EXTRUSIÓN.....	28
2.4.2. FUSIÓN:	34
CAPÍTULO III. RESULTADOS	38
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	49
4.1 Discusión	49
4.2 Conclusiones	50
REFERENCIAS.....	51
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	1	Propiedad de la geomembrana HDPE lisa.	Pág.	18
Tabla	2	Tipo de investigación.	Pág.	27
Tabla	3	Técnicas de recolección de datos para la resistencia al corte y al desgarro de la soldadura por fusión en geomembranas HDPE.	Pág.	28
Tabla	4	Valores requeridos para el corte y desgarro establecidos por el Instituto de geosintéticos (GM-19) para extrusión.	Pág.	32
Tabla	5	Valores requeridos para el corte y desgarro establecidos por el Instituto de geosintéticos (GM-19) para fusión	Pág.	32
Tabla	6	Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 250 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	39
Tabla	7	Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 260 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	40
Tabla	8	Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 270 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	41
Tabla	9	Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 280 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	42
Tabla	10	Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 290 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	43
Tabla	11	Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 5m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	44
Tabla	12	Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 6m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	45
Tabla	13	Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 7m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	46
Tabla	14	Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 8m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	47
Tabla	15	Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 9m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	1	Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 250 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	39
Gráfico	2	Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 260 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	40
Gráfico	3	Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 270 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	41
Gráfico	4	Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 280 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	42
Gráfico	5	Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 290 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	43
Gráfico	6	Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 5m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	44
Gráfico	7	Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 6m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	45
Gráfico	8	Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 7m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	46
Gráfico	9	Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 8m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	47
Gráfico	10	Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 9m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.	Pág.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	1	Extrusora POLIWELLD WB – 9 000.	Pág.	22
Figura	2	Cuña PRO-WEDGE-3XL (DEMTECH).	Pág.	23
Figura	3	Ensayo de corte	Pág.	23/33
Figura	4	Ensayo de desgarro	Pág.	24/34

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	1	Habilitación de geomembrana.	Pág.	29
Fotografía	2	Configuración de temperatura.	Pág.	29
Fotografía	3	Unión de las geomembranas.	Pág.	30
Fotografía	4	Amolado de la geomembrana.	Pág.	30
Fotografía	5	Soldadura por extrusión.	Pág.	31
Fotografía	6	Encendido del tensiómetro.	Pág.	32
Fotografía	7	Obtención de los cupones.	Pág.	33
Fotografía	8	Ensayo al corte de las probetas.	Pág.	34
Fotografía	9	Calibración de la cuña.	Pág.	35
Fotografía	10	Soldadura por cuña.	Pág.	36
Fotografía	11	Ensayo al corte y desgarro de las probetas.	Pág.	37
Fotografía	12	Máquina extrusora.	Pág.	54
Fotografía	13	Máquina cuña.	Pág.	54
Fotografía	14	Tensiómetro.	Pág.	55
Fotografía	15	Anemómetro.	Pág.	55
Fotografía	16	Cuponera.	Pág.	55
Fotografía	17	Generador y tablero eléctrico.	Pág.	56
Fotografía	18	Unión de paneles con aire forzado caliente.	Pág.	56
Fotografía	19	Amolado en la unión de los paneles.	Pág.	57
Fotografía	20	Soldadura por extrusión.	Pág.	57
Fotografía	21	Soldadura por fusión.	Pág.	58
Fotografía	22	Obtención de probetas.	Pág.	58
Fotografía	23	Probetas de soldadura por extrusión y fusión.	Pág.	59
Fotografía	24	Ensayo al corte de las probetas.	Pág.	59
Fotografía	25	Ensayo al desgarro de las probetas.	Pág.	60
Fotografía	26	Ensayos al corte y desgarro de las probetas.	Pág.	60

RESUMEN

En este tema de investigación se determinó la influencia de temperatura y velocidad para poder soldar geomembranas HDPE, a través de un estudio de investigación experimental sobre el comportamiento que tienen las soldaduras de extrusión y fusión, se realizaron 5 uniones con extrusión y 5 uniones con fusión de geomembrana HDPE con medidas de 2,30m x 0,30m y 2,30m x 0,20m; de las cuales se obtuvo 200 probetas de 0,025m x 0,20m que fueron ensayadas con un tensiómetro DEMTECH Pro-Tester a una velocidad de 2 pulg/min para corte y desgarro; el resultado de estos ensayos nos ayudó a determinar el parámetro más óptimo de temperatura aplicables a la máquina de extrusión (POLYWELD WB-9 000) y velocidades aplicables a la máquina de fusión (DEMTECH PRO-WEDGE-3XL) para una geomembrana HDPE de 2,00 mm de espesor. Es así que se pudo determinar dichos parámetros más óptimos; el de temperatura en soldadura por extrusión es de: 260 °C de la máquina, logrando una resistencia mínima al corte de 165 lb/pulg y al desgarro de 159 lb/pulg; el de velocidad por fusión es de: 8 m/min de la máquina, logrando una resistencia mínima al corte de 172 lb/pulg y al desgarro de 127 lb/pulg. Estos parámetros se encuentran comprendidos dentro de los parámetros GM-19 de soldadura en geomembranas HDPE.

Palabras clave: Geosintéticos, geomembrana HDPE, extrusión, fusión.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Tejada, (2014) Hace mención en su tesis de titulación (parámetros de soldadura de fusión entre Geomembranas de alta densidad y de baja densidad), en la cual recomienda continuar con los estudios en geosintéticos en especial los poliméricos pues estos serán el futuro de la construcción civil pues cada día se les encuentra un nuevo campo de aplicación en nuestra rama y debemos de terminar con exactitud el comportamiento que tendrán no solo como materiales sino en las uniones y soldaduras.

Bien es cierto, se tiene las resistencias mínimas al corte y desgarro para cada uno de los espesores de láminas de geomembrana HDPE soldadas por extrusión y fusión, que es proporcionada por la GM-19. Por lo contrario los parámetro de soldadura por extrusión y fusión en láminas de geomembrana HDPE no se encuentran establecidas, por ello se realizó dicho proyecto de investigación para lograr determinar parámetros de temperatura y velocidad según el tipo de soldadura en geomembrana HDPE de 2,00 mm. Durante la ejecución de los proyectos el personal técnico encargado de realizar las soldaduras de las láminas de geomembrana HDPE deben iniciar sus labores diarias de trabajo realizando las pruebas destructivas (corte y desgarro), en la cual el técnico realiza la soldadura empíricamente, la mayoría de casos el técnico varía los parámetros de soldadura hasta superar las resistencias mínimas, trayendo consigo un mayor desgaste de tiempo lo cual esto lleva a un retraso significativo en los proyectos.

Tejada, (2014) Hace mención en su tesis de titulación (parámetros de soldadura de fusión entre Geomembranas de alta densidad y de baja densidad), que al estudiar el comportamiento de los esfuerzos tanto al corte como al pelado de las probetas llega determinar que estas se encuentran por encima del 60% de los límites proporcionados por las normativas para estas pruebas de acuerdo a ASTM. Los esfuerzos tienen un margen de seguridad de 40% en corte y 25% en pelado, promedio garantizando sobre lo requerido. Obtenidos los nuevos parámetros de velocidad de costura se ha podido determinar que estos se encuentran intermedios entre los valores de geomembranas de HDPE y LLDPE. Para LLDPE / HDPE de 1,50 mm de espesor una velocidad de 4,15 m/min y para LLDPE / HDPE de 2,00 mm de espesor una velocidad de 2,70 m/min; Con estos valores podemos mejorar los tiempos de producción en 9,60% promedio los tiempos de ejecución de los trabajos.

Breitenbach y Smith, (2007) la historia de las geomembranas en la industria minera, da a conocer que los revestimientos de geomembranas han sido utilizados desde 1970, como respuesta a las necesidades de revestimiento en pozas de evaporación, presas de relaves y pozas de lixiviación en pilas. Las presas de relaves han sido históricamente revestidas de tierra en su mayoría, pero el uso de revestimiento de geomembrana ha aumentado en los últimos años.

El estudio de Parra y Ovando (2012), efectos de la velocidad de deformaciones en la resistencia a la tensión de geomembrana HDPE, se realizaron las pruebas de tensión en muestras de geomembrana HDPE de 1,00 mm y 1,50 mm de espesor, a tres diferentes velocidades de deformación: 50 mm/min, 5 mm/min y 0,50 mm/min. Las prueba de tensión realizadas se obtuvo que a menor velocidad de deformación se observa una disminución mayor en la resistencia a la rotura del material y a mayores velocidades hay una resistencia pico mucho mayor, la diferencia en geomembrana de 1,00 mm de espesor la resistencia a la rotura pasa de 45,70 KN/m a 9,50 KN/m y en geomembranas de 1,50 mm de espesor pasa de 27,60 KN/m a 11,60 KN/m.

El estudio de Blanco, García, De Cea y Sánchez (2008), impermeabilización de balsas con geomembrana sintética: control y seguimiento, se realizaron las toma de muestras de la geomembrana sintética en presas y balsas, Los ensayos que realizan como seguimiento periódico son: espesor, resistencia a la tracción, alargamiento en rotura, doblado a bajas temperaturas, resistencia por tracción y resistencia por desgarro, identificando el lugar idóneo donde el material se deteriora en mayor medida son en el talud norte ya que es el lugar donde las radiaciones UV procedentes del sol llegan primero a dicho lugar.

Para la investigación realizada es necesario las siguientes definiciones conceptual:

✓ **Polímeros**

Son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros (Rogelio, 2012).

Son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. El término macromolécula significa molécula muy grande. “Polímero” y “macromolécula” son términos que suelen utilizarse indistintamente, aunque estrictamente hablando no son equivalentes, ya que las macromoléculas, en principio, no requieren estar formadas por unidades de repetición (Beltrán y Marcilla, 2012).

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los sintéticos contienen normal mente entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten, mientras que los naturales o biopolímeros (como la celulosa, el ADN o las proteínas) presentan estructuras mucho más complejas. Los polímeros sintéticos tienen, hoy por hoy, mayor interés desde el punto de vista comercial, por lo que, en general, nos referiremos casi exclusivamente a ellos (Beltrán y Marcilla, 2012).

• **Clasificación**

- Según el proceso de obtención (Naturaleza) y Comportamiento frente al calor, son:

Polímeros naturales.

Las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas de polímeros. Por ejemplo: las proteínas, la celulosa, el caucho natural (Rogelio, 2012).

Polímeros Semi-sintéticos.

Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo: la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado (Rogelio, 2012).

- Según su estructura o propiedades, los polímeros se pueden dividir en:

Plásticos.

Se incluye dentro de este término genérico a los termoplásticos amorfos y semi-cristalinos (PE, PP, PET), los mismos que no presentan entrecruzamientos y que pueden calentarse repetidamente hasta su punto de ablandamiento, darles la forma que se desee y luego de enfriados conservar esa forma re moldeada; y a los termoestables o termofijados (nitrilo, butilo, etc.), que son polímeros con un alto grado de entrecruzamiento y en los que el proceso de calentamiento no puede ser repetido pues cualquier calor adicional después de la primera forma solo llevará a la carbonización y degradación del material (Rogelio, 2012).

Termoplásticos.

Termoestables.

Elastómeros.

Son polímeros con un bajo grado de entrecruzamiento, que se caracterizan porque pueden estirarse varias veces su longitud, para luego recuperar su forma original sin deformación permanente (Rogelio, 2012).

✓ **Geosintéticos**

Son materiales fabricados a partir de varios tipos de polímeros derivados del petróleo, que mejoran las propiedades mecánicas de los suelos y hacen posible la ejecución de proyectos de ingeniería civil y geotécnica en difíciles condiciones. De igual forma los podemos usar simplemente para protección de los suelos e incluso para complementar la estructura de concreto (Rogelio, 2012).

El concepto genérico de un geosintético designa un producto en el que al menos uno de sus componentes está fabricado a base de polímeros sintéticos o naturales (Contreras, Barraza, Castro, Vega 2009).

Los geosintéticos se fabrican en forma de fieltro, manto, lámina o estructura tridimensional, los cuales sin puestos en contacto con el suelo u otros materiales en la aplicación de la ingeniería civil (Contreras, Barraza, Castro, Vega 2009).

La industria de geosintéticos incorpora un alto grado de polímeros como principal material de fabricación, para así asegurar una correcta deformación y resistencia ante las sollicitaciones a las cuales se enfrentará su producto se puede clasificar en productos fabricados a partir de procedimientos de extrusión (geoplásticos), productos que incluye en su fabricación tecnología textil (geotextiles) y productos formados por ambas tecnologías: textil y plásticas, como los geocompuestos (Contreras, Barraza, Castro, Vega 2009).

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en el mundo de la construcción y la edificación como son; obras viables, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, aplicaciones ambientales (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geocompuestos y mantos para el control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

- **Función de los geosintéticos**

- Separación:**

- Los geosintéticos actúan para separar dos capas de suelo que tienen diferentes distribuciones de partículas. Por ejemplo, los geotextiles son usados para prevenir que materiales de base penetren suelos blandos de estratos subyacentes, manteniendo la espesura de diseño y la integridad de la vía. Separadores ayudan también en la prevención del acarreamiento de granos finos en dirección de estratos granulares permeables (Koerner, 2012).

- Filtración:**

- Los geosintéticos actúan en forma similar a un filtro de arena permitiendo el movimiento de agua a través del suelo y reteniendo las partículas traídas por el flujo. Por ejemplo, los geotextiles son usados para prevenir la migración de agregados de los suelos o la formación de canaliculos cuando se tiene drenaje en el sistema. Los geotextiles son usados también debajo de “riprap” y otros materiales en sistemas de protección para prevenir la erosión del suelo como en terraplenes de ríos y costas (Koerner, 2012).

Drenaje:

Los geosintéticos actúan como drenes para conducir el flujo a través de suelos menos permeables. Por ejemplo, los geotextiles son usados para disipar las presiones de poro en la base de terraplenes viarios. Para grandes flujos fueron desarrollados drenes de geocompuestos. Estos materiales han sido usados como drenes de canto en pavimentos, drenes de interceptación en taludes, y drenes de contrafuertes y muros de contención. Drenes verticales prefabricados (PDV's) han sido usados para acelerar la consolidación de fundaciones con suelos blandos cohesivos debajo de terraplenes y rellenos previamente cargados (Koerner, 2012).

Refuerzo:

Los geosintéticos actúan como un elemento de refuerzo dentro de la masa de suelo o en combinación con el propio suelo para producir un compuesto que mejore las propiedades de resistencia y deformación. Por ejemplo, geotextiles y geomallas son usados para adicionar resistencia a tracción a la masa de suelo y posibilitar paredes de suelo reforzado verticales o casi verticales (Koerner, 2012).

Los refuerzos permiten la construcción de terraplenes al borde de taludes con mayores ángulos que los posibles con suelo no reforzado. Los geosintéticos (generalmente geomallas) han sido usados para cubrir cavidades que se pueden generar debajo de capas granulares sometidas a carga (carreteras y vías de ferrocarril) o debajo de sistemas de cubierta en rellenos sanitarios (Koerner, 2012).

Contención de Fluido/Gas (barrera):

Los geosintéticos actúan como una barrera impermeable para fluidos y gases. Por ejemplo, geomembranas, películas finas de geotextil, revestimientos de arcilla geosintética (GCLs), y geotextiles revestidos son usados como barreras que impiden el flujo de líquidos o gases. Esta función es usada también en pavimentos, encapsulación de suelos expansivos y contenedores de desperdicios (Koerner, 2012).

Control de Erosión:

Los geosintéticos actúan para reducir la erosión del suelo causado por el impacto de lluvias y escorrentía de aguas de superficie. Por ejemplo, mantas temporales de geosintéticos y tapetes livianos permanentes de geosintéticos son colocados sobre los taludes evitando la exposición del suelo. Barreras de geotextil son usados en la retención de partículas traídas por la escorrentía superficial. Algunos tapetes de control de erosión son hechos usando fibras de madera biodegradables. Los geotextiles son usados también

en otras aplicaciones. Por ejemplo, son usados en pavimentos de asfalto reforzado y en estratos de amortiguación para prevenir punción en geomembranas (mediante la reducción de presión de los puntos de contacto) por piedras en el suelo adyacente, desechos o agregado durante la instalación y servicio. Los geosintéticos han sido usados como cubiertas en la superficie de rellenos sanitarias para prevenir la dispersión de desechos sueltos debido al viento o a aves. Los geotextiles también han sido usados en encofrados flexibles de concreto y en la composición de bolsas de arena. Geotubos cilíndricos son manufacturados de dos capas de geotextil que son llenados con relleno hidráulico para crear terraplenes costeros o para desecación de lodo (Geosistemas Pavco S.A., 2009).

- **Ventajas de los geosintéticos**

Rogelio, (2012) hace mención a las siguientes ventajas de los geosintéticos en una conferencia desarrollada por la Área de Pre-Comisionado & QA/QC – Desarrollo de Proyectos - MYSRL

- Reducción Del Tiempo De Ejecución Y Del Costo Financiero De Los Proyectos.
- Simplificación De Los Procesos Constructivos.
- Disminución De Costos En La Construcción.
- Aumento De La Calidad De Las Construcciones.
- Protección Al Medio Ambiente.
- Es Inerte Frente A La Mayoría De Agentes Químicos.
- Mejora En La Estética De Las Obras Concluidas.

- ✓ **Geomembranas**

El uso de estos materiales en el campo de la Ingeniería Civil es cada vez más extenso ya sea en el empleo de láminas impermeabilizantes en la Edificación, como el de las Geomembranas en la Obra Civil. Cuando estos materiales son utilizados para la impermeabilización de edificios se los llamará "láminas impermeables", pero sin embargo cuando formen parte del sistema de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua, túneles y obras subterráneas se les denominará "Geomembranas impermeables". Las láminas se fabricarán con un espesor mínimo y homogéneo en forma de lienzos y se suministrarán enrolladas. Las membranas se conseguirán por la unión de las láminas y el tipo de unión dependerá de las características del material polimérico (evi.com.mx, 2016).

- **Historia**

El desarrollo del polietileno para usarse como geomembrana se inició en Alemania en las décadas de 1960 y luego se difundió a toda Europa, África, Australia y Norteamérica. Otras Geomembranas desarrolladas tempranamente fueron las de PVC, así como el CSPE o Polietileno clorosulfonato, desarrolladas hacia finales de los 60s (Koerner, 2012).

El uso de los geosintéticos en obra hidráulica (canales, embalses y presas) puede remontarse a los años 40 del siglo XX, teniendo un mayor apogeo y desarrollo entre los años 1960-1970 (geosyntheticmaterials.wordpress, 2016).

La primera aplicación de las geomembranas (GMBs) fue como sistema para la retención de líquidos. En torno a 1930, se establece la utilización de cauchos como GMBs y a principios de los años 40, del poli (cloruro de vinilo) (PVC) (geosyntheticmaterials.wordpress, 2016).

La Comisión Internacional de Grandes Presas data en el año 1969 en su Boletín n° 78 del año 1991, la primera balsa impermeabilizada con una GMB, el caucho butilo (IIR), en el embalse de Kualapuu en Molokai (Islas Hawai) (geosyntheticmaterials.wordpress, 2016).

- **Tipos de geomembranas**

- **Geomembranas de pvc (cloruro de polivinilo)**

Son láminas impermeables fabricadas con resinas de PVC utilizando tecnologías que garantizan la calidad y uniformidad de la membrana (Díaz, Escobar y Olivo, 2009).

Es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus materias primas provienen del petróleo (en un 43%) y de la sal común (en un 57%). Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, fabricado a partir de cloro y etileno (quiminet.com, 2016).

- **Geomembranas de polietileno**

Son láminas impermeables fabricadas a partir de resinas poliméricas formuladas para determinados usos cuya principal característica es una baja permeabilidad, flexibilidad y una alta resistencia, y su aplicación es la contención de líquidos (Díaz, Escobar y Olivo, 2009).

- **Polietileno de alta densidad (HDPE)**

El HDPE es el producto más usado para el revestimiento en depósitos de desechos sólidos de minas, rellenos y otras aplicaciones de contención de líquidos (es el indicado para proyectos donde el requerimiento de permeabilidad sea bajo y la resistencia a los rayos UV y químicos sea excepcionalmente alto) (Díaz, Escobar y Olivo, 2009).

El polietileno es un material termoplástico que posee buenas propiedades mecánicas, gran inercia química, sin polaridad, no absorbe humedad, de excelente aislamiento eléctrico, es inodoro e inerte fisiológicamente. Es considerado un plástico de ingeniería, y tiene aplicación en toda el área industrial siendo una de ellas la fabricación de geomembranas (Valencia, 2009).

Una Geomembrana se define como un recubrimiento, membrana o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado, aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos en cualquier proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre (Valencia, 2009).

– **Polietileno de baja densidad (LDPE)**

Las excelentes propiedades de elongación del polietileno de baja densidad, le permiten a la geomembrana un flexible acomodamiento a las superficies irregulares del terreno lo cual evita el punzonamiento en el material (Díaz, Escobar y Olivo, 2009).

– **Geomembrana de polipropileno (PP)**

Los revestimientos de polipropileno reforzados con tela son livianos, lo que le permite gran flexibilidad para la fabricación de paneles de gran tamaño. Presentan una excelente estabilidad dimensional y características óptimas para su instalación en superficies planas, así como gran resistencia a las bajas temperaturas y a las rajaduras provocadas por condiciones ambientales. Son ideales para contener hidrocarburos (Díaz, Escobar y Olivo, 2009).

– **Geomembrana de poliuretano (PU)**

Consiste en una capa de uretano cubierta de material poliéster, haciéndola extremadamente flexible y resistente a la penetración (Díaz, Escobar y Olivo, 2009).

✓ **Las geomembranas HDPE**

Son fabricadas con resinas vírgenes de polietileno de alta densidad y alto peso molecular (su densidad es mayor a 0.941 gr/cm³) aproximadamente en un 97.5% y 2-3% de carbón (negro humo), antioxidantes y estabilizadores de calor, otorgándoles una alta resistencia a la acción de los rayos ultravioleta de un coeficiente de expansión del 700%, haciéndolas excelente para aplicaciones expuestas, garantizando una larga duración. No contienen aditivos que puedan evaporarse y causar deterioro a medida que pasa el tiempo. Se fabrican mediante el proceso de moldeado en cubierta plana o por el proceso de extrusión soplado tricapa, la cual permite fabricar las geomembranas con propiedades específicas en cada cara, formando productos bicolors y/o texturados, además, de tener la alternativa de entregarle al manto propiedades fisicoquímicas que cambien su comportamiento a la resistencia tensil, a su rigidez, ductilidad y a otras resistencias mecánicas. Durante la producción

de cada rollo, continuamente se toman lecturas del espesor, las cuales son utilizadas para establecer el máximo, mínimo y el espesor promedio de cada rollo. Disponibles en superficies lisas y texturizadas y los espesores en los cuales son fabricadas varían entre los 0,50 y 5 mm. Las geomembranas texturizadas proveen una excelente resistencia a la fricción generada cuando el suelo de los taludes a recubrir tiene pendientes importantes o para la instalación de capas de suelo de cobertura sobre ellas (Valencia, 2009).

Tabla 1

Propiedad de la geomembrana HDPE lisa.

Propiedad	Método de Prueba	Valor 1,0/1,5/ 2,0 /2,5 (40/60/ 80 /100)	Unidad	Frecuencia de prueba (mínima)
a espesor				
Promedio	ASTM D5199	1,0/1,5/ 2,0 /2,5 40/60/ 80 /100	mm (mil)	Por rollo
Mínimo		0,90/1,35/ 1,80 /2,25 36/54/ 72 /90		
b densidad	ASTM D1505	0,94/0,94/ 0,94 /0,94	g/cc	20 000 lb 9 000 kg
c Propiedades de tracción (mínima)				
Esfuerzo de cedencia		15/22/ 29 /37	N/mm	
		84/126/ 168 /210	lb/pulg de ancho	
Esfuerzo de rotura	ASTM D6693 TIPO IV Cedencia G.L. = 1,30 pulg (33 mm) Ruptura G.L = 2,00 pulg (50,80 mm)	27/40/ 53 /67	N/mm	20 000 lb 9 000 Kg
		152/228/ 304 /380	lb/pulg de ancho	
Elongación de cedencia		12/12/ 12 /12	%	
Elongación de rotura		700/700/ 700 /700	%	
d Resistencia al desgarro (mínima)	ASTM D1004	125/187/ 249 /311 28/42/ 56 /70	N lb	20 000 lb 9 000 Kg
e Resistencia al punzonamiento (mínima)	ASTM D4833	320/480/ 640 /800 72/108/ 144 /180	N lb	20 000 lb 9 000 Kg
f Resistencia al agrietamiento por esfuerzos	ASTM D5397 (30% cedencia, 20% resistencia)	400/400/400/400	Horas	Por lote
g Rango de negro humo	ASTM D1603	2,00 - 3,00	%	20 000 lb 9 000 Kg

Fuente: Normas ASTM.

Las geomembranas de polietileno se unen únicamente mediante soldadura por termofusión o por extrusión y en casos especiales por ultrasonidos (Valencia, 2009).

Las GEOMEMBRANAS HDPE, están formadas por la polimerización de compuestos que contienen una adhesión no saturada entre dos átomos de carbón dando como resultado una alta cristalinidad, haciéndolas resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Estos pueden actuar concentrados y/o diluidos a diferentes temperaturas siendo utilizadas como revestimiento impermeable para la contención de estas soluciones y/o sólidos. Además, de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y a los rayos ultravioleta (UV), presentan inmejorables propiedades mecánicas (Valencia, 2009).

Las geomembranas son láminas con una barrera impermeable que se emplean para impedir o prevenir el paso de fluidos. El polietileno de alta y baja densidad materia prima para las geomembranas. El uso de geomembranas de polietileno presenta diversas ventajas, como una eficiente retención de compuestos químicos, enorme resistencia a la luz ultravioleta. Las geomembranas de polietileno de baja y alta densidad son capaces de resistir agentes químicos y residuos peligrosos, evitando que el suelo o manto freático se contaminen. Este tipo de geomembranas tienen una aplicación generalizada en agricultura, construcción y minería como elemento de contención de líquidos. Además pueden ser usadas como revestimiento en pilas de lixiviación, depósitos, canales, embalses, tanques de almacenamiento (quiminet.com, 2016).

- **Aplicaciones**

La impermeabilidad de las geomembranas es bastante alta comparada con los geotextiles o suelos, aun con suelos arcillosos; valores normales de permeabilidad para una geomembrana medida para transmisión de agua y vapor están en un rango de 1×10^{-12} a 1×10^{-15} cm/s, con esto las geomembranas son consideradas impermeables haciéndolas ideales para actuar como barrera al paso de fluidos y gases, además de poseer una alta fuerza tensible y excelente rigidez. Tienen una aplicación generalizada por ser los más indicados en funciones de recubrimientos, en agricultura, construcción y minería como elemento de contención de líquidos, como recubrimiento en pilas de lixiviación, en depósitos, en canales, en embalses, en reservorios y en estanques de almacenamiento, revestimiento de estructuras de hormigón, entre otros (Valencia, 2009).

El sellado de estas geomembranas se realiza dentro y/o fuera de la obra, utilizando una máquina de cuña caliente y una máquina extrusora de resina de HDPE. Se utilizan con éxito para el aislamiento de terrenos con filtraciones, y en una amplia gama de proyectos y soluciones de geotecnia tales como piscinas para almacenamiento, conservación y tratamientos de aguas, piscinas de recolección de lodos petroleros, impermeabilización de

diques, aislamientos de terrenos donde funcionarán rellenos sanitarios, etc. sobre muy diferentes sustratos, que pueden ser tierra, arena, concreto o acero (Valencia, 2009).

▪ **Aplicaciones en obras tipo ambiental**

Lodos petroleros

Los lodos de perforación, compuestos por bentonita, trazas de petróleo y agua, forman un líquido viscoso y muy contaminante por lo que debe ser tratado en lagunas impermeabilizadas con Geomembranas antes de su disposición final (Valencia, 2009).

Lagunas de oxidación

Con las Geomembranas se evita que la filtración de las aguas residuales, a través del suelo, pueda contaminar fuentes de agua subterránea (Valencia, 2009).

Rellenos sanitarios

Por su flexibilidad y gran resistencia química y bacteriológica, la impermeabilización del Relleno Sanitario con geomembranas evita que el lixiviado generado de la composición de la basura, contamine el suelo y las fuentes de agua subterránea (Valencia, 2009).

Recubrimientos de celda

En el recubrimiento de suelos en rellenos sanitarios, se ha venido generalizando el uso de geosintéticos dentro de los diseños, presentando en obra un gran beneficio ambiental, con el mínimo de tiempo en su instalación (Valencia, 2009).

Deposito lixiviado

El lixiviado recolectado del relleno (como se muestra en la figura 4) se almacena en depósitos impermeabilizados para su posterior tratamiento. La lámina de estos depósitos esta generalmente expuesta a la intemperie. Los sistemas de impermeabilización en polietileno de alta densidad presentan el más alto grado de durabilidad bajo las condiciones atmosféricas más extremas, tales como radiación solar, o congelamiento (Valencia, 2009).

✓ **Tipos de soldado**

• **Por extrusión**

Soldadura por extrusión de material de aporte. Unión por termofusión con aporte de material de las partes a unir. La soldadura se ejecuta mediante una soldadora guiada manualmente, provista de una cámara de fusión de material de aporte, una boquilla para la extrusión del aporte y una boquilla de precalentado de la superficie que recibirá el material de aporte o extruido (Valencia, 2009).

El material de aporte, ya sea como rodón o granulado, es ingresado a la cámara de fusión donde por medio de un tornillo sin fin es hecho fluir a través de la boquilla de extrusión. Mientras el operador guía la boquilla de extrusión apoyándola sobre las partes a unir, un flujo de aire caliente expelido por la boquilla de precalentado prepara las superficies previamente pulidas para su perfecta adherencia con el cordón de soldadura (Valencia, 2009).

Proceso de soldadura por extrusión en HDPE. Las variables de control para este tipo de máquina son la temperatura de fusión del material de aporte, que dependerá del tipo de polímero empleado y la temperatura del flujo de aire caliente, que dependerá del espesor de las láminas y de las condiciones ambientales (Valencia, 2009).

Se ajusta a una temperatura de 600 °F aproximadamente y un precalentado a 450 °F dependiendo del medio ambiente al momento de realizar las soldaduras (Valencia, 2009).

La totalidad de los detalles, parches y uniones especiales pueden ser ejecutados por medio de este método. Previa a la ejecución de la soldadura las superficies a soldar por el método de extrusión deben ser previamente unidas de modo de garantizar el contacto pleno de las superficies bajo el cordón de soldadura (Valencia, 2009).

Con ambas máquinas se realizan pruebas antes de ser utilizadas por el personal técnico comprobando su soldadura a través de un tensiómetro. Las pruebas se denominan comprobación de las soldaduras por fusión y extrusión y comprobación a la tensión y resistencia del material (Valencia, 2009).

- **Por fusión o termofusión**

Este método de soldadura consiste en la unión de los bordes del traslape de dos láminas por presión ejercida por dos partes de rodillos yuxtapuestos y tangentes, sobre el material parcialmente fundido por la acción de una cuña a una temperatura alta, que produce la fusión superficial de las Geomembranas de contacto (quiminet.com, 2016).

El tipo de soldadura por termo fusión es por contacto entre ambas caras de la geomembrana de HDPE, La aplicación de la temperatura se realiza por contacto, utilizando una cuña calefactora, antes que pasen los rodillos. A medida que la máquina va avanzando propulsada por los rodillos, éstos van presionando las zonas calientes obteniendo dos líneas de soldadura separadas por un canal de aire que se utilizará para la comprobación de la soldadura. Tanto la presión como la temperatura y la velocidad se ajustan a través de controles independientes y siempre van relacionados entre ellos. A más temperatura más velocidad y a la inversa. Los parámetros de soldadura pueden variar en función a la máquina, la geomembrana, la temperatura ambiente (tecoad.com, 2016).

✓ **Máquina extrusora**

• **MODELO POLYWELD WB-9 000**

Características técnicas:

- PESO, 25 lbs.
- DIMENSIONES, 7 pulgadas x 29 pulgadas x 11 pulgadas
- CONDUCTOR MOTOR, Máx.: 6 amperios a 240 VCA, 50-60 Hz
- CALENTADORES EXTRUSOR, Calentador personalizado de 1200 vatios
- PRECALENTAR (OPCIONAL), 600 vatios, 120 VAC 50-60 Hz 1400 vatios, 240 VAC 50-60 Hz
- SALIDA DE EXTRUSOR, Hasta 13 lbs / hr
- VARILLA DE SOLDADURA, 4 mm o 5 mm

Figura 1

Extrusora POLYWELLD WB-9 000



Fuente: polyweldusa.com, 2019

✓ **Máquina cuña**

• **MODELO PRO-WEDGE-3XL (DEMTECH)**

Características técnicas:

- Modelo: 3XL
- Números de modelo: 500-0100/3XL
- Peso de Equipo (solo soldadora): 95 lb (43 kg)

- Dimensiones (solo soldadora): 26" x 17" x 17" (66 x 43 x 43 cm)
- Rango Material: HDPE, LLPE
- Rango de Soldadura: 40 - 120 mil (1,00-3,00mm)
- Voltaje: 230 V, 60 Hz, Monofásico
- Potencia: 3000 watts, 13 Amperios

Figura 2
cuña PRO-WEDGE-3XL (DEMTECH)



Fuente: ormáquinarias.com, 2016

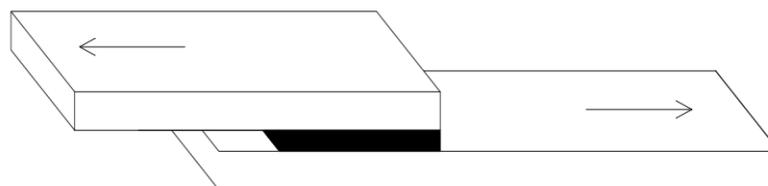
✓ **Parámetros norma ASTM D 6392**

• **Métodos de pruebas destructivas**

▪ **ENSAYO DE CORTE**

Asunto cinco muestras al ensayo de corte (Ver Fig. N° 3). Apoyar totalmente el espécimen de ensayo en las empuñaduras través de la anchura de la muestra. Asegurar las mordazas de 25 mm (1 in.) a cada lado del inicio de la unión de la costura, una constante máquina velocidad de la cruceta de 50 mm (2 in.) / min para LMDPE y HDPE, 500 mm (20 pulg.) / min por FPP, LLDPE, VFPE, VLDPE, y PVC. La prueba está completa para HDPE y LMDPE una vez que la muestra ha alargado 50%. PVC, FPP, LLDPE, VFPE y VLDPE Geomembranas deben ser probados a la ruptura (ASTM D 6392 – 99).

Figura 3
Ensayo de Corte



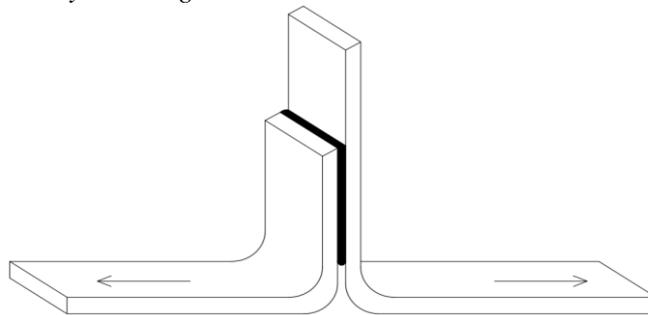
Fuente: ASTM D 6392 – 99

▪ **ENSAYO DE DESGARRO**

Asunto cinco especímenes al 90 ° "Ensayo de pelado" de prueba (ver Fig. N°4). Si la muestra analizada es una cuña caliente dual costura, cinco especímenes debe ser examinado para cada pista externa de la costura. El mantenimiento de la muestra en una posición horizontal en todo no es necesario la prueba. Totalmente agarre la muestra de ensayo través de la anchura de la muestra. Agarre la muestra de cáscara de asegurar agarres 25 mm (1 in.) a cada lado del inicio de la unión de costura, una cruz velocidad de cabezal de la máquina constante de 50 mm (2in.) / min para HDPE, LMDPE, y PVC, 500 mm (20 pulg.) / min de LLDPE, VLDPE, VFPE, y FPP. La prueba se ha completado Cuando se rompe el espécimen (ASTM D 6392 – 99).

Figura 4

Ensayo de desgarro



Fuente: ASTM D 6392 – 99

✓ **Definición de términos básicos**

Según norma ASTM D 4439

- **Geomembrana**, en un geosintéticos esencialmente impermeable compuesto de una o más hojas sintéticas.
- **Geosintéticos**, un subproducto plano fabricados a partir polimérico material utilizado con el suelo, roca, tierra u otro geotécnico material relacionado con la ingeniería como una parte integral de una artificial proyecto, estructura o sistema.
- **Permeabilidad**, tasa de flujo de un líquido bajo una diferencia de la presión a través de un material.
- **Control de calidad**, las técnicas operativas y las actividades que mantener una calidad de material, producto, sistema o servicio que satisfaga las necesidades dadas; también el uso de tales técnicas y actividades.

- **Muestra**, (1) una porción de material que se toma para la prueba o para propósitos de registro. (2) un grupo de muestras utilizado, o de observaciones realizadas, que proporcionan información que puede ser utilizado para hacer inferencias estadísticas sobre la población (s) a partir del cual se extraen las muestras. (Véase también el laboratorio muestra, muestra del lote y de la muestra.)
- **Especificación**, una exposición precisa de un conjunto de requisitos que deben satisfacer un material, producto, sistema o servicio que indica los procedimientos para determinar si cada una de los requisitos son satisfechos.
- **Espécimen**, en una parte específica de un material o de laboratorio la muestra sobre la que se realiza una prueba o el que se da por ese propósito.
- **Extrusión**, Una costura unido producido mediante la extrusión de material fundido en o entre el borde de dos materiales de lámina de polímero sobre- rodado para efectuar una fusión homogénea entre las dos hojas a unir.
- **Cupón**, una porción de una muestra de material o de laboratorio de que múltiples muestras pueden ser tomadas para la prueba.
- **HDPE**, Polietileno de Alta Densidad o HDPE.
- **VLDPE**, Polietileno de muy baja densidad.
- **FPP**, Polipropileno Flexible (FPP).
- **Ensayo de pelado o desgarro**, Agarre la muestra de cáscara de asegurar agarres 25 mm (1,00 pulg.) A cada lado del inicio de la unión de costura, una cruz velocidad de cabezal de la máquina constante de 50 mm (2,00 pulg.) / min para HDPE, LMDPE, y PVC, 500 mm (20 pulg.) / min de LLDPE, VLDPE, VFPE, y FPP.
- **Ensayo de corte**, Asegurar las mordazas de 25 mm (1in.) a cada lado del inicio de la unión de la costura, una constante máquina velocidad de la cruceta de 50 mm (2 in.) / min para LMDPE y HDPE, 500 mm (20 pulg.) / min por FPP, LLDPE, VFPE, VLDPE, y PVC.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE?

1.3. Objetivos

✓ **Objetivo general**

Determinar la resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE.

✓ **Objetivos específicos**

1. Determinar la resistencia al corte y al desgarro en geomembrana HDPE de 2.00 mm en soldadura por extrusión a cinco temperaturas (250°C, 260°C, 270°C, 280°C y 290°C) soldadas con la extrusora POLYWELD WB-9 000.
2. Determinar la resistencia al corte y al desgarro en geomembrana HDPE de 2,00 mm en soldadura por fusión a cinco velocidades (5 m/min, 6 m/min, 7 m/min, 8 m/min, 9 m/min) soldadas con la cuña DEMTECH PRO-WEDGE-3XL.
3. Determinar el parámetro óptimo de soldadura por extrusión y fusión en geomembrana HDPE de 2,00 mm.

1.4. Hipótesis

La resistencia al corte y desgarro de la geomembrana HDPE de 2,00 mm unidas mediante la soldadura por extrusión y fusión aumenta hasta alcanzar una resistencia al corte superior a 160 lb/pulg y una resistencia al desgarro superior a 104 lb/pulg en extrusión conforme aumenta la temperatura de la máquina extrusora desde 250 °C a 290 °C y una resistencia al desgarro superior a 121 lb/pulg en fusión conforme aumenta la velocidad de la máquina cuña desde 5 m/min a 9 m/min.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Experimental.

Tabla 2
Tipo de investigación.

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos generales	Explicativa
Fuente de datos	Primaria
Control de diseño de la prueba	Experimental
Temporalidad	Transversal
Contexto donde sucede	Laboratorio
Intervención disciplinaria	Multidisciplinaria

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población:

Para el estudio realizado se obtuvo un total de 200 probetas; 100 probetas soldadas por extrusión y 100 probetas soldadas por fusión.

Muestra:

Según norma ASTM D 6392 lo mínimo a analizar es lo siguiente; Cinco probetas para corte, cinco probetas para desgarro, teniendo cinco interacciones y un total de 50 probetas a analizar por cada tipo de soldadura (extrusión y fusión). Por temas de investigación, más concisa y precisa se decide tomar una muestra de 20 probetas, las cuales 10 serán tomadas para corte, y 10 para desgarro, para cada una de las cinco interacciones de extrusión y fusión.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

En el estudio se utilizó geomembrana de marca polytex en alta densidad (HDPE) de 2.00 mm, los ensayos de la resistencia al corte y desgarro se realizó con un tensiómetro DEMTECH Pro-Tester, las cuales serán graficadas para poder obtener la temperatura óptima para la soldadura por extrusión y velocidad óptima en la soldadura por fusión para la geomembrana HDPE de 2,00 mm.

Tabla 3

Técnicas de recolección de datos para la resistencia al corte y al desgarro de la soldadura por extrusión y fusión en geomembranas HDPE.

Variable	Indicadores	Fuente	Técnica	Instrumento
Resistencia al corte	lb/pulg	Probetas de geomembrana HDPE de 2,00 mm	Recolección de datos experimentados en protocolos.	fichas de registro procesadas en Microsoft Excel de las Probetas soldadas por extrusión y fusión sometidas a ensayos de corte y desgarro.
Resistencia al desgarro	lb/pulg	soldadas por extrusión y fusión.		

2.4. Procedimiento

2.4.1. EXTRUSIÓN

Para este proceso se utiliza una extrusora a la cual está incorporado un equipo de aire forzado caliente y un controlador de temperatura para asegurar una correcta fundición del cordón HDPE de 5mm. Este tipo de soldadura es usado para reparaciones de geomembrana y obras de arte.

Acondicionamiento del área

- El ayudante verificara que el área de trabajo se encuentre ordenado y limpio para iniciar las pruebas.
- El técnico y el ayudante realizaran la obtención de las láminas de geomembrana HDPE a ensayar (0,30m x ,30m y de 0,20m x 2,30m) con la ayuda de un tira-línea y una navaja pico loro.



Fotografía 1
Habilitación de geomembrana.

- El ayudante limpiara el área a soldar haciendo uso de trapo industrial.
- El ayudante de extrusora colocara una cinta de geomembrana de 0.30m aproximadamente de ancho debajo del traslape de geomembrana.

Acondicionamiento de extrusora

- El técnico de extrusora verificara en la pantalla de control de la extrusora, la temperatura de máquina y la temperatura del aire forzado caliente.



Fotografía 2
Configuración de temperatura.

Soldadura por extrusión

- El técnico verificará la temperatura, así como la parte mecánica de la máquina.
- El ayudante con ayuda de la máquina de aire forzado caliente hará la unión previa de las dos láminas de geomembrana HDPE.



Fotografía 3
Unión de las geomembranas.

- El técnico realizara un amolado de un espesor de 1,00 pulgada a 1,50 pulgadas en la unión de las dos láminas de geomembrana HDPE con una amoladora y una lija de desbaste N° 60.



Fotografía 4
Amolado de la geomembrana

- El técnico insertara el cordón HDPE de 5 mm a la máquina de extrusión para luego purgar el residuo el cordón HDPE que se encuentra dentro de la máquina.
- El técnico iniciara la soldadura por extrusión, él ayudante ira facilitando que el cordón HDPE de 5 mm no se logre enredar entre sí.



Fotografía 5
Soldadura por extrusión.

Pruebas del tensiómetro (testeo)

Energizar el equipo (tensiómetro)

- El tensiómetro se colocará en una superficie plana y horizontal.
- El técnico de control de calidad procederá al encendido de la máquina para aprobar y calibrar el quipo.



Fotografía 6
Encendido del tensiómetro.

Corte de pruebas de extrusión

Tabla 4

Valores requeridos para el corte y desgarro establecidos por el Instituto de geosintéticos (GM-19) para extrusión.

Geomembrana HDPE 2,00mm	lb/pulg	N/pulg
Corte	160	701
Desgarro	104	455

Fuente: GM 19 (The Geosynthetic Institute)

Corte de pruebas de fusión

Tabla 5

Valores requeridos para el corte y desgarro establecidos por el Instituto de geosintéticos (GM-19) para fusión.

Geomembrana HDPE 2,00mm	lb/pulg	N/pulg
Corte	160	701
Desgarro	121	530

Fuente: GM 19 (The Geosynthetic Institute)

- El técnico tomará su muestra de prueba inicial y llevará a la cuponera donde colocará la lámina dentro de ella.
- Una vez colocado se procederá a presionar la palanca de la cuponera hasta que la Geomembrana quede cortada.

- Luego se abrirá la cizalla y se retirará la plancha de Geomembrana para seguir cortando las siguientes probetas.
- Al final haciendo uso de la cuchilla se cortará los cupones y será proporcionado al técnico de QC para su respectivo ensayo.

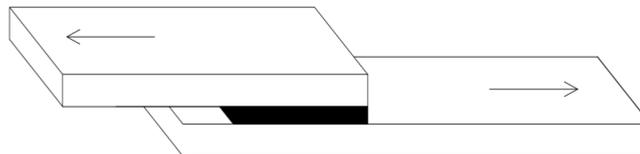


Fotografía 7
Obtención de los cupones.

Testeo de cupones

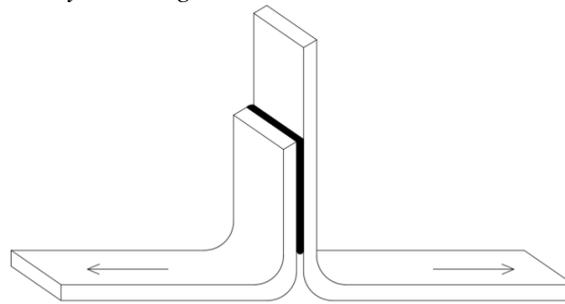
- El técnico QC procede a realizar la prueba de tensión de los cupones obtenidos mediante la cuponera, Se introducirá una lengüeta del cupón en cada lado del tensiómetro y se ajustará con la palanca de presión.
- Luego se procede a la elongación o corte del cupón (corte/desgarro).

Figura 3
Ensayo de Corte



Fuente: ASTM D 6392 – 99

Figura 4
Ensayo de desgarro



Fuente: ASTM D 6392 – 99

- Una vez probado los cupones se abren las palancas y se extraen los cupones, estos pasos tiene que realizarse con el equipo estático, jamás en movimiento.
- Luego el técnico QC anotara los valores obtenidos en el formato de control de calidad.



Fotografía 8
Ensayo al corte de las probetas.

Apagado de equipo

- Una vez realizadas las pruebas se da por concluida y se procede a apagar y desconectar el equipo.

2.4.2. FUSIÓN:

Este proceso será usado para soldar paneles adyacentes de geomembrana y no será usado para parchar o realizar trabajos de detalle. El equipo de soldadura de fusión es auto propulsado mediante rodillos escalonados que con el ajuste entre sí originan una resistencia positiva de

avance y una presión para soldar. Además, está equipado de una cuña caliente y un controlador de velocidad y temperatura para asegurar una correcta fusión.

Acondicionamiento del área

- El ayudante verificara que el área de trabajo se encuentre ordenado y limpio para iniciar las pruebas.
- El técnico y el ayudante realizaran la obtención de las láminas de geomembrana HDPE a ensayar (0,30m x 2,30m y de 0,20m x 2,30m) con la ayuda de un tira-línea y una navaja pico loro.
- El ayudante limpiara el área a soldar haciendo uso de trapo industrial.
- El ayudante de cuña colocara una cinta de geomembrana de 0,30m aproximadamente de ancho debajo del traslape de geomembrana.

Acondicionamiento de cuña

- El técnico de cuña verificara en la pantalla de control de la cuña, la temperatura y velocidad.



Fotografía 9
Calibración de la cuña

Soldadura por cuña

- El técnico verificará la velocidad y temperatura, así como la parte mecánica y resistencia de la máquina.
- El técnico insertara los lados de geomembrana a la Cuña, en el inicio del tramo a soldar, y fijara los rodillos de resistencia.
- El técnico iniciara la soldadura por fusión, él ayudante ira delante del equipo limpiando, verificando el alineamiento, y ayudando a manipular el equipo de cuña.



Fotografía 10
Soldadura por cuña.

Pruebas del tensiómetro (testeo)

Energizar el equipo (tensiómetro)

- El tensiómetro se colocará en una superficie plana y horizontal.
- El técnico de control de calidad procederá al encendido de la máquina para aprobar y calibrar el equipo.
- El técnico tomará su muestra de prueba inicial y llevará a la cuponera donde colocará la lámina dentro de ella.
- Una vez colocado se procederá a presionar la palanca de la cuponera hasta que la Geomembrana quede cortada.
- Luego se abrirá la cizalla y se retirará la plancha de Geomembrana para seguir cortando las siguientes probetas.

- Al final haciendo uso de la cuchilla se cortará los cupones y será proporcionado al técnico de QC para su respectivo ensayo.

Testeo de cupones

- El técnico QC procede a realizar la prueba de tensión de los cupones obtenidos mediante la cuponera, Se introducirá una lengüeta del cupón en cada lado del tensiómetro y se ajustará con la palanca de presión.
- Luego se procede a la elongación o corte del cupón (corte/desgarro).
- Una vez probado los cupones se abren las palancas y se extraen los cupones, estos pasos tiene que realizarse con el equipo estático, jamás en movimiento.
- Luego el técnico QC anotara los valores obtenidos en el formato de control de calidad.



Fotografía 11
Ensayo al corte y desgarro de las probetas.

Apagado de equipo

- Una vez realizadas las pruebas se da por concluida y se procede a apagar y desconectar el equipo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron comparados con la resistencia mínima de la GM-19 para extrusión (corte de 160 lb/pulg y al desgarro 104 lb/pulg) y para fusión (corte de 160 lb/pulg y al desgarro 121 lb/pulg). La soldadura por extrusión se trabajó con cinco temperaturas variables de la máquina (250°C, 260°C, 270°C, 280°C, 290°C) y con una temperatura de aire forzado caliente de 170°C; la soldadura por fusión se trabajó a cinco velocidades (5 m/min, 6 m/min, 7 m/min, 8 m/min, 9 m/min) y una temperatura de máquina de 450 °C, todas las soldaduras se trabajó en láminas de geomembrana HDPE de 2,00 mm de espesor.

1. Resultado de las probetas soldadas por extrusión

Tabla 6

Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 250 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	103	Falla	130	Cumple
2	112	Falla	134	Cumple
3	132	Falla	112	Cumple
4	148	Falla	134	Cumple
5	122	Falla	128	Cumple
6	138	Falla	123	Cumple
7	145	Falla	128	Cumple
8	145	Falla	116	Cumple
9	151	Falla	148	Cumple
10	197	Cumple	148	Cumple

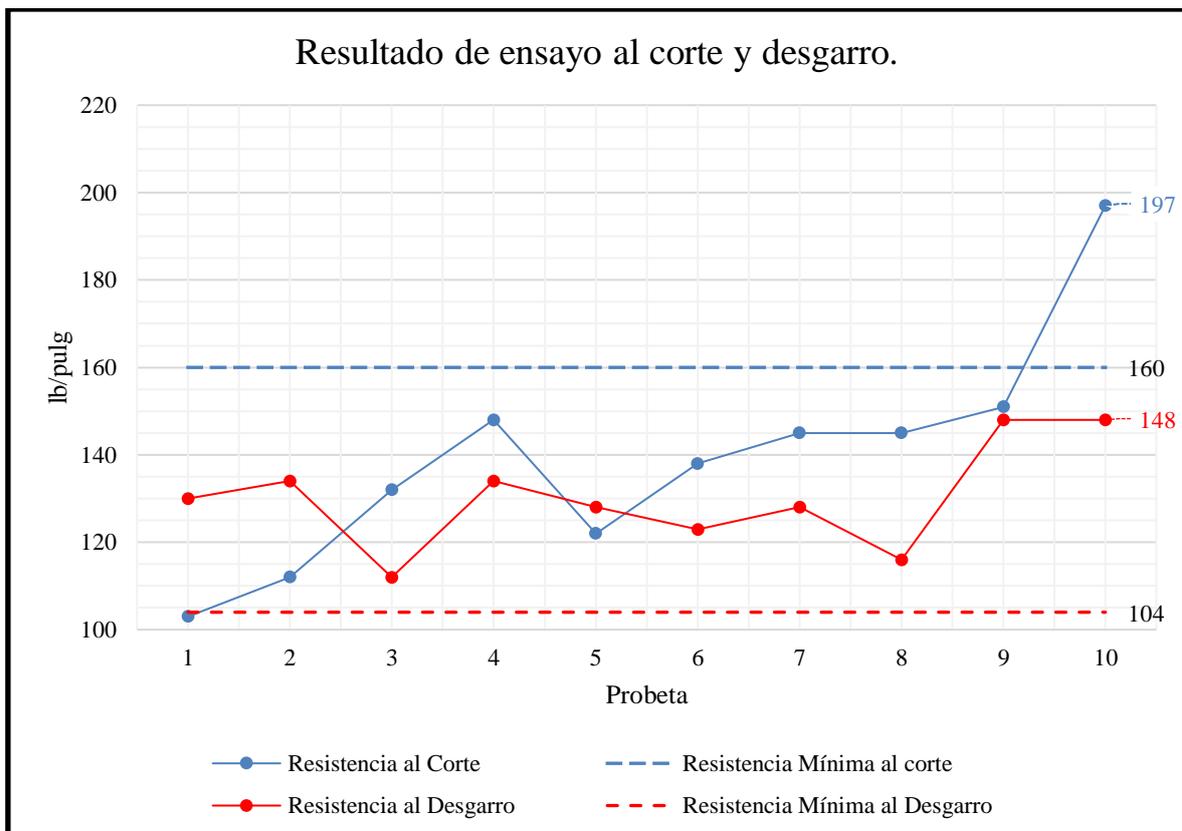


Gráfico 1

Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 250 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 7

Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 260 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	197	Cumple	216	Cumple
2	207	Cumple	163	Cumple
3	197	Cumple	159	Cumple
4	165	Cumple	214	Cumple
5	201	Cumple	207	Cumple
6	211	Cumple	201	Cumple
7	214	Cumple	212	Cumple
8	201	Cumple	205	Cumple
9	181	Cumple	220	Cumple
10	214	Cumple	194	Cumple

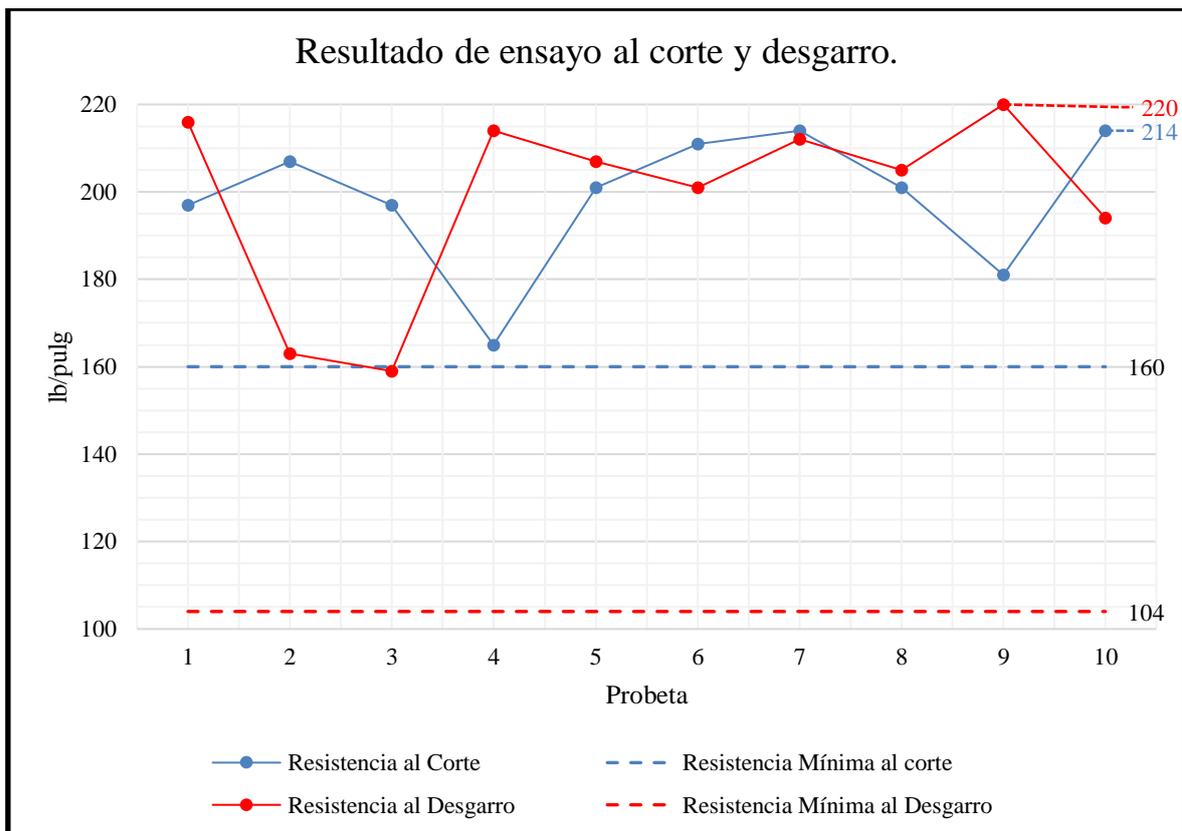


Gráfico 2

Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 260 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 8

Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 270 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	168	Cumple	146	Cumple
2	194	Cumple	148	Cumple
3	174	Cumple	148	Cumple
4	191	Cumple	148	Cumple
5	197	Cumple	161	Cumple
6	194	Cumple	134	Cumple
7	201	Cumple	141	Cumple
8	184	Cumple	146	Cumple
9	171	Cumple	150	Cumple
10	188	Cumple	150	Cumple

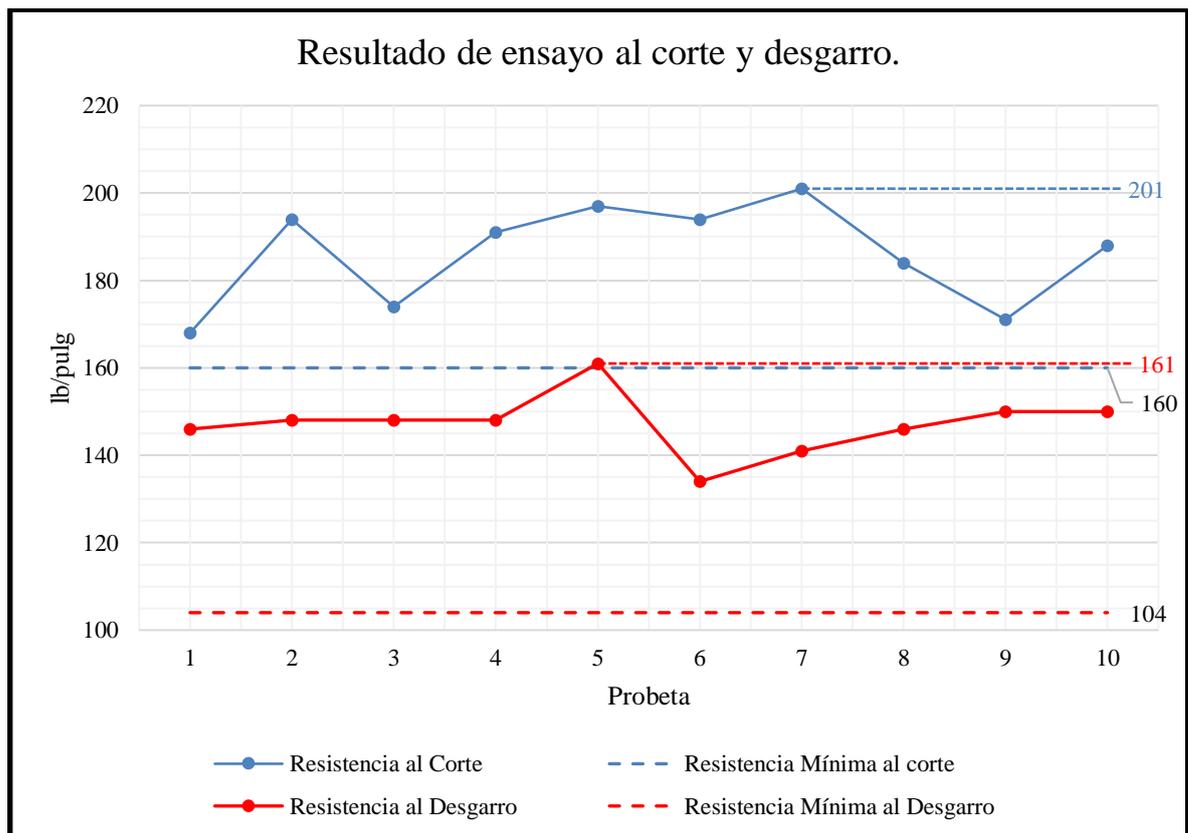


Gráfico 3

Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 270 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 9

Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 280 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	145	Falla	137	Cumple
2	165	Cumple	150	Cumple
3	158	Falla	139	Cumple
4	155	Falla	146	Cumple
5	161	Cumple	139	Cumple
6	132	Falla	143	Cumple
7	126	Falla	137	Cumple
8	158	Falla	132	Cumple
9	165	Cumple	117	Cumple
10	181	Cumple	130	Cumple

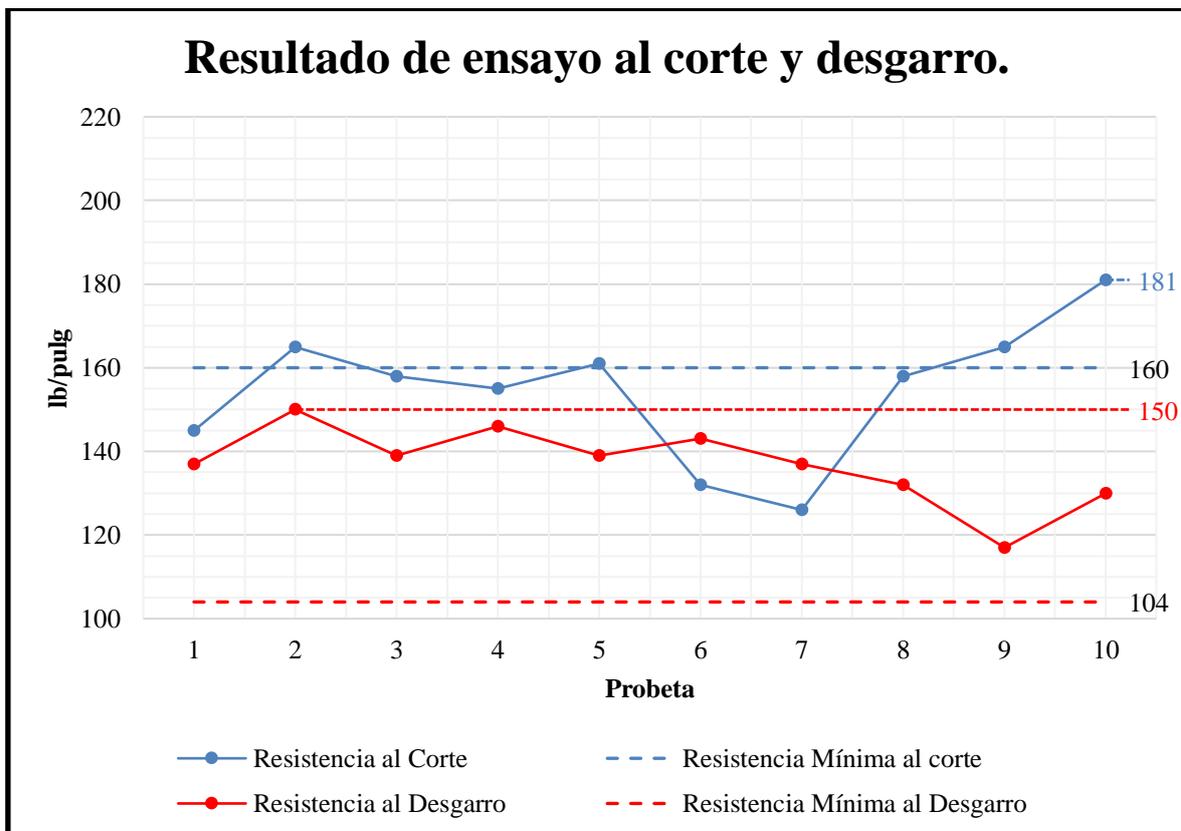


Gráfico 4

Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 280 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 10

Resultados obtenidos de soldadura por extrusión a temperatura de 290 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	191	Cumple	161	Cumple
2	174	Cumple	157	Cumple
3	148	Falla	146	Cumple
4	174	Cumple	159	Cumple
5	168	Cumple	150	Cumple
6	158	Falla	146	Cumple
7	181	Cumple	163	Cumple
8	151	Falla	161	Cumple
9	148	Falla	150	Cumple
10	151	Falla	143	Cumple

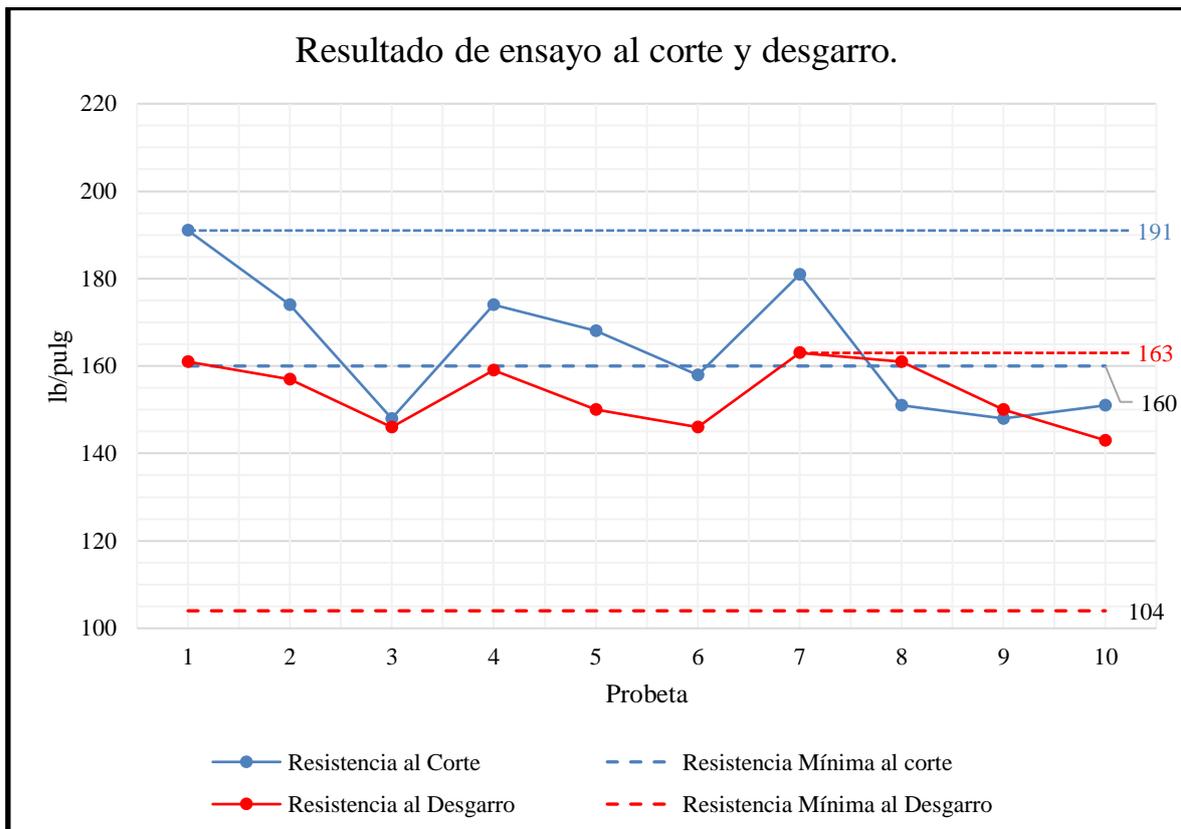


Gráfico 5

Resultados de soldadura por extrusión a temperatura de 290 °C, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

2. Resultado de las probetas soldadas por fusión

Tabla 11

Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 5m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	174	Cumple	140	Cumple
2	173	Cumple	153	Cumple
3	175	Cumple	147	Cumple
4	172	Cumple	135	Cumple
5	174	Cumple	131	Cumple
6	172	Cumple	151	Cumple
7	172	Cumple	138	Cumple
8	168	Cumple	153	Cumple
9	169	Cumple	145	Cumple
10	171	Cumple	153	Cumple

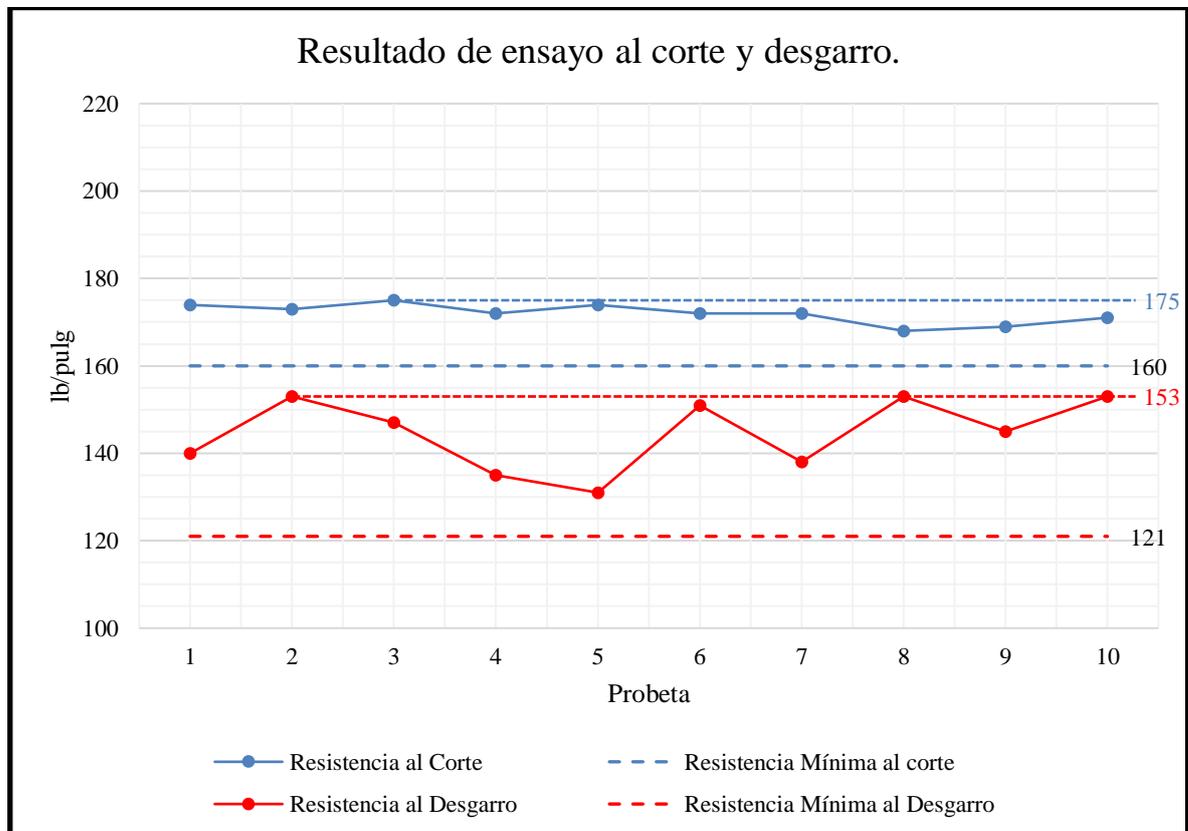


Gráfico 6

Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 5m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 12

Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 6m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	179	Cumple	143	Cumple
2	173	Cumple	150	Cumple
3	169	Cumple	169	Cumple
4	168	Cumple	151	Cumple
5	174	Cumple	170	Cumple
6	174	Cumple	140	Cumple
7	171	Cumple	167	Cumple
8	173	Cumple	161	Cumple
9	176	Cumple	167	Cumple
10	182	Cumple	139	Cumple

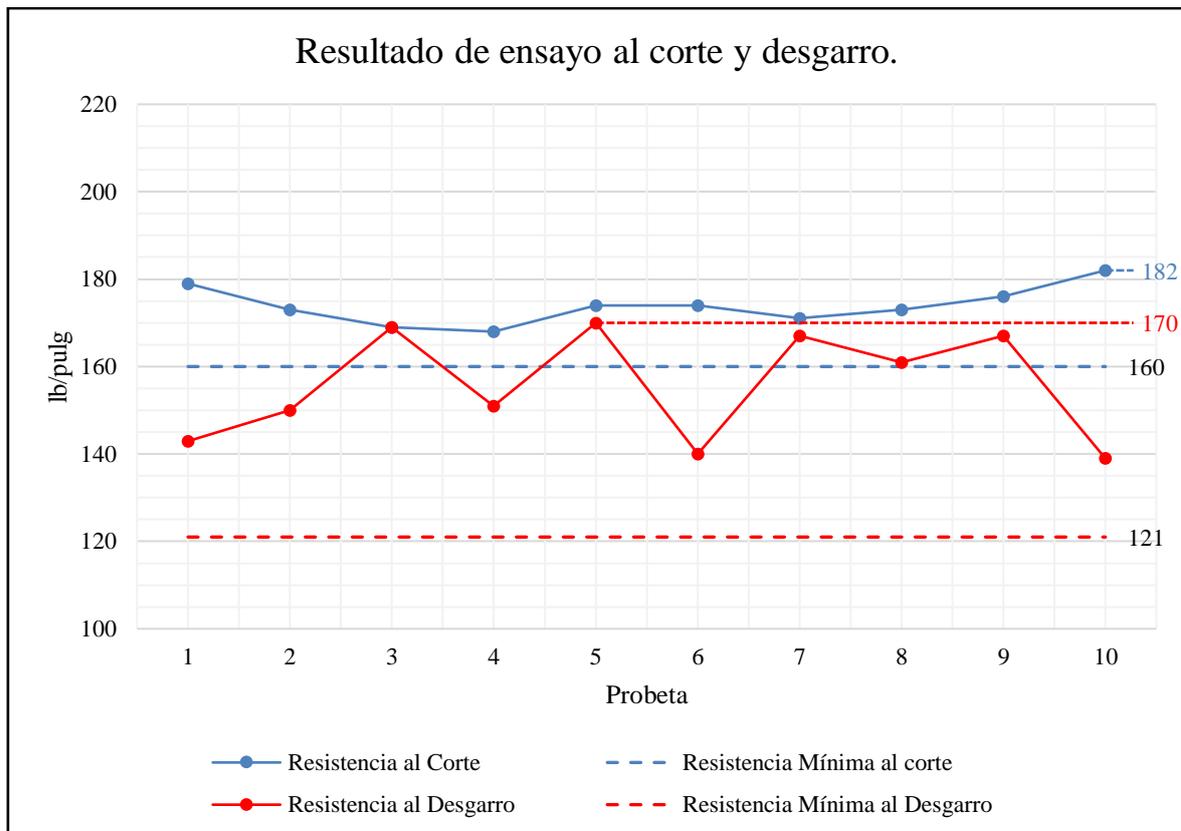


Gráfico 7

Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 6m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 13

Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 7m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	171	Cumple	139	Cumple
2	189	Cumple	148	Cumple
3	186	Cumple	148	Cumple
4	179	Cumple	131	Cumple
5	181	Cumple	126	Cumple
6	186	Cumple	165	Cumple
7	182	Cumple	137	Cumple
8	186	Cumple	136	Cumple
9	187	Cumple	131	Cumple
10	192	Cumple	137	Cumple

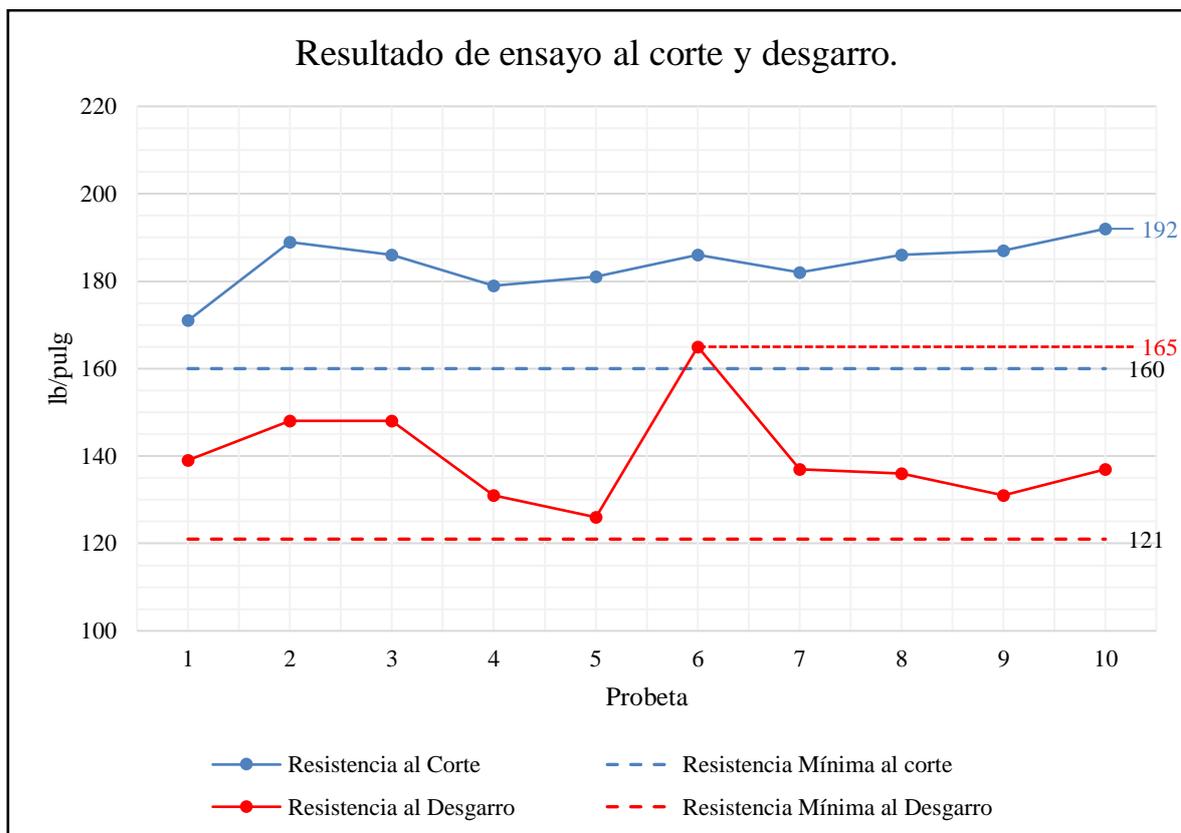


Gráfico 8

Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 7m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 14

Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 8m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	175	Cumple	148	Cumple
2	176	Cumple	147	Cumple
3	176	Cumple	140	Cumple
4	175	Cumple	133	Cumple
5	172	Cumple	127	Cumple
6	178	Cumple	154	Cumple
7	179	Cumple	151	Cumple
8	179	Cumple	143	Cumple
9	177	Cumple	140	Cumple
10	174	Cumple	137	Cumple

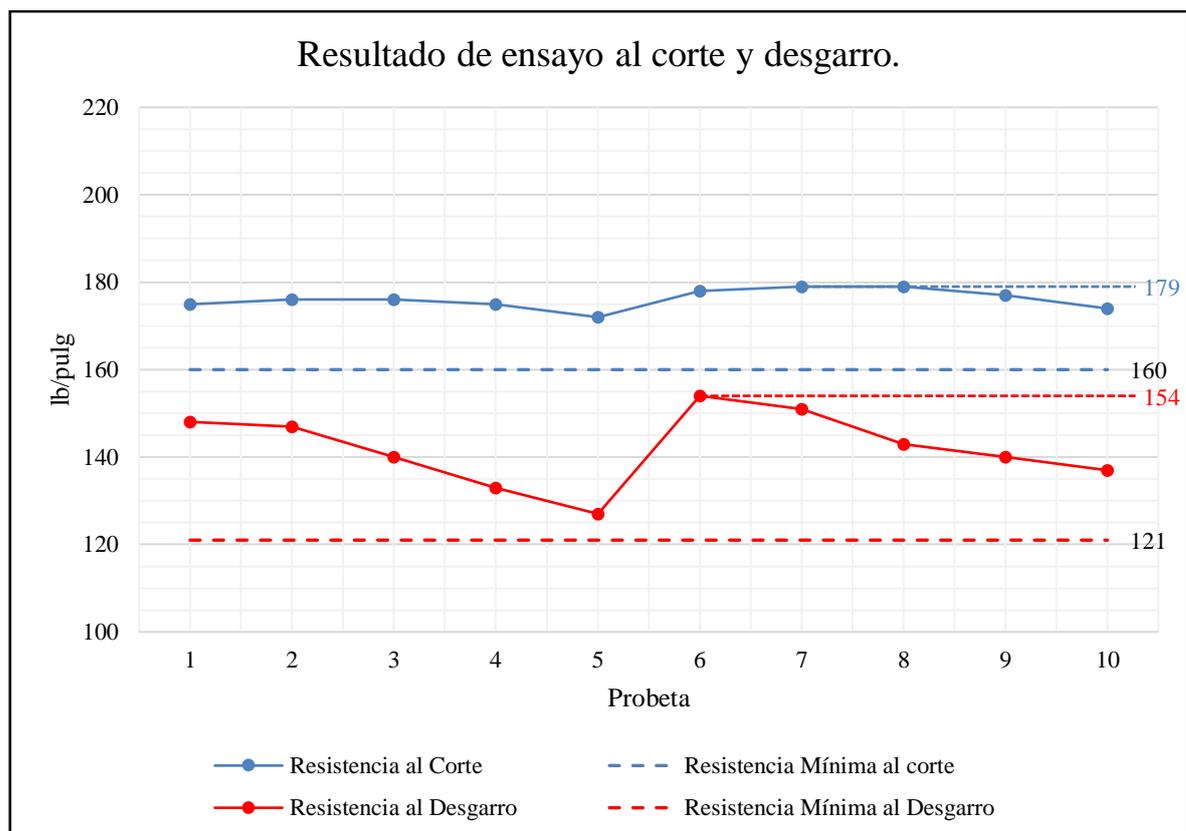


Gráfico 9

Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 8m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Tabla 15

Resultados obtenidos de soldadura por fusión a una velocidad de 9m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

Probeta	Max. resistencia al corte (lb/pulg)	Cumple / Falla	Max. resistencia al desgarro (lb/pulg)	Cumple / Falla
1	155	Falla	122	Cumple
2	157	Falla	125	Cumple
3	160	Cumple	140	Cumple
4	157	Falla	134	Cumple
5	158	Falla	136	Cumple
6	155	Falla	145	Cumple
7	166	Cumple	139	Cumple
8	156	Falla	126	Cumple
9	157	Falla	128	Cumple
10	158	Falla	133	Cumple

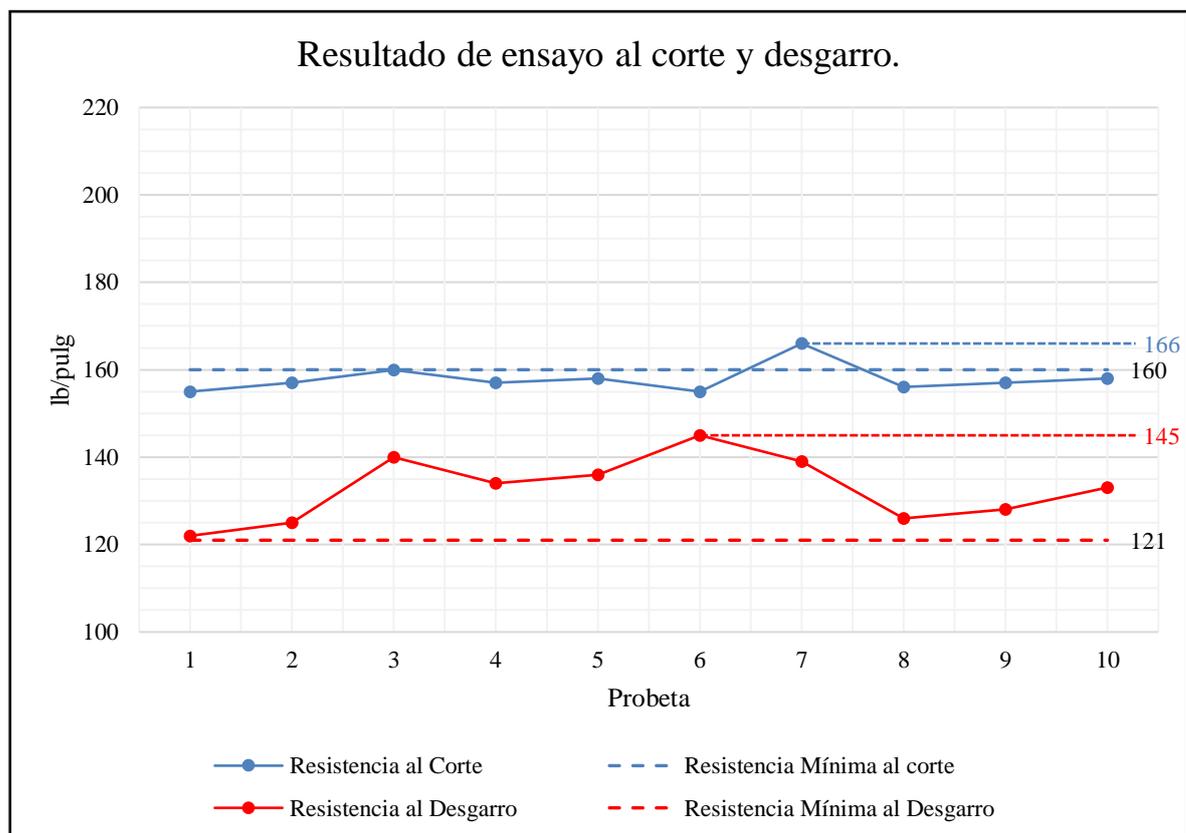


Gráfico 10

Resultados de soldadura por fusión a una velocidad de 9m/min, sometidos a ensayos de corte y desgarro.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

- ✓ De los resultados obtenidos de las probetas ensayadas que fueron soldadas por extrusión contradice a la hipótesis planteada de que conforme aumenta la temperatura de la máquina extrusora desde 250 °C a 290 °C aumenta su resistencia al corte y desgarro, por lo cual a una temperatura de 260 °C y 270 °C es la temperatura idónea para soldar, es en este rango de temperatura que el cordón de HDPE logra una fundición adecuada para soldar por lo cual la resistencia al corte y desgarro cumple con lo que GM-19 establece.
- ✓ Las soldaduras de geomembrana HDPE con temperaturas superiores a los 270 °C en extrusión, fallan por la misma temperatura del cordón HDPE extruido en contacto con la geomembrana HDPE, lo que no pasa con una temperatura de 250 °C ya que no alcanza la temperatura de fundición.
- ✓ De los resultados obtenidos de las probetas ensayadas que fueron soldadas por fusión contradice a la hipótesis planteada de que conforme aumenta la velocidad de la máquina cuña desde 5 m/min hasta 9 m/min. aumenta su resistencia al corte y desgarro, por lo cual a una velocidad de 8 m/min la resistencia al corte y desgarro empieza a disminuir, a 9 m/min la resistencia al corte y desgarro son inferiores a lo requerido en la GM-19.
- ✓ Las soldaduras de geomembrana HDPE por el método de fusión a una velocidad de 9m/min de la máquina cuña, los ensayos fallan debido a dicha velocidad del equipo ya que a mayor velocidad menor contacto de la geomembrana HDPE por lo cual no se logran la fusión entre ambas láminas de geomembrana HDPE.
- ✓ Durante la investigación realizada se tuvo distintas restricciones tales como para los equipos de soldadura, equipos de pruebas destructivas, acceso a las normas ASTM y al Instituto de investigación geosintética (GRI) GM-19.
- ✓ Se recomienda realizar estudios de cómo influye la temperatura ambiente en la resistencia al corte y desgarro en los distintos espesores de geomembrana HDPE.

4.2 Conclusiones

1. Se concluye que los ensayos realizados demuestra que teniendo temperaturas superiores a 260 °C y temperaturas inferiores a 270 °C su resistencia al corte y desgarro se encuentra dentro de lo establecido por GM-19, las probetas soldadas por extrusión a temperatura de 250 °C tienen una falla al corte del 90 % y no presenta fallas al desgarro, a temperatura de 280 °C tienen una falla al corte del 60 % y no presenta fallas al desgarro y a temperatura de 290 °C tienen una falla al corte del 50 % y no presenta fallas al desgarro; en tanto las probetas soldadas por fusión demuestran que a una velocidad de 9m/min tiene una falla al corte del 80% y no presenta fallas al desgarro.
2. Se concluye que los ensayos realizados demuestran que teniendo velocidades superiores a 5 m/min y velocidades inferiores a 8 m/min su resistencia al corte y desgarro se encuentra dentro de lo establecido por GM-19, las probetas soldadas por fusión a una velocidad de 9 m/min tienen una falla al corte del 80 % y no presenta fallas al desgarro.
3. La temperatura óptima para soldar por extrusión la geomembrana HDPE de 2,00 mm será de 260°C, la cual alcanza una resistencia mínima al corte de 165 lb/pulg y una resistencia máxima al desgarro de 159 lb/pulg, la velocidad óptima para soldar por fusión la geomembrana HDPE de 2,00 mm será de 8 m/min, la cual alcanza una resistencia mínima al corte de 172 lb/pulg y una resistencia máxima al desgarro de 127 lb/pulg.

REFERENCIAS

- Breitenbach, A. & Smith, M. (2007) *la historia de la geomembrana en la industria minera*, Lima: Perú.
- Blanco, M., García y De Cea, J. y Sánchez, F. (2008) *Impermeabilización de balsas con geomembrana sintética: control y seguimiento*, pp.1-8.
- Parra, N. y Ovando, E. (2012). *Efectos de la velocidad de deformaciones en la resistencia a la tensión de geomembrana HDPE*, pp.1-8.
- Tejada, O. (2014). *parámetros de soldadura de fusión entre Geomembranas de alta densidad y de baja densidad*, (Tesis de Titulación) Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Rogelio, R. (2012). *Área de Pre-Comisionado & QA/QC – Desarrollo de Proyectos - MYSRL*, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Valencia, G.M. (2011). *Análisis global de una geomembrana de polietileno de alta densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería en Magallanes*. (Tesis de Bachiller). Universidad de Magallanes, Chile.
- evi.com.mx. (12 de junio de 2016). <http://www.evi.com.mx>. Obtenido de http://evi.com.mx/evicom/prod_geomembrana.html
- Beltrán, M. y Marcilla, A. (2012). *Tecnología de polímeros procesados y propiedades*. Universidad Alicante campus de San Vicente: España. [Versión electrónica] Recuperado el 21 de mayo de 2016, de https://books.google.com.pe/books?id=jxilUUUn4_QAC&printsec=frontcover&dq=polimeros&hl=es&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiS253Pkq_NAhUBbiYKHXTeBPQ6AEILjAB#v=onepage&q&f=false
- geosyntheticmaterials.wordpress. (14 de junio de 2016). <http://www.geosyntheticmaterials.wordpress>. Obtenido de <https://geosyntheticmaterials.wordpress.com/2015/10/05/historia-de-las-geomembranas-en-obra-hidraulica/>
- Koerner M. (2012). *Diseño con Geosintéticos, 4ta edición*. Estados Unidos de América
- Díaz, J.F., Escobar O.E., Olivo E.J., (2009). *Aplicación de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de drenaje para carreteras*. (Tesis de Titulación). Universidad de El Salvador, Centro América.
- Contreras, J. Barraza, D. Castro, D. & Vega, A. (2009). *Análisis térmico de geosintéticos utilizados en la rehabilitación de pavimentos*. Ingeniari. Revista Chilena de Ingeniería, Vol. 17 N°1, 2009: Chile. [Versión electrónica] Recuperado el 06 de junio de 2016, de <https://books.google.com.pe/books?id=bpfPrLNo0CkC&pg=PT1&dq=ingeniare+revista+chilena&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjYttaTr8LQAhUKNiYKHTdkBVkQ6wEILTAC#v=onepage&q&f=false>

- Geosistemas Pavco SA. (2009) *Manual de diseño con geosintéticos (octava edición)*. Bogotá D.C.
- quiminet.com. (16 de junio de 2016). <https://www.quiminet.com>. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/los-dos-tipos-de-soldadura-de-geomembranas-2655514.htm>
- quiminet.com. (16 de junio de 2016). <https://www.quiminet.com>. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/los-tipos-de-geomembranas-43531.htm>
- quiminet.com. (16 de junio de 2016). <https://www.quiminet.com>. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-de-las-geomembranas-de-poli-etileno-32083.htm>
- tecoad.com. (18 de junio de 2016). <http://www.tecoad.com> Obtenido de <http://www.tecoad.com/cont/tuberias-hdpe.shtml>
- polyweldusa.com. (10 de abril de 2019). <http://www.polyweldusa.com> Obtenido de <http://polyweldusa.com/extrusion-welders/wb-9000-extrusion-welder/>
- ormaquinarias.com.pe. (14 de junio de 2016). <http://www.ormaquinarias.com.pe/> Obtenido de <http://www.ormaquinarias.com.pe/productos/category/view/128>
- GM-19. (2005). Geosynthetic Research Intitute (GRI) Test Method GM-19. *GM-19*: Copyright © Geosynthetic Intitute.
- ASTM International. (2008). Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods. *ASTM D 6392 – 99*. United States: Copyright © ASTM International.
- ASTM International. (2002). Standard practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes. *ASTM D 4437 – 99*. United States: Copyright © ASTM International.
- ASTM International. (2002). Standard Terminology for *Geosynthetics ASTM D 4439 – 02*. United States: Copyright © ASTM International.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Fotografías.



Fotografía 12
Máquina extrusora.



Fotografía 13
Máquina cuña



Fotografía 14
Tensiómetro



Fotografía 15
Anemómetro



Fotografía 16
Cuponera.



Fotografía 17
Generador y tablero eléctrico.



Fotografía 18
Unión de paneles con aire forzado caliente.



Fotografía 19
Amolado en la unión de los paneles.



Fotografía 20
Soldadura por extrusión



Fotografía 21
Soldadura por fusión



Fotografía 22
Obtención de probetas.



Fotografía 25
Ensayo al desgarro de las probetas



Fotografía 26
Ensayos al corte y desgarro de las probetas.

ANEXO n.º 2. Protocolo al corte y desgarro por extrusión y fusión, resultados al corte y desgarro por extrusión y fusión, GM-19, ASTM D 4437-99, ASTM D 6392-99, Parámetros de soldadura por extrusión y fusión – empresa El Aliso S.R.L., certificado de calibración de tensiómetro DEMTECH ProTester, informe de calibración de tensiómetro DEMTECH ProTester.

PROTOCOLO AL CORTE Y DESGARRO POR EXTRUSIÓN Y FUSIÓN



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA

GEOMEMBRANA HDPE

GRI GM-19

ASTM D6392

TIPO DE SOLDADURA EXTRUSIÓN

FECHA:

Página:

De:

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

ARMENJO COBA HERNÁNDEZ

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEBRANA HDPE:

CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg)

DESGARRO (104 lb/pulg - 455 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)			CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Extrusora	Aire Caliente	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA

APROBADO POR:

ASESOR DE TESIS
M. Cs. Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán

INVESTIGADOR
Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR
Nelson Alberto Llanos Chuquiruna

RESULTADOS AL CORTE Y DESGARRO POR EXTRUSIÓN Y FUSIÓN



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA
GEOMEMBRANA HDPE
ASTM D6392

FECHA: 06/04/2019
Página: 1
De: 10

GRI GM-19
TIPO DE SOLDADURA EXTRUSIÓN

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)			CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg)		DESGARRO (104 lb/pulg - 455 N/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Extrusora	Aire Caliente	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.7	250	170	103.00	Falla	130.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.7	250	170	112.00	Falla	134.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.7	250	170	132.00	Falla	112.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.7	250	170	148.00	Falla	134.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.7	250	170	122.00	Falla	128.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.7	250	170	138.00	Falla	123.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.7	250	170	145.00	Falla	128.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.7	250	170	145.00	Falla	116.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.7	250	170	151.00	Falla	148.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.7	250	170	197.00	Cumple	148.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:


ASESOR DE TESIS
 M. Cs. Ing. Eriyn Giordany Salazar Huamán


INVESTIGADOR
 Edgar Jhony Llanos Chuquiruna


INVESTIGADOR
 Nelson Alberto Llanos Chuquiruna



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA
GEOMEMBRANA HDPE
ASTM D6392
GRI GM-19
TIPO DE SOLDADURA EXTRUSIÓN

FECHA:
06/04/2019

Página: 2

De: 10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE: CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg) DESGARRO (104 lb/pulg - 455 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)			CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Extrusora	Aire Caliente	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.7	260	170	197	Cumple	216	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.7	260	170	207	Cumple	163	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.7	260	170	197	Cumple	159	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.7	260	170	165	Cumple	214	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.7	260	170	201	Cumple	207	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.7	260	170	211	Cumple	201	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.7	260	170	214	Cumple	212	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.7	260	170	201	Cumple	205	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.7	260	170	181	Cumple	220	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.7	260	170	214	Cumple	194	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

ASESOR DE TESIS

M. Cs. Ing. Eriyn Giordany Salazar Huamán

INVESTIGADOR

Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR

Nelson Alberto Llanos Chuquiruna



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA

GEOMEMBRANA HDPE

GRI GM-19

ASTM D6392

TIPO DE SOLDADURA EXTRUSIÓN

FECHA:
06/04/2019

Página:
3

De:
10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE: CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg) DESGARRO (104 lb/pulg - 455 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)				CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA	
		Ambiente	Extrusora	Aire Caliente	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.5	270	170	168	Cumple	146	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.5	270	170	194	Cumple	148	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.5	270	170	174	Cumple	148	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.5	270	170	191	Cumple	148	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.5	270	170	197	Cumple	161	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.5	270	170	194	Cumple	134	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.5	270	170	201	Cumple	141	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.5	270	170	184	Cumple	146	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.5	270	170	171	Cumple	150	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.5	270	170	188	Cumple	150	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

INVESTIGADOR

Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR

Nelson Alberto Llanos Chuquiruna

ASESOR DE TESIS

M. Cs. Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA
GEOMEMBRANA HDPE
ASTM D6392

GRI GM-19
TIPO DE SOLDADURA EXTRUSIÓN

FECHA:
06/04/2019

Página: 4

De: 10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE:

CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg) **DESGARRO (104 lb/pulg - 455 N/pulg)**

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)			CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Extrusora	Aire Caliente	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.5	280	170	145	Falla	137	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.5	280	170	165	Cumple	150	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.5	280	170	158	Falla	139	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.5	280	170	155	Falla	146	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.5	280	170	161	Cumple	139	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.5	280	170	132	Falla	143	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.5	280	170	126	Falla	137	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.5	280	170	158	Falla	132	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.5	280	170	165	Cumple	117	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.5	280	170	181	Cumple	130	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

ASESOR DE TESIS

M. Cs. Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

INVESTIGADOR

Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR

Nelson Alberto Llanos Chuquiruna



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA

GEOMEMBRANA HDPE

GRI GM-19

ASTM D6392

TIPO DE SOLDADURA EXTRUSIÓN

FECHA:
06/04/2019

Página: 5

De: 10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE:

CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg)

DESGARRO (104 lb/pulg - 455 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)			CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Extrusora	Aire Caliente	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.6	290	170	191	Cumple	161	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.6	290	170	174	Cumple	157	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.6	290	170	148	Falla	146	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.6	290	170	174	Cumple	159	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.6	290	170	168	Cumple	150	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.6	290	170	158	Falla	146	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.6	290	170	181	Cumple	163	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.6	290	170	151	Falla	161	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.6	290	170	148	Pasa	150	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.6	290	170	151	Falla	143	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

ASESOR DE TESIS

M. Cs. Ing. Eryln Jordany Salazar Huamán

INVESTIGADOR

Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR

Nelson Alberto Llanos Chuquiruna



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA

GEOMEMBRANA HDPE

ASTM D6392

GRI GM-19

TIPO DE SOLDADURA FUSIÓN

FECHA:
06/04/2019

Página:
6

De:
10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE:

CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg)

DESGARRO (121 lb/pulg - 530 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)		Velocidad de cuña (m/min)	CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Cuña		MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.5	450	5.00	174.00	Cumple	140.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.5	450	5.00	173.00	Cumple	153.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.5	450	5.00	175.00	Cumple	147.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.5	450	5.00	172.00	Cumple	135.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.5	450	5.00	174.00	Cumple	131.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.5	450	5.00	172.00	Cumple	151.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.5	450	5.00	172.00	Cumple	138.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.5	450	5.00	168.00	Cumple	153.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.5	450	5.00	169.00	Cumple	145.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.5	450	5.00	171.00	Cumple	153.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

ASESOR DE TESIS

M. Cs. Ing. Eryln Jordany Salazar Huamán

INVESTIGADOR

Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR

Nelson Alberto Llanos Chuquiruna



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA

GEOMEMBRANA HDPE

ASTM D6392

GRIGM-19

TIPO DE SOLDADURA FUSIÓN

FECHA:
06/04/2019

Página: 7

De: 10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE:

CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg)

DESGARRO (121 lb/pulg - 530 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)		Velocidad de cuña (m/min)	CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Cuña		MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.8	450	6.00	179.00	Cumple	143.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.8	450	6.00	173.00	Cumple	150.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.8	450	6.00	169.00	Cumple	169.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.8	450	6.00	168.00	Cumple	151.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.8	450	6.00	174.00	Cumple	170.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.8	450	6.00	174.00	Cumple	140.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.8	450	6.00	171.00	Cumple	167.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.8	450	6.00	173.00	Cumple	161.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.8	450	6.00	176.00	Cumple	167.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.8	450	6.00	182.00	Cumple	139.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:


ASESOR DE TESIS
M. Cs. Ing. Erlyn Jordany Salazar Huamán


INVESTIGADOR
Edgar Jhony Llanos Chuquiruna


INVESTIGADOR
Nelson Alberto Llanos Chuquiruna

	PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA GEOMEMBRANA HDPE ASTM D6392		FECHA: 06/04/2019
	GRI GM-19	TIPO DE SOLDADURA FUSIÓN	Página: 8
			De: 10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

INVESTIGADORES:

TÉCNICO SOLDADOR:

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)		Velocidad de cuña (m/min)	CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		DESGARRO (121 lb/pulg - 530 N/pulg)		TEXTURADA
		Ambiente	Cuña		MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	
1	06/04/2019	19.4	450	7.00	171.00	Cumple	139.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.4	450	7.00	189.00	Cumple	148.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.4	450	7.00	186.00	Cumple	148.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.4	450	7.00	179.00	Cumple	131.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.4	450	7.00	181.00	Cumple	126.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.4	450	7.00	186.00	Cumple	165.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.4	450	7.00	182.00	Cumple	137.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.4	450	7.00	186.00	Cumple	136.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.4	450	7.00	187.00	Cumple	131.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.4	450	7.00	192.00	Cumple	137.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

 ASESOR DE TESIS M. Cs. Ing. Erlyn Jordany Salazar Huamán	 INVESTIGADOR Edgar Jhony Llanos Chuquiruna	 INVESTIGADOR Nelson Alberto Llanos Chuquiruna
---	---	--



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA

GEOMEMBRANA HDPE

GRI GM-19

ASTM D6392

TIPO DE SOLDADURA FUSIÓN

FECHA:

06/04/2019

Página:

9

De:

10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE:

CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg)

DESGARRO (121 lb/pulg - 530 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)		Velocidad de cuña (m/min)	CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Cuña		MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LÁMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.4	450	8.00	175.00	Cumple	148.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.4	450	8.00	176.00	Cumple	147.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.4	450	8.00	176.00	Cumple	140.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.4	450	8.00	175.00	Cumple	133.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.4	450	8.00	172.00	Cumple	127.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.4	450	8.00	178.00	Cumple	154.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.4	450	8.00	179.00	Cumple	151.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.4	450	8.00	179.00	Cumple	143.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.4	450	8.00	177.00	Cumple	140.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.4	450	8.00	174.00	Cumple	137.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

ASESOR DE TESIS

M. Cs. Ing. Eryn Giordany Salazar Huamán

INVESTIGADOR

Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR

Nelson Alberto Llanos Chuquiruna



PRUEBA INICIAL DE SOLDADURA

GEOMEMBRANA HDPE

ASTM D6392

GRI GM-19

TIPO DE SOLDADURA FUSIÓN

FECHA:
06/04/2019

Página: 10

De: 10

TESIS:

RESISTENCIA AL CORTE Y DESGARRO EN GEOMEMBRANA HDPE

INVESTIGADORES:

LLANOS CHUQUIRUNA EDGAR JHONY / LLANOS CHUQUIRUNA NELSON ALBERTO

TÉCNICO SOLDADOR:

VALORES MÍNIMOS PARA LA GEOMEMBRANA HDPE:

CORTE (160 lb/pulg - 701 N/pulg)

DESGARRO (121 lb/pulg - 530 N/pulg)

PRUEBA N°	FECHA	TEMPERATURA (°C)		Velocidad de cuña (m/min)	CORTE (lb/pulg)		DESGARRO (lb/pulg)		GEOMEMBRANA		
		Ambiente	Cuña		MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	MÁXIMA TRACCIÓN	CUMPLE / FALLA	ESPESOR DE LAMINA (mm)	CALIDAD	TEXTURADA
1	06/04/2019	19.5	450	9.00	155.00	Falla	122.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
2	06/04/2019	19.5	450	9.00	157.00	Falla	125.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
3	06/04/2019	19.5	450	9.00	160.00	Cumple	140.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
4	06/04/2019	19.5	450	9.00	157.00	Falla	134.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
5	06/04/2019	19.5	450	9.00	158.00	Falla	136.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
6	06/04/2019	19.5	450	9.00	155.00	Falla	145.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
7	06/04/2019	19.5	450	9.00	166.00	Cumple	139.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
8	06/04/2019	19.5	450	9.00	156.00	Falla	126.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
9	06/04/2019	19.5	450	9.00	157.00	Falla	128.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA
10	06/04/2019	19.5	450	9.00	158.00	Falla	133.00	Cumple	2.00	HDPE	LISA

APROBADO POR:

INVESTIGADOR

Edgar Jhony Llanos Chuquiruna

INVESTIGADOR

Nelson Alberto Llanos Chuquiruna

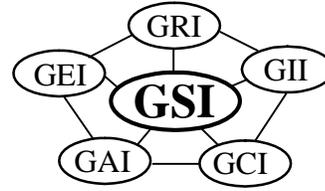
ASESOR DE TESIS

M. Cs. Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

GM-19

Geosynthetic Institute

475 Kedron Avenue
Folsom, PA 19033-1208 USA
TEL (610) 522-8440
FAX (610) 522-8441



Revision 1: May 15, 2003
Revision 2: January 28, 2005
Revision schedule is on pg. 12

GRI Test Method GM19*

Standard Specification for

Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembranes

This specification was developed by the Geosynthetic Research Institute (GRI), with the cooperation of the member organizations for general use by the public. It is completely optional in this regard and can be superseded by other existing or new specifications on the subject matter in whole or in part. Neither GRI, the Geosynthetic Institute, nor any of its related institutes, warrant or indemnifies any materials produced according to this specification either at this time or in the future.

1. Scope

1.1 This specification addresses the required seam strength and related properties of thermally bonded polyolefin geomembranes; in particular, high density polyethylene (HDPE), linear low density polyethylene (LLDPE) and flexible polypropylene both nonreinforced (fPP) and scrim reinforced (fPP-R).

1.2 Numeric values of seam strength and related properties are specified in both shear and peel modes.

Note 1: This specification does not address the test method details or specific testing procedures. It refers to the relevant ASTM test methods where applicable.

1.3 The thermal bonding methods focused upon are hot wedge (single and dual track) and extrusion fillet.

*This GRI standard is developed by the Geosynthetic Research Institute through consultation and review by the member organizations. This specification will be reviewed at least every 2-years, or on an as-required basis. In this regard it is subject to change at any time. The most recent revision date is the effective version.

Note 2: Other acceptable, but less frequently used, methods of seaming are hot air and ultrasonic methods. They are inferred as being a subcategory of hot wedge seaming.

- 1.4 This specification also suggests the distance between destructive seam samples to be taken in the field, i.e., the sampling interval. However, project-specific conditions will always prevail in this regard.
- 1.5 This specification is only applicable to laboratory testing.
- 1.6 This specification 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

- D751 Standard Test Methods for Coated Fabrics
- D6392 Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods

2.2 EPA Standards

- EPA 600/2.88/052 (NTIS PB-89-129670)
Lining of Waste Containment and Other Containment Facilities

2.3 NSF Standards

- NSF International Standard, Flexible Membrane Liners, NSF 54-1993 (depreciated)

2.4 GRI Standards

- GM13 Test Properties, Testing Frequency and Recommended Warranty for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes
- GM14 Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using the Method of Attributes
- GM17 Test Properties, Testing Frequency and Recommended Warranty for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Smooth and Textured Geomembranes
- GM18 Test Properties, Testing Frequency and Recommended Warranty for Flexible Polypropylene (fPP and fPP-R) Geomembranes

3. Definition

- 3.1 Geomembrane, n – An essentially impermeable geosynthetic composed of one or more synthetic sheets used for the purpose of liquid, gas or solid containment.

- 3.2 Hot Wedge Seaming – A thermal technique which melts the two opposing geomembrane surfaces to be seamed by running a hot metal wedge or knife between them. Pressure is applied to the top or bottom geomembrane, or both, to form a continuous bond. Seams of this type can be made with dual bond tracks separated by a nonbonded gap. These seams are referred to as dual hot wedge seams or double-track seams.
- 3.3 Hot Air Seaming – This seaming technique introduces high-temperature air or gas between two geomembrane surfaces to facilitate localized surface melting. Pressure is applied to the top or bottom geomembrane, forcing together the two surfaces to form a continuous bond.
- 3.4 Ultrasonic Seaming - A thermal technique which melts the two opposing geomembrane surfaces to be seamed by running a ultrasonically vibrated metal wedge or knife between them. Pressure is applied to the top or bottom geomembrane, or both, to form a continuous bond. Some seams of this type are made with dual bond tracks separated by a nonbonded gap. These seams are referred to as dual-track seams or double-track seams.
- 3.5 Extrusion Fillet Seaming – This seaming technique involves extruding molten resin at the edge of an overlapped geomembrane on another to form a continuous bond. A deprecated method called “extrusion flat” seaming extrudes the molten resin between the two overlapped sheets. In all types of extrusion seaming the surfaces upon which the molten resin is applied must be suitably prepared, usually by a slight grinding or buffing.

4. Significance and Use

- 4.1 The various methods of field fabrication of seams in polyolefin geomembranes are covered in existing ASTM standards mentioned in the referenced document section. What is not covered in those documents is the numeric values of strength and related properties that the completed seam must meet, or exceed. This specification provides this information insofar as minimum, or maximum, property values are concerned when the field fabricated seams are sampled and laboratory tested in shear and peel. The specification also provides guidance as to what spacing intervals the samples should be taken at typical field installation projects.

5. Sample and Specimen Preparation

- 5.1 The spacing for taking field seam samples for destructive testing is to be 1 per 500 feet (1 per 150 m) of seam length, or as by directed by the construction quality assurance inspector. As the project continues and data is accumulated, however, this sampling interval should be varied according to the procedure set forth in GRI GM14. Following this procedure three different situations can result.

- 5.1.1 Good seaming with fewer rejected test results than the preset historic average can result in a sequential increase in the spacing interval, i.e., one per greater than 500 ft. (one per greater than 150 m).
- 5.1.2 Poor seaming with more rejected test results than the preset historic average can result in a sequential decrease in the spacing interval, i.e., one per less than 500 ft. (one per less than 150 m).
- 5.1.3 Average seaming with approximately the same test results as the preset historic average will result in the spacing interval remaining the same, i.e., one per 500 ft. (one per 150 m).

Note 3: The method of attributes referred to in GRI GM14 is only one of several statistical strategies that might be used to vary sampling frequency. The use of control charts should also be considered in this regard.

- 5.2 The size of field seam samples is to be according to the referenced test method, e.g., ASTM D6392 or site-specific CQA plan.
- 5.3 The individual test specimens taken from the field seam samples are to be tested according to the referenced test method, i.e., ASTM D6392 for HDPE, LLDPE and fPP, and ASTM D751 (as modified by NSF 54) for fPP-R. The specimens are to be conditioned prior to testing according to these same test methods and evaluated accordingly.

6. Assessment of Seam Test Results

- 6.1 HDPE seams – For HDPE seams (both smooth and textured), the strength of four out of five 1.0 inch (25 mm) wide strip specimens in shear should meet or exceed the values given in Tables 1(a) and 1(b). The fifth must meet or exceed 80% of the given values. In addition, the shear percent elongation, calculated as follows, should exceed the values given in Tables 1(a) and 1(b):

$$E = \frac{L}{L_o}(100) \quad (1)$$

where

E = elongation (%)

L = extension at end of test (in. or mm)

L_o = original average length (usually 1.0 in. or 25 mm)

Note 4: The assumed gage length is considered to be the unseamed sheet material on either side of the welded area. It generally will be 1.0 in. (25 mm) from the edge of the seam to the grip face.

For HDPE seams (both smooth and textured), the strength of four out of five 1.0 in. (25 mm) wide strip specimens tested in peel should meet or exceed the values given in Tables 1(a) and 1(b). The fifth must meet or exceed 80% of the given values.

In addition, the peel separation (or incursion) should not exceed the values given in Tables 1(a) and 1(b). The value shall be based on the proportion of area of separated bond to the area of the original bonding as follows:

$$S = \frac{A}{A_0}(100) \quad (2)$$

where

S = separation (%)

A = average area of separation, or incursion (in² or mm²)

A₀ = original bonding area (in² or mm²)

Note 5: The area of peel separation can occur in a number of nonuniform patterns across the seam width. The estimated dimensions of this separated area is visual and must be done with care and concern. The area must not include squeeze-out which is part of the welding process.

Note 6: It should be recognized that ASTM D6392 recommends that peel separation be based on the linear measurement of incursion depth. This specification is based on incursion area which is felt to be more indicative of the behavior of peel separation.

Regarding the locus-of-break patterns of the different seaming methods in shear and peel, the following are unacceptable break codes per their description in ASTM D6392 (in this regard, SIP is an acceptable break code);

Hot Wedge: AD and AD-Brk > 25%

Extrusion Fillet: AD1, AD2 and AD-WLD (unless strength is achieved)

6.2 LLDPE seams – For LLDPE seams (both smooth and textured), the strength of four out of five 1.0 in. (25 mm) wide strip specimens in shear should meet or exceed the values given in Table 2(a) and 1(b). The fifth must meet or exceed 80% of the given values. In addition, the shear percent elongation, calculated as follows, should exceed the values given in Tables 2(a) and 2(b).

$$E = \frac{L}{L_0}(100) \quad (1)$$

where

E = elongation (%)
L = extension at end of test (in. or mm)
L_o = original average length (usually 1.0 in. or 25 mm)

Note 4: The assumed gage length is considered to be the unseamed sheet material on either side of the welded area. It generally will be 1.0 in. (25 mm) from the edge of the seam to the grip face.

For LLDPE seams (both smooth and textured), the strength of four out of five 1.0 in. (25 mm) wide strip specimens tested in peel should meet or exceed the values given in Tables 2(a) and 2(b). The fifth must meet or exceed 80% of the given values.

In addition, the peel separation (or incursion) should not exceed the values given in Tables 2(a) and 2(b). The value shall be based on the proportion of area of separated bond to the area of the original bonding as follows:

$$S = \frac{A}{A_o}(100) \quad (2)$$

where

S = separation (%)
A = average depth of separation, or incursion (in.² or mm²)
A_o = original bonding distance (in.² or mm²)

Note 5: The area of peel separation can occur in a number of nonuniform patterns across the seam width. The estimated dimensions of this separated area is visual and must be done with care and concern. The area must not include squeeze-out which is part of the welding process.

Note 6: It should be recognized that ASTM D6392 recommends that peel separation be based on the linear measurement of incursion depth. This specification is based on incursion area which is felt to be more indicative of the behavior of peel separation.

Regarding the locus-of-break patterns of the different seaming methods in shear and peel, the following are unacceptable break codes per their description in ASTM D6392 (in this regard, SIP is an acceptable break code);

Hot Wedge: AD and AD-Brk > 25%
Extrusion Fillet: AD1, AD2, AD-WLD (unless strength is achieved)

6.3 fPP Seams – For fPP seams (both nonreinforced and scrim reinforced), the strength of four out of five specimens in shear should meet or exceed the values given in

Tables 3(a) and 3(b). The fifth must meet or exceed 80% of the given values. Note that the unreinforced specimens are 1.0 in. (25 mm) wide strips and the scrim reinforced specimens are 4.0 in. (100 mm) wide grab tests. In addition, the shear percent elongation on the unreinforced specimens, calculated as follows, should exceed the values given in Tables 3(a) and 3(b).

$$E = \frac{L}{L_o}(100) \quad (1)$$

where

E = elongation (%)

L = extension at end of test (in. or mm)

L_o = original gauge length (usually 1.0 in. or 25 mm)

Note 4: The assumed gage length is considered to be the unseamed sheet material on either side of the welded area. It generally will be 1.0 in. (25 mm) from the edge of the seam to the grip face.

Shear elongation is not relevant to scrim reinforced geomembranes and as such is listed as “not applicable” in Table 3(a) and 3(b).

For fPP seams (both nonreinforced and scrim reinforced), the strength of four out of five specimens in peel should meet or exceed the values given in Tables 3(a) and 3(b). The fifth must meet or exceed 80% of the given values. Note that the unreinforced specimens are 1.0 in. (25 mm) wide strips and the scrim reinforced specimens are grab tests. In addition, the peel percent separation (or incursion) should not exceed the values given in Tables 3(a) and 3(b). The values should be based on the proportion of area of separated bond to the area of the original bonding as follows.

$$S = \frac{A}{A_o}(100) \quad (2)$$

where

S = separation in (%)

A = average depth of separation, or incursion (in.² or mm²)

A_o = original bonding distance (in.² or mm²)

Note 5: The area of peel separation can occur in a number of nonuniform patterns across the seam width. The estimated dimensions of this separated area is visual and must be done with care and concern. The area must not include squeeze-out which is part of the welding process.

Note 6: It should be recognized that ASTM D6392 recommends that peel separation be based on the linear measurement of incursion depth. This specification is based on incursion area which is felt to be more indicative of the behavior of peel separation.

Regarding the locus-of-break patterns of the different seaming methods in shear and peel, the following are unacceptable break codes per their description in ASTM D6392 (in this regard, SIP is an acceptable break code);

Hot Wedge: AD and AD-Brk > 25%

Extrusion Fillet: AD1, AD2 and AD-WLD (unless strength is achieved)

7. Retest and Rejection

7.1 If the results of the testing of a sample do not conform to the requirements of this specification, retesting to determine conformance or rejection should be done in accordance with the construction quality control or construction quality assurance plan for the particular site under construction.

8. Certification

8.1 Upon request of the construction quality assurance officer or certification engineer, an installer's certification that the geomembrane was installed and tested in accordance with this specification, together with a report of the test results, shall be furnished at the completion of the installation.

Table 1(a) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Smooth and Textured High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes (**English Units**)

Geomembrane Nominal Thickness	30 mils	40 mils	50 mils	60 mils	80 mils	100 mils	120 mils
Hot Wedge Seams⁽¹⁾							
shear strength ⁽²⁾ , lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , lb/in.	45	60	76	91	121	151	181
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams							
shear strength ⁽²⁾ , lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , lb/in.	39	52	65	78	104	130	156
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

Notes for Tables 1(a) and 1(b):

1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods
2. Value listed for shear and peel strengths are for 4 out of 5 test specimens; the 5th specimen can be as low as 80% of the listed values
3. Elongation measurements should be omitted for field testing

Table 1(b) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Smooth and Textured High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes (**S.I. Units**)

Geomembrane Nominal Thickness	0.75 mm	1.0 mm	1.25 mm	1.5 mm	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm
Hot Wedge Seams⁽¹⁾							
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm.	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm	197	263	333	398	530	661	793
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams							
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm	170	225	285	340	455	570	680
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

Table 2(a) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Smooth and Textured Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Geomembranes (English Units)

Geomembrane Nominal Thickness	20 mils	30 mils	40 mils	50 mils	60 mils	80 mils	100 mils	120 mils
Hot Wedge Seams⁽¹⁾								
shear strength ⁽²⁾ , lb/in.	30	45	60	75	90	120	150	180
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , lb/in.	25	38	50	63	75	100	125	150
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams								
shear strength ⁽²⁾ , lb/in.	30	45	60	75	90	120	150	180
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , lb/in.	22	34	44	57	66	88	114	136
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25	25

Notes for Tables 2(a) and 2(b):

1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods
2. Values listed for shear and peel strengths are for 4 out of 5 test specimens; the 5th specimen can be as low as 80% of the listed values
3. Elongation measurements should be omitted for field testing

Table 2(b) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Smooth and Textured Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Geomembranes (S.I. Units)

Geomembrane Nominal Thickness	0.50 mm	0.75 mm	1.0 mm	1.25 mm	1.5 mm	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm
Hot Wedge Seams⁽¹⁾								
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm	131	197	263	328	394	525	657	788
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm	109	166	219	276	328	438	547	657
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams								
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm	131	197	263	328	394	525	657	788
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50	50
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm	95	150	190	250	290	385	500	595
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25	25

Table 3(a) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Nonreinforced and Reinforced Flexible Polypropylene (fPP) Geomembranes (English Units)

Geomembrane Nominal Thickness	30 mil-NR	40 mil-NR	36 mil-R ⁽⁴⁾	45 mil-R ⁽⁴⁾
Hot Wedge Seams⁽¹⁾				
shear strength ⁽²⁾ , lb/in. (NR); lb (R)	25	30	200	200
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	n/a	n/a
peel strength ⁽²⁾ , lb/in. (NR); lb (R)	20	25	20	20
peel separation, %	25	25	n/a	n/a
Extrusion Fillet Seams				
shear strength ⁽²⁾ , lb/in. (NR); lb (R)	25	30	200	200
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	n/a	n/a
peel strength ⁽²⁾ , lb/in. (NR); lb (R)	20	25	20	20
peel separation, %	25	25	n/a	n/a

Notes for Tables 3(a) and 3(b):

1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods
2. Values listed for shear and peel strengths are for 4 out of 5 test specimens; the 5th specimen can be as low as 80% of the listed values
3. Elongation measurements should be omitted for field testing
4. Values are based on grab tensile strength and elongations per D751 for laboratory tested specimens

Table 3(b) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Nonreinforced and Reinforced Flexible Polypropylene (fPP) Geomembranes (S.I. Units)

Geomembrane Nominal Thickness	0.75 mm-NR	1.0 mm-NR	0.91 mm-R ⁽⁴⁾	1.14 mm-R ⁽⁴⁾
Hot Wedge Seams⁽¹⁾				
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm (NR); N (R)	110	130	890	890
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	n/a	n/a
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm (NR); N (R)	85	110	90	90
peel separation, %	25	25	n/a	n/a
Extrusion Fillet Seams				
shear strength ⁽²⁾ , N/25 mm (NR); N (R)	110	130	890	890
shear elongation ⁽³⁾ , %	50	50	n/a	n/a
peel strength ⁽²⁾ , N/25 mm (NR); N (R)	85	110	90	90
peel separation, %	25	25	n/a	n/a

Adoption and Revision Schedule

for

Seam Specification per GRI-GM19

“Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembranes”

Adopted: February 18, 2002

Revision 1: May 15, 2003; Increased selected shear and peel test requirements, per the following:

Material	Test	Seam Type	Current GM19	Proposed GM19	Difference
HDPE	Shear	Hot Wedge Extrusion	95% yield 95% yield	95% yield 95% yield	no change no change
	Peel	Hot Wedge Extrusion	62% yield 62% yield	72% yield 62% yield	16% increase no change
LLDPE	Shear	Hot Wedge Extrusion	1300 psi break 1300 psi break	1500 psi break 1500 psi break	15% increase 15% increase
	Peel	Hot Wedge Extrusion	1100 psi break 1100 psi break	1250 psi break 1100 psi break	14% increase no change

Revision 2: January 28, 2005; added Note 6 (in three locations) stating that incursion is measured on an area basis and not depth as in ASTM D6392.

ASTM D 4437-99



Standard Practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes¹

This standard is issued under the fixed designation D 4437; 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 (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This practice is intended for use as a summary of destructive and nondestructive quality control test methods for determining the integrity of field seams used in the joining of flexible sheet materials in a geotechnical application. This practice outlines the test procedures available for determining the quality of bonded seams. Any one or combination of the test methods outlined in this practice can be incorporated into a project specification for quality control. These test methods are applicable to manufactured flexible polymeric membrane linings that are scrim reinforced or nonreinforced.

1.2 The types of field seams covered by this practice include the following:

1.2.1 *Thermally Bonded Seams:*

1.2.1.1 *Hot Air*—A seam produced by applying high-temperature air or gas between two polymeric sheet surfaces, thus melting the surfaces, at which time pressure is applied to form a homogeneous bond between the two membrane surfaces.

1.2.1.2 *Hot Wedge (or Knife)*—A seam produced by melting the two intimate surfaces by running a hot metal wedge between the surfaces followed immediately by pressure to form a homogeneous bond.

1.2.1.3 *Extrusion*—A bonded seam produced by extruding molten parent material between or at the edge of two overlapped polymer sheet materials to effect a homogeneous melt between the two sheets to be joined.

1.2.2 *Solvent Bonded Seams*—A solvent is used to soften the surfaces to be bonded, followed by pressure to form a homogeneous bond.

1.2.3 *Bodied Solvent Bonded Seams*—The parent lining polymer material is dissolved in a solvent that is then applied in the same manner as a straight solvent, thus effecting a homogeneous bond.

1.2.4 *Adhesive Bonded or Cemented Seams*—An adhesive system is used to bond two polymeric surfaces together. This system forms an adhesive bond between the sheet materials.

1.2.5 *Taped Seams*—An adhesive-based tape is placed between two polymer sheet materials forming a surface bond.

1.2.6 *Waterproofed Sewn Seams*—Seam fabricated by mechanical sewing of the overlapped sheet materials and sealed with an appropriate sealant as recommended by the sheet manufacturer.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. 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 413 Test Methods for Rubber Property—Adhesion to Flexible Substrate²

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing³

D 816 Methods of Testing Rubber Cements²

3. Significance and Use

3.1 The increased use of geomembranes as barrier materials to restrict liquid migration from one location to another in soil and rock, and the large number of seam methods and types used in joining these geomembrane sheets, has created a need for standard tests by which the various seams can be compared and the quality of the seam systems can be evaluated. This practice is intended to meet such a need.

4. Materials and Manufacture

4.1 The geomembrane sheet material shall be formulated from the appropriate polymers and compounding ingredients to form a plastic or elastomer sheet material that meets all specified requirements for the end use of the product. The sheet material (reinforced or nonreinforced) shall be capable of being bonded to itself by one of the methods described in 1.2 in accordance with the sheet manufacturer's recommendations and instructions.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.10 on Geomembranes.

Current edition approved March 10, 1999. Published March 2001. Originally published as D 4437–84. Discontinued January 1998 and reinstated as D 4437–99. Last previous edition D 4437–84 (1988).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 09.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

5. Sampling for Destructive Test Methods

5.1 *Field Fabricated Startup Seam*—The installation contractor shall provide a representative seam fabricated from the same sheet material and using the same seaming methods as those recommended by the geomembrane sheet manufacturer. The startup seam shall be no less than 10 ft (3 m) in length and shall be provided at the start of each day's or shift's seaming. Cut random samples for shear and peel testing from the startup seam. Allow the seam to cure or age properly before testing in accordance with manufacturer's directions.

5.2 *Field Cutout*—For a minimum of one sample per seaming crew per day, cut a 2-ft (0.61-m) long section of the fabricated seam from the installed lining. The cutout section shall be wide enough to accommodate peel and shear testing as in 6.2 and 6.3. Cut random specimens for peel and shear testing from the sample. The frequency of cutouts can be determined by the size of the geomembrane installation and may require only one or two cutouts. Patch the resulting hole with an oval-shaped piece of sheet material and seam in accordance with the manufacturer's instructions. Before testing, allow the cutout seam to cure or age properly in accordance with manufacturer's directions.

6. Destructive Test Methods

6.1 These test methods are applicable only at sites where access to a testing laboratory is readily available, where project scheduling will allow offsite testing, or where a portable test laboratory is available.

6.2 *Peel Testing*—Follow Test Methods D 413, Method A, or Methods D 816, Method C, using a minimum of five 1-in. (25.4-mm) wide specimens, a gage length of 1 in. (25.4 mm) (grips positioned ½ in. (13.0 mm) on either side of the start of seam bond), and a constant machine crosshead speed of 2 in./min (51 mm/min). The seam overlap length shall be as fabricated in the field. Fully support the test specimen within the grips across the width of the specimen.

6.3 *Shear Testing*—Follow Methods D 816, Method B, using a minimum of five 1-in. (25.4-mm) wide specimens for unreinforced sheet materials. For reinforced sheet materials, the following procedure shall be used: Prepare a minimum of five 2-in. (51-mm) wide specimens for reinforced sheet materials with the field seam at the center of the test specimen and perpendicular to the centerline. Grip separation shall be 2 in. (51 mm) plus the width of the seam with the seam centered between the grips. Crosshead speed shall be 2 in./min (51 mm/min). The seam overlap shall be as fabricated in the field. Fully support the test specimen within the grips across the width of the specimen.

7. Nondestructive Test Methods

7.1 For all test methods listed below, any and all flaws in seam construction that are detected under a given test procedure shall be repaired. All nondestructive test methods listed are not necessarily applicable to all polymeric geomembrane materials.

7.2 *Air Lance Test*—Inspect all field seams for unbonded areas using an air nozzle directed on the upper seam edge and surface to detect loose edges, ripples indicating unbonded areas within the seam, or other undesirable seam conditions. Check

all bonded seams using a minimum 50 psi (345 kPa) (gage) air supply directed through a ⅜ in. (4.8 mm) (typical) nozzle, held not more than 2 in. (51 mm) from the seam edge and directed at the seam edge.

7.3 *Vacuum Box Testing*—Inspect all field seams for unbonded areas by applying a vacuum to a soaped section of seam. The vacuum shall be applied by a vacuum box equipped with a vacuum gage, a clear glass view panel in the top, and a soft rubber gasket on the periphery of the open bottom⁴. Thoroughly soap a section of the seam and place the inspection box over the soaped seam section and the gasket sealed to the liner. Apply a vacuum between 4 and 8 in. (122 and 244 mm) of mercury (Hg) to the box by use of a gasoline or electric-driven power vacuum pump apparatus. The applied vacuum will show bubbles over unbonded areas; the unbonded areas can then be marked for repair.

7.4 *Ultrasonic (High Frequency) Pulse Echo Testing*—Test all nonreinforced field seams by passing a high frequency sound wave through the seam overlap to detect discontinuities in the bonded seam. A commercially available frequency generator capable of producing frequencies in the range of 5 to 15 MHz shall be used. The contact send/receive transducer head shall be the width of the bonded seam width and shall be capable of being moved at the rate of 5 to 7 ft/min (1.5 to 2.1 m/min) along the surface length of the seam area. The transducer head shall be so designed as to give continuous surface to surface thickness measurements once calibrated. Assure good contact of the test head with the lining surface by providing a continuous contact medium (water) at the interface between test head and lining. The ultrasonic signal shall be capable of being viewed on a monitor and capable of triggering an audible alarm when a discontinuity is detected. Discontinuities shall be marked after detection.

7.5 *Mechanical Point Stressing*—This test method shall be used as a qualitative measure of edge bonding. A blunt instrument (for example, a screwdriver) shall be run along the edge of the field seam to find obvious unbonded areas. The procedure shall not puncture or otherwise damage the sheet material. Perform point stressing only after the seam has had sufficient time to cure in accordance with manufacturer's directions. This test method is not applicable to all materials, especially those that are easily punctured.

8. Report

8.1 The report shall include the following:

8.1.1 Complete identification of geomembrane system, including type of polymer, source, thickness, reinforced or nonreinforced sheeting,

8.1.2 Complete identification of field seaming system used, including material, method, temperatures, seam width, cure time, and date of fabrication of field seams,

8.1.3 Quality control test or tests used as outlined in this practice,

8.1.4 Complete description of field sampling procedure, number of test specimens, and size of test specimens,

⁴ A vacuum box similar to the Series A 100 Straight Seam Tester as supplied by the American Parts and Service Company, 2201 West Commonwealth Avenue, P.O. Box 702, Alhambra, CA 91802 has been found satisfactory.

8.1.5 Conditioning procedure prior to destructive seam testing,

8.1.6 Type of tensile machine used, grip separation, cross-head speed, grip surface texture, grip dimensions, and grip pressure,

8.1.7 Method of recording loading and determining average load for destructive test methods,

8.1.8 Average, maximum, and minimum peel and shear load values in pounds per inch (kilograms per millimetre) of width for individual specimens,

8.1.9 Type of failure in the peel and shear tests, that is,

within the adhesive system, within the sheet material, clamp edge, or seam edge, for each individual specimen, and

8.1.10 For nondestructive testing, the type of nondestructive test and number of apparent failures and repairs per 100 ft (30.5 m) of seam.

9. Precision and Bias

9.1 No statement is made about either the precision or bias of this practice since it merely refers to available destructive and nondestructive methods which could be used in determining the quality of bonded seams.

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).

ASTM D 6392-99



Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods¹

This standard is issued under the fixed designation D 6392; 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 (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method describes destructive quality control and quality assurance tests used to determine the integrity of geomembrane seams produced by thermo-fusion methods. This test method presents the procedures used for determining the quality of nonbituminous bonded seams subjected to both peel and shear tests. These test procedures are intended for nonreinforced geomembranes only.

1.2 The types of thermal field seaming techniques used to construct geomembrane seams include the following.

1.2.1 *Hot Air*—This technique introduces high-temperature air or gas between two geomembrane surfaces to facilitate melting. Pressure is applied to the top or bottom geomembrane, forcing together the two surfaces to form a continuous bond.

1.2.2 *Hot Wedge (or Knife)*—This technique melts the two geomembrane surfaces to be seamed by running a hot metal wedge between them. Pressure is applied to the top or bottom geomembrane, or both, to form a continuous bond. Some seams of this kind are made with dual bond tracks separated by a nonbonded gap. These seams are sometimes referred to as dual hot wedge seams or double-track seams.

1.2.3 *Extrusion*—This technique encompasses extruding molten resin between two geomembranes or at the edge of two overlapped geomembranes to effect a continuous bond.

1.3 The types of materials covered by this test method include the following.

- 1.3.1 *Very Low Density Polyethylene (VLDPE)*.
- 1.3.2 *Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)*.
- 1.3.3 *Very Flexible Polyethylene (VFPE)*.
- 1.3.4 *Linear Medium Density Polyethylene (LMDPE)*.
- 1.3.5 *High Density Polyethylene (HDPE)*.
- 1.3.6 *Polyvinyl Chloride (PVC)*.
- 1.3.7 *Flexible Polypropylene (fPP)*.

NOTE 1—The polyethylene identifiers presented in 1.3.1-1.3.5 describe the types of materials typically tested using this test method. These are industry accepted trade descriptions and are not technical material classifications based upon material density.

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 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics²
- D 882 Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting²
- D 4439 Terminology for Geotextiles³
- D 5199 Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geotextiles and Geomembranes³
- D 5994 Test Method for Measuring the Core Thickness of Textured Geomembranes³

2.2 EPA Standards:

- EPA/600/2-88/052 Lining of Waste Containment and Other Containment Facilities; Appendix N, Locus of break codes for various types of FML seams⁴

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *geomembrane, n*—qn essentially impermeable geosynthetic composed of one or more synthetic sheets.

3.1.2 *quality assurance, n*—all planned and systematic actions necessary to provide adequate confidence that an item or a facility will perform satisfactorily in service.

3.1.3 *quality control, n*—the operational techniques and the activities, which sustain a quality of material, product, system, or service that will satisfy given needs; also the use of such techniques and activities.

4. Significance and Use

4.1 The use of geomembranes as barrier materials to restrict liquid migration from one location to another in soil and rock has created a need for a standard test method to evaluate the

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.10 on Geomembranes.

Current edition approved April 10, 1999. Published July 1999.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.13.

⁴ Available from the Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, DC 20402.

quality of geomembrane seams produced by thermo-fusion methods. In the case of geomembranes, it has become evident that geomembrane seams can exhibit separation in the field under certain conditions. Although this is an index type test method used for quality assurance and quality control purposes, it is also intended to provide the quality assurance engineer with sufficient seam peel and shear data to evaluate seam quality. Recording and reporting data, such as separation that occurs during the peel test and elongation during the shear test, will allow the quality assurance engineer to take measures necessary to ensure the repair of inferior seams during facility construction, and therefore, minimize the potential for seam separation in service.

5. Apparatus

5.1 Tensile instrumentation shall meet the requirements outlined in Test Method D 638.

5.2 *Grip Faces*—Grip faces shall be 25 mm (1 in.) wide and a minimum of 25 mm (1 in.) in length. Smooth rubber, fine serrated or coarse serrated grip faces have all been found to be suitable for testing geomembrane seams.

6. Sample and Specimen Preparation

6.1 *Seam Samples*—Cut a portion of the fabricated seam sample from the installed liner in accordance with the project specifications. It is recommended that the cutout sample be 0.3 m (1 ft) wide and 0.45 m (1.5 ft) in length with the seam centered in the middle.

6.2 *Specimen Preparation*—Ten specimens shall be cut from the sample submittal. The specimens shall be die cut using a 25 mm (nominal 1 in.) wide by a minimum of 150 mm (nominal 6 in.) long die. Specimens that will be subjected to peel and shear tests shall be selected alternately from the sample and labeled as shown in Fig. 1. Specimens shall be cut such that the seam is perpendicular to the longer dimension of the strip specimen.

6.3 *Conditioning*—Samples should be conditioned for 40 h in a standard laboratory environment that conforms to the

requirements for testing geosynthetics as stated in Terminology D 4439. Long sample conditioning times typically are not possible for most applications that require seam testing. Prior to testing, samples should be conditioned for a minimum of 1 h at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and a relative humidity between 50 and 70 %.

7. Destructive Test Methods

7.1 *Peel Testing*—Subject five specimens to the 90° “T-Peel” test (see Fig. 2). If the tested sample is a dual hot wedge seam, five specimens must be examined for each external track of the seam. Maintaining the specimen in a horizontal position throughout the test is not required. Fully grip the test specimen across the width of the specimen. Grip the peel specimen by securing grips 25 mm (1 in.) on each side of the start of the seam bond, a constant machine cross head speed of 50 mm (2 in.)/min for HDPE, LMDPE, and PVC, 500 mm (20 in.)/min for LLDPE, VLDPE, VFPE, and fPP. The test is complete when the specimen ruptures.

7.2 *Shear Testing*—Subject five specimens to the shear test (see Fig. 2). Fully support the test specimen within the grips across the width of the specimen. Secure the grips 25 mm (1 in.) on each side of the start of the seam bond, a constant machine cross head speed of 50 mm (2 in.)/min for LMDPE and HDPE, 500 mm (20 in.)/min for fPP, LLDPE, VFPE, VLDPE, and PVC. The test is complete for HDPE and LMDPE once the specimen has elongated 50 %. PVC, fPP, LLDPE, VFPE and VLDPE geomembranes should be tested to rupture.

NOTE 2—Both peel and shear tests for fPP, LLDPE, VLDPE, and PVC geomembranes have been tested routinely at both 2 and 20 in./min. When conducting seam peel or shear testing for quality control, or quality assurance purposes, or both, it may be necessary to select the manufacturer’s recommended testing speed. In the absence of explicit testing speed requirements, follow those recommended in 7.1 and 7.2.

8. Calculations and Observations

8.1 *Estimate of Seam Peel Separation*—Visually estimate the seam separation demonstrated prior to rupture for peel specimens. The estimate shall be based upon the proportion of

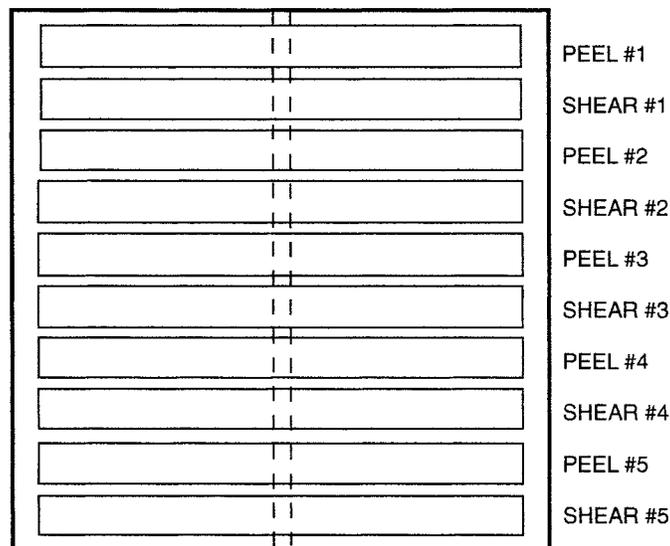


FIG. 1 Seam Sample

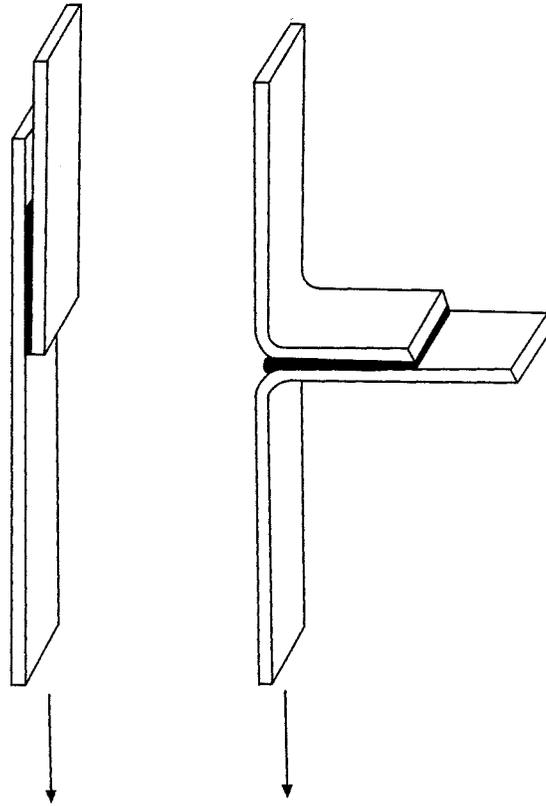


FIG. 2 Shear and T-Peel Specimens

linear length of separated bond in the direction of the test, to the length of original bonding to the nearest 25 %.

NOTE 3—During the thermo-fusion welding process, some of the melted polymer may be shifted to the outside of the weld during the pressing of the geomembrane panels together. This melted polymer is sometimes called “squeeze-out” or “bleed out” and is not considered part of the bond. Care must be exercised during estimation of the seam peel separation to segregate the squeeze or bleed out length from the peeled bond length. The reported peel separation shall include the peeled bond length only.

8.2 *Rupture Mode Selection*—Determine the locus of break for both the peel and shear specimens as shown in Figs. 3 and 4. The locus of break for shear specimens that do not rupture prior to test end (50 % elongation) shall be interpreted as occurring in the membrane that exhibits yielding.

8.3 *Shear Percent Elongation*—Calculate the percent elongation on shear specimens according to Eq 1. Divide the extension at test end by the original gage length of 25 mm and multiply by 100.

$$\text{Elongation} = E \frac{L}{L_0} \times 100 \tag{1}$$

where:

- L = extension at test end, and
- L_0 = original gage length.

NOTE 4—The intent of measuring elongation using this test method is to identify relatively large reductions in typical break elongation values of seam samples. Length is defined as the distance from one grip to the seam edge. Using this definition implies that all strain experienced by the

specimen during the shear test occurs on one side of the seam. Of course this assumption is inaccurate, since some strain will occur on each side of the seam, and in the seam area itself; however, it is difficult to make an accurate measurement of the strain distribution which occurs in the specimen during testing. Further, it is not critical to know the exact location of all the strain which occurs during testing but rather to simply identify when significant reductions in elongation (when compared with the typical elongation of a new material) have occurred.

9. Report

9.1 The report shall include the following information.

9.1.1 Report the individual peel and shear specimen maximum unit tension values in N/mm of width (lb/in.).

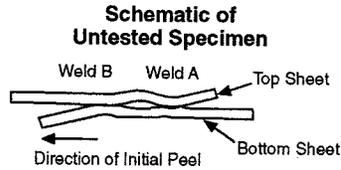
NOTE 5—If requested, report the maximum peel or shear stress. This calculation will require an accurate measurement of thickness for each specimen. These measurements should be made in accordance with Test Method D 5199 for smooth geomembranes and Test Method D 5994 for textured geomembranes.

9.1.2 Report the cross head speed used during peel and shear testing.

9.1.3 Report the average of the individual peel and shear sample values recorded.

9.1.4 If the peel or shear specimen does not rupture, report the elongation at the maximum cross-head travel limitation. If the gage length is reduced to less than 25 mm (1 in.), this must be noted in the report.

9.1.5 Report the mode of specimen rupture for peel and shear specimens according to Fig. 3 or Fig. 4.



Types of Break	Location of Break Code	Break Description
	AD	Adhesion Failure
	BRK	Break in sheeting. Break can be in either top or bottom sheet
	SE1	Break in outer edge of seam. Break can be in either top or bottom sheet.
	SE2	Break at inner edge of seam through both sheets.
	AD-BRK	Break in first seam after some adhesion failure. Break can be in either top or bottom sheet.
	SIP	Separation in the plane of the sheet. Break can be in either top or bottom sheet.

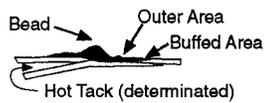
FIG. 3 Locus-of-Break Codes for Dual Hot Wedge Seams in Unreinforced Geomembranes Tested for Seam Strength in Shear and Peel Modes

NOTE 6—"Locus-of-Failure" (Figs. 3 and 4) include only some of the typically found seam configurations found in the industry. When this test method is applied to seams bonded in configurations other than those identified in Fig. 3 or Fig. 4, the users of this test method must agree on applicable descriptions for modes of specimen rupture.

10. Precision and Bias

10.1 No statement can be made at this time concerning precision or bias.

Schematic of Untested Specimen



Types of Break	Location of Break Code	Break Description
	AD1	Failure in adhesion. Specimens may also delaminate under the bead and break through the thin extruded material in the outer area.
	AD2	Failure in adhesion.
	AD-WLD ⁽¹⁾	Break through the fillet.
	SE1	Break at seam edge in the bottom sheet (applicable to shear only).
	SE2	Break at seam edge in the top sheet (applicable to shear only).
	SE3	Break at seam edge in the bottom sheet (applicable to peel only).
	BRK1	Break in the bottom sheeting. A "B" in parentheses following the code means the specimen broke in the buffed area.
	BRK2	Break in the top sheeting. A "B" in parentheses following the code means the specimen broke in the buffed area.
	AD-BRK	Break in the bottom sheeting after some adhesion failure between the fillet and the bottom sheet.
	HT	Break at the edge of the hot tack for specimens which could not be delaminated in the hot tack.
	SIP	Separation in the plane of the sheet.

(1) Acceptance of AD-WLD breaks may depend on whether test values meet a minimum specification value.

FIG. 4 Locus-of-Break Codes for Fillet Extrusion Weld Seams in Unreinforced Geomembranes Tested for Seam Strength in Shear and Peel Modes

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).

PARÁMETROS DE SOLDADURA POR EXTRUSIÓN Y FUSIÓN – EMPRESA EL ALISO SRL



PARÁMETROS DE SOLDADURA POR EXTRUSIÓN Y FUSIÓN

La empresa EL ALISO SERVICIOS GENERALES S.R.L. viene trabajando en el rubro de geosintéticos desde el año 2009, por la experiencia adquirida por parte de la empresa y personal profesional Ing. Oscar Tejada Solano que viene trabajando 20 años con geosintéticos. Se viene trabajando con una temperatura promedio de 275 °C para soldadura por extrusión con una temperatura estándar de aire forzado caliente de 170 °C y con una velocidad promedio de 6 m/min para soldadura por fusión y una temperatura estándar de la maquina cuña de 450° C para una lámina de 2 mm.

Los datos proporcionados a los bachilleres en Ingeniería Civil Edgar Jhony Llanos Chuquiruna y Nelson Alberto Llanos Chuquiruna son con fines académicos.

Atte,

"EL ALISO" SERVICIOS GENERALES S.R.L.

Ing. Narciso Llanos Tafur
GERENTE GENERAL
DNI: 76658213

Ing. Oscar Tejada S.
CIP: 173447



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE TENSÍOMETRO DEMTECH PROTESTER

CERTIFICADO DE CALIBRACION

N° CMA-013-2018

EXP. :177

Pág. 1 de 1

1. **SOLICITANTE** : **EL ALISO SERVICIOS GENERALES S.R.L.**
DIRECCION : JR Las Orquideas Nro. 174 Bar. Chontapaccha Cajamarca - Cajamarca - Cajamarca

INSTRUMENTO DE MEDICION: TERMOANEMOMETRO

Marca	: EXTECH	Alcance de Indicación:	(0,5 a 28,0) m/s
Modelo	: 45118	Resolución	: 0,1 m/s
N° de serie	: 9884611	Procedencia	: China
Identificación	: No indica	Sensor	: De velocta

2. **FECHA Y LUGAR DE LA CALIBRACION**
 Calibrado el 2018-08-01, en el Laboratorio de Calibración CALIOMET S.R.L.

3. **METODO DE CALIBRACION**
 La calibracion se efectuó por comparación directa con patrones calibrados.

4. **TRAZABILIDAD**
 Los resultados de la calibración tienen trazabilidad al Anemómetro Marca Control Company con Certificado de Calibración 4330-8394140 de la NIST U.S.A. y un Termómetro Patrón con Certificado de Calibración LT-387-2017 del DM-INACAL.

5. **RESULTADOS**

UNIDAD	LECTURA INSTRUMENTO	LECTURA PATRON	TOLERANCIA	INCERTIDUMBRE	CONFORMIDAD
m/s	9,4	9,0	8,2 – 9,8	0,2 m/s	Paso
m/s	19,2	19,6	18,8 – 20,4	0,2 m/s	Paso

UNIDAD	LECTURA INSTRUMENTO	LECTURA PATRON	TOLERANCIA	INCERTIDUMBRE	CONFORMIDAD
°C	21,0	21,3	20,3 – 22,3	0,5 °C	Paso

La incertidumbre de la medición es calculada con un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza aproximado del 95 %.

CONDICIONES DE CALIBRACION:

Temperatura Ambiental: $20,5 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ °C}$

Humedad relativa: $51 \% \pm 3 \%$

6. **OBSERVACIONES:**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- Según las especificaciones el instrumento tiene las siguientes tolerancias $\pm(3 \% \text{ lectura} + 0,2 \text{ m/s})$ para velocidad y $\pm 1 \text{ °C}$ para temperatura.
- La periodicidad de la calibración está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.




 ARTURO
 ORTIZ VARGAS MACHUCA
 INGENIERO FÍSICO

Ing. Arturo Ortiz Vargas Machuca
 Gerente de Servicio Metrológico

INFORME DE CALIBRACIÓN DE TENSÍOMETRO DEMTECH PROTESTER

INFORME DE CALIBRACION

N° CMM-047-2018

EXP.: 177

Pág. 1 de 4

1. **SOLICITANTE** : **EL ALISO SERVICIOS GENERALES S.R.L.**
DIRECCION : JR. LAS ORQUIDEAS NRO. 174 BAR. CHONTAPACCHA CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA.

2. **EQUIPO DE MEDICION: TENSIOMETRO ELECTRICO**
Marca : DEMTECH Capacidad : 750 lbf
Modelo : PRO – TESTER T-0100/A Exactitud : No indica
N° de serie : PT-7579 Resolución : 0,1 Lb
Velocidad de Ensayo : 2 in/min y 20 in/min
Código de Identifi. : **TEN-05 / MM22-005**
CELDA (2)
Modelo : SSM-AJ-750 Capacidad : 750 lbf
N° de serie : 692980 y 691318

3. **FECHA Y LUGAR DE LA MEDICION**
Desde el 2018-07-30 al 2018-08-02, en el Laboratorio de Calibración CALIOMET S.R.L.

4. **METODO DE MEDICION**
Se tomo como referencia el Método C de la Norma ASTM E 4-09a utilizando una maquina universal de ensayos, celda patrón y un juego de pesas patrón.

5. **EQUIPO EMPLEADO**
Se utilizaron los siguientes equipos:
Termohigrometro Patrón de código AH-001 con Certificado de Calibración LT-017-2017 del DM -INACAL– Perú.
Juego de Pesas Patrón con Certificado de Calibración LM-802-2015, LM-135-2016 y LM-973-2014 del DM INACAL – Perú.
Cronometro patrón con Certificado N° 1045-9213430 / 2016-02 con trazabilidad a la NIST U.S.A.
Regla Metálica con Certificado N° LLA-436-2017 del DM-INACAL – Perú.

6. **RESULTADOS**
Los resultados se muestran en las siguientes páginas.

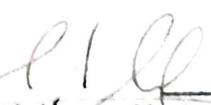
CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO:

Temperatura Ambiental: 21,5 °C ± 0,5 °C Humedad relativa: 65 % ± 5 %

7. **OBSERVACIONES:**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- Las mediciones del instrumento son el promedio de tres lecturas.
- Se verifico hasta aproximadamente 200 kg .
- La periodicidad de la calibración está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.




Ing. Arturo Ortiz Vargas Machuca ARTURO
Coordinador del Área Metrología ORTIZ VARGAS MACHUCA
INGENIERO FÍSICO
Reg. CIP N° 113997

El presente documento debidamente sellado y firmado es válido para el instrumento en su estado, bajo las condiciones que prevalecían bajo la prueba y no debe estar reproducido parcial ni totalmente sin previa y expresa autorización de CALIOMET S.R.L. del Perú

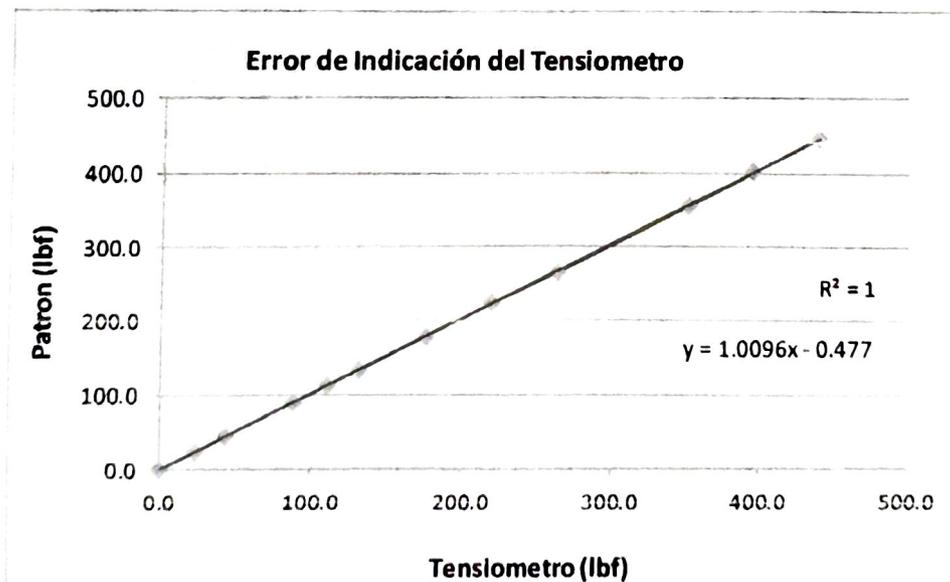
N° CMM-047-2018

Pág. 2 de 4

ENSAYO CELDA N° Serie: 692980

RESULTADOS

PATRON (lbf)	EQUIPO (lbf)	DESVIACION (lbf)	ERROR (%)
0.0	0.0	0.0	0
24.2	24.0	-0.2	1
44.1	44.5	0.4	-1
88.2	88.6	0.4	0
110.2	111.0	0.8	-1
132.2	133.0	0.8	-1
176.3	177.0	0.7	0
220.4	222.2	1.8	-1
264.5	265.0	0.5	0
352.6	354.0	1.4	0
396.7	400.5	3.8	-1
440.8	446.3	5.5	-1



CONDICION: CONFORME

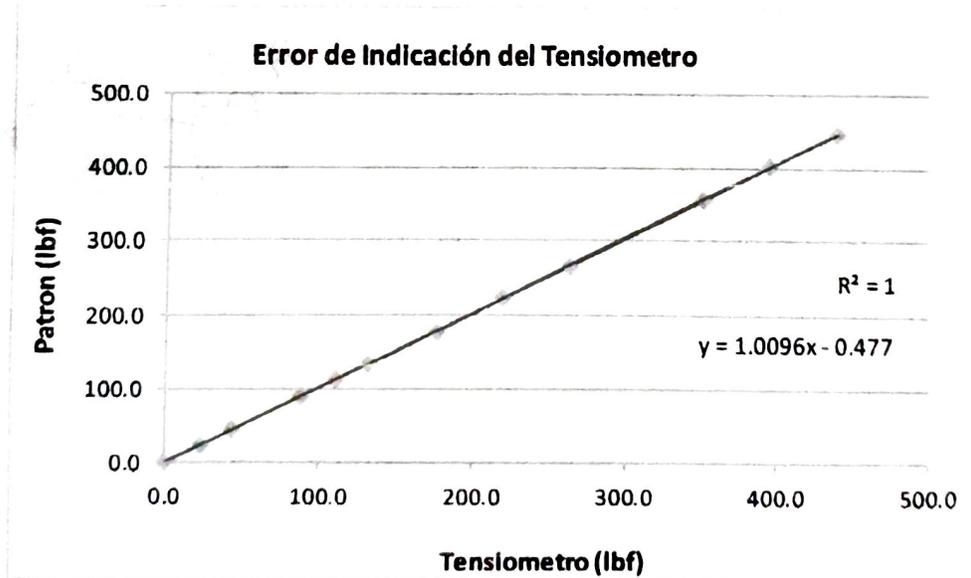


N° CMM-047-2018

Pág. 3 de 4

ENSAYO CELDA N° Serie: 691318

PATRON (lbf)	EQUIPO (lbf)	DESVIACION (lbf)	ERROR (%)
0.0	0.0	0.0	0
24.2	24.0	-0.2	1
44.1	44.5	0.4	-1
88.2	88.6	0.4	0
110.2	111.0	0.8	-1
132.2	133.0	0.8	-1
176.3	177.0	0.7	0
220.4	222.2	1.8	-1
264.5	265.0	0.5	0
352.6	354.0	1.4	0
396.7	400.5	3.8	-1
440.8	446.3	5.5	-1



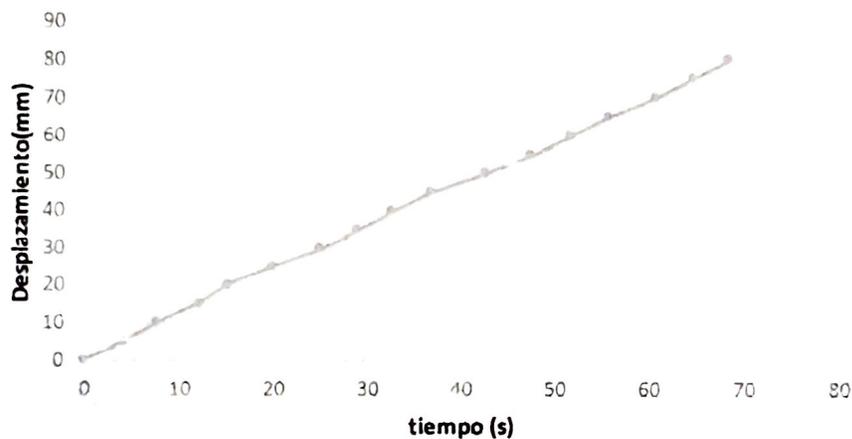
CONDICION: CONFORME



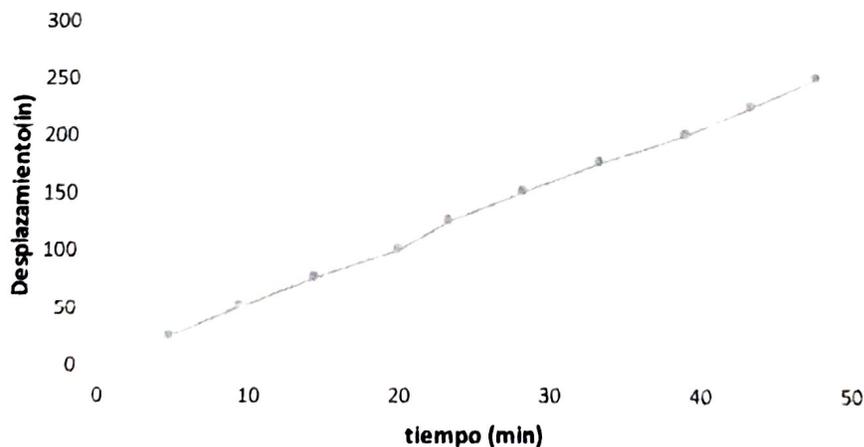
El presente documento debidamente sellado y firmado es válido para el instrumento en su estado, bajo las condiciones que prevalezcan bajo la prueba y no debe estar reproducido parcial ni totalmente sin previa y expresa autorización de CALIOMET S.R.L. del Perú

Se realizó la calibración de la velocidad (desplazamiento vs. Velocidad) para la velocidad de 2 in/min y 20 in/min utilizando un cronómetro patrón y una regla patrón obteniendo un error inferior a 3 % .

Ensayo para 20 in/min (8.46 m/s)



Ensayo para 2 in/min



FIN DEL DOCUMENTO

