



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach: Jorge Rafael Quispe Ortiz

Asesor:

Ing. Wilmer Salcedo Rebaza

Cajamarca - Perú

2020

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a los señores Flavio Quispe Cáceres, Jesús Malaver Alcalde y Susana Vigo Nevado por ser pilar fundamental de mi educación personal.

A mis padres Jorge Luis Quispe Malaver y Beatriz Ortiz Vigo por estar siempre acompañarme en cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis familiares por apoyarme incondicionalmente en cada paso formativo el cual he seguido.

A mis profesores por colaborar con mi proceso de enseñanza.

A mi asesor, Ing. Wilmer Salcedo Rebaza por el apoyo incondicional brindado en la realización de esta investigación.

A la empresa Puruay San José S.R.L. por haberme brindado las facilidades para elaborar mi tesis, resaltando el apoyo de las áreas de Control De Calidad, Supervisión en campo y Gerencia.

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE GRÁFICOS	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
Polímeros	17
Geosintéticos	19
Soldaduras en geomembrana	32
Control de calidad en geosintéticos	34
1.2. Formulación del Problema	43
1.3. Objetivos	43
1.3.1. Objetivo General	43
1.3.2. Objetivos específicos	43
1.4. Hipótesis	44
1.4.1. Hipótesis específicas	45
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	46
1.5. Tipo de Investigación	46
1.6. Materiales, instrumentos y métodos	46
1.6.1. Población:	46
1.6.2. Muestra:	46
1.6.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	47
1.7. Procedimiento	47
Acción de despliegue	47
Despliegue de material con equipo pesado	47
Capa de acondicionamiento geotextil oz8/yd2	49
Proceso de instalación de geotextil	49
Capa de resistencia geonet triclinar	49
Capa primaria y secundaria con geomembrana HDPE 1.5mm - 2.0 mm	49
Proceso de soldadura por termofusión	49
Proceso de soldadura por extrusión	52
Proceso de pruebas de control de calidad en geosintéticos	58
CAPÍTULO III. RESULTADOS	64
CARACTERÍSTICAS INICIALES DE POZA	64
Características de instalación por capa:	70
MATERIAL NECESARIO POR CAPA	71
Geotextil	71
Geomembrana HDPE 1.5 mm (Capa Secundaria)	71
Geonet Triclinar	71

Geomembrana HDEPE 2.0 mm (Capa Primaria).....	71
Extruido de detalle (Parches y Cierres)	71
COSTOS CONSTRUCCIÓN POZA DE AGUAS EN EXCESO.....	72
Dimensiones iniciales:	72
Costo de material por capa	73
Costo instalación por capa.....	74
Costo general.....	75
ANÁLISIS CONTROL DE SOLDADURAS CAPA PRIMARIA Y SECUNDARIA	76
Capa Secundaria Geomembrana Lisa HDPE 1.5 mm	76
Capa Primaria	96
<i>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</i>	<i>124</i>
Discusión.....	124
Conclusiones	133
<i>REFERENCIAS</i>	<i>141</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>143</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espesor de Geomembranas	26
Tabla 2 Clasificación por Material	27
Tabla 3 Valores Para Uniones Según Producto	63
Tabla 4 Puntos de Replanteo	64
Tabla 5 Costos y condiciones iniciales por material laminar	72
Tabla 6 Costos y condiciones iniciales para soldadura extruida.	72
Tabla 7 Costo de material por capa.....	73
Tabla 8 Costo de instalación por capa	74
Tabla 9 Costo total de revestimiento poza de aguas en exceso	75
Tabla 10 Testeos a 9°C Capa Secundaria (Extrusión)	76
Tabla 11 Promedio de testeos capa secundaria 9°C (Extrusión).....	76
Tabla 12 Testeos a 11°C Capa Secundaria (Extrusión)	78
Tabla 13 Promedio de testeos capa secundaria 11°C (Extrusión)	78
Tabla 14 Testeos a 12°C Capa Secundaria (Extrusión)	80
Tabla 15 Promedio de testeos capa secundaria 12°C (Extrusión)	80
Tabla 16 Testeos a 13°C Capa Secundaria (Extrusión)	82
Tabla 17 Promedio de testeos capa secundaria 13°C (Extrusión)	82
Tabla 18 Testeos a 14°C Capa Secundaria (Extrusión)	84
Tabla 19 Promedio de testeos capa secundaria 14°C (Extrusión)	84
Tabla 20 Testeos a 9°C Capa Secundaria (Termofusión)	86
Tabla 21 Promedio de testeos capa Secundaria 9°C (Termofusión)	86
Tabla 22 Testeos a 11°C Capa Secundaria (Termofusión)	88
Tabla 23 Promedio de testeos capa Secundaria 11°C (Termofusión)	88
Tabla 24 Testeos a 12°C Capa Secundaria (Termofusión)	90
Tabla 25 Promedio de testeos capa Secundaria 12°C (Termofusión)	90
Tabla 26 Testeos a 13°C Capa Secundaria (Termofusión)	92
Tabla 27 Promedio de testeos capa Secundaria 13°C (Termofusión)	92
Tabla 28 Testeos a 14°C Capa Secundaria (Termofusión)	94
Tabla 29 Promedio de testeos capa Secundaria 14°C (Termofusión)	94
Tabla 30 Testeos a 10°C Capa Primaria (Extrusión)	96

Tabla 31 Promedio de testeos capa Primaria 10°C (Extrusión)	96
Tabla 32 Testeos a 11°C Capa Primaria (Extrusión).....	98
Tabla 33 Promedio de testeos capa Primaria 11°C (Extrusión)	98
Tabla 34 Testeos a 12°C Capa Primaria (Extrusión).....	100
Tabla 35 Promedio de testeos capa Primaria 12°C (Extrusión)	100
Tabla 36 Testeos a 13°C Capa Primaria (Extrusión).....	102
Tabla 37 Promedio de testeos capa Primaria 13°C (Extrusión)	102
Tabla 38 Testeos a 14°C Capa Primaria (Extrusión).....	104
Tabla 39 Promedio de testeos capa Primaria 14°C (Extrusión)	104
Tabla 40 Testeos a 10°C Capa Primaria (Termofusión)	106
Tabla 41 Promedio de testeos capa Primaria 10°C (Termofusión)	106
Tabla 42 Testeos a 11°C Capa Primaria (Termofusión).....	108
Tabla 43 Promedio de testeos capa Primaria 11°C (Termofusión)	108
Tabla 44 Testeos a 12°C Capa Primaria (Termofusión).....	110
Tabla 45 Promedio de testeos capa Primaria 12°C (Termofusión)	110
Tabla 46 Testeos a 13°C Capa Primaria (Termofusión).....	112
Tabla 47 Promedio de testeos capa Primaria 13°C (Termofusión)	112
Tabla 48 Testeos a 14°C Capa Primaria (Termofusión).....	114
Tabla 49 Promedio de testeos capa Primaria 14°C (Termofusión)	114
Tabla 50 Consolidado soldadura por extrusión de soldadura Capa Secundaria.....	116
Tabla 51 Consolidado soldadura por termofusión de soldadura Capa Secundaria	118
Tabla 52 Consolidado soldadura por extrusión de soldadura Capa Primaria.....	120
Tabla 53 Consolidado soldadura por termofusión de soldadura Capa Primaria	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1 Geosintéticos como separador.....	20
Imagen 2 Geosintéticos como Filtración.....	21
Imagen 3 Geosintéticos como Drenaje	21
Imagen 4 Geosintéticos como Refuerzo	22
Imagen 5 Geosintéticos como Flujo/Gas	22
Imagen 6 Geosintéticos como control de erosión.....	22
Imagen 7 Esquema de la polimerización del monómero de etileno	31
Imagen 8 Unión por Termofusión	33
Imagen 9 Unión por Extrusión	34
Imagen 10 Cuña Caliente Wedge-If 2000.....	40
Imagen 11 Termofusora MAL-558.D.....	41
Imagen 12 Tensiómetro 2501440	43
Imagen 13 Aseguramiento para despliegue.....	48
Imagen 14 Despliegue con equipo pesado	48
Imagen 15 Soldadura Por Temofusión.....	51
Imagen 16 Característica Soldadura por Termofusión	52
Imagen 17 Vista Frontal Soldadura por Termofusión	52
Imagen 18 Pegado Primario Soldadura Extruida.....	54
Imagen 19 Amolado Soldadura Extruida	55
Imagen 20 Colocación de Cobre Soldadura Extruida.....	55
Imagen 21 Soldadura por Extrusión	56
Imagen 22 Soldadura Extruida	57
Imagen 23 Vista Frontal Soldadura Extruida	57
Imagen 24 Cuponeo Pruebas	59
Imagen 25 Distribución de Probetas Según Prueba.....	59
Imagen 26 Pruebas en Soldadura Extruida	60
Imagen 27 Pruebas en Soldadura por Fusión	60
Imagen 28 Prueba de Corte	60
Imagen 29 Prueba de Desgarro.....	61
Imagen 30 Prueba de Desgarro en Campo	61

Imagen 31 Prueba de Corte en Campo.....	62
Imagen 32 Testeos Terminados y Fuente de Datos	62
Imagen 33 Soldadura por termofusión en paneles.....	144
Imagen 34 Equipo de cuña caliente en ejecución	144
Imagen 35 Instalación de cobre previo a soldadura por extrusión	145
Imagen 36 Soldadura por extrusión (Instalación de parche)	145
Imagen 37 Probetas testeadas	146
Imagen 38 Tensiómetro por ser aprobado Munsch	146
Imagen 39 Toma de datos en campo.....	147
Imagen 40 Conformación de sangría en tubería de ZAN	147
Imagen 41 Tendido capa secundaria.....	148
Imagen 42 Tendido capa secundaria poza de bombas	148
Imagen 43 Despliegue de capa secundaria desde zona acceso de mantenimiento.	149

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Terreno inicial poza de aguas en exceso vista superior.....	66
Gráfico 2 Vista frontal posa de aguas en exceso. (Detalle A-A).....	67
Gráfico 3 Vista lateral posa de aguas en exceso. (Detalle B-B).....	67
Gráfico 4 Orden y conformación por capa.....	68
Gráfico 5 Detalle conformación acceso de mantenimiento	68
Gráfico 6 Detalle zanja de anclaje	69
Gráfico 7 Detalle conformación de bota (Sección C-C).....	69
Gráfico 8 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 9°C (Extrusión)	77
Gráfico 9 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Extrusión)	79
Gráfico 10 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Extrusión)	81
Gráfico 11 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Extrusión)	83
Gráfico 12 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Extrusión)	85
Gráfico 13 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 9°C (Termofusión)	87
Gráfico 14 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Termofusión) ...	89
Gráfico 15 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Termofusión) ...	91
Gráfico 16 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Termofusión) ...	93
Gráfico 17 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Termofusión) ...	95
Gráfico 18 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 10°C (Extrusión)	97
Gráfico 19 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Extrusión)	99
Gráfico 20 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Extrusión).....	101
Gráfico 21 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Extrusión)	103
Gráfico 22 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Extrusión)	105
Gráfico 23 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 10°C (Termofusión) .	107
Gráfico 24 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Termofusión) .	109
Gráfico 25 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Termofusión) .	111
Gráfico 26 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Termofusión) .	113
Gráfico 27 Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Termofusión) .	115
Gráfico 28 Consolidado soldadura por extrusión Capa Secundaria	116
Gráfico 29 Consolidado soldadura por extrusión temperatura equipo- temperatura ambiente	117

Gráfico 30 Consolidado soldadura por termofusión Capa Secundaria	118
Gráfico 31 Consolidado soldadura por termofusión – Velocidad promedio equipo.	119
Gráfico 32 Consolidado soldadura por extrusión Capa Primaria	120
Gráfico 33 Consolidado soldadura por extrusión temperatura equipo- temperatura ambiente	121
Gráfico 34 Consolidado soldadura por termofusión Capa Primaria.....	122
Gráfico 35 Consolidado soldadura por termofusión – Velocidad promedio equipo.	123

RESUMEN

En el presente estudio se determinó la conformación y diseño de una poza de aguas en exceso para minería a cielo abierto, se contó con análisis completo de tendido de las cuatro capas de geosintéticos con un costo total bruto estimado de construcción de 524.453.66 US\$ del cual el 12,26% es el representa costo de conformación el resto es netamente comprendido por la obtención de 192 rollos de geotextil 8oz/y² , 90 rollos de geomembrana HDPE lisa 1.5mm , 122 rollos de geonet triclinar, 91 rollos de geomembrana HDPE lisa 2.0 mm y 18 cajas con cordón de soldadura extruida HDPE 5mm, así mismo se realizó testeos en tensiómetro (Pwt 2501440) para analizar y determinar los parámetros óptimos de soldadura en equipos Munsch MAK-58D (Soldadura por extrusión) y Platic Weldin Technologies Wedge-It 2000 (Soldadura por termofusión). teniendo como fuente de análisis pruebas de corte y desgarro con un total de 1000 datos analizados, a temperatura ambiente cambiante, basados en normas de control de calidad ASTM 6392 y GM-19.

Palabras clave: Conformación con geomembrana, Geotextil, Geonet, Geomembrana HDPE, Temperatura Ambiente, Extrusión, Termofusión.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería moderna considerada uno de los ejes principales para la economía de gran parte de países sudamericanos tiene un sinnúmero de actividades conectadas que dependen una de la otra para poder realizarse, en estas actividades la gran mayoría tiene una demanda de suministros diferentes de acuerdo a su rubro, sin embargo, en gran parte de estas la presencia de agua es significativa tanto para procesos productivos como para consumo del personal presente en la operación. La preservación y almacenamiento de grandes cantidades de agua es de tal importancia en la industria minera que ha masificado la construcción de grandes centros de acopio los cuales son cada vez más necesarios para el correcto suministro del vital elemento, por lo mismo la construcción de pozas contenedoras con revestimiento de material impermeable da pie a la utilización de polímeros de alta densidad siendo las más utilizadas las Geomembranas HDPE.

La instalación de geomembrana en pozas de grandes dimensiones cuenta con diferentes técnicas para su correcto acondicionamiento entre las cuales tenemos la instalación propiamente dicha y los procesos de control de calidad, fundamentales para el correcto funcionamiento del centro de acopio.

(Chavez I. , 2018) Hoy en día las tendencias a nivel mundial, exigen a las instituciones privadas y públicas establecer métodos de control de calidad que se aplican a los geosintéticos.

(Augusto, 2018) En el sector minero antiguamente no había protección al medio ambiente, gracias a ello nace la instalación con geomembrana generando un aseguramiento y control de calidad para la entrega final del producto. La minería informal genera más contaminación

que una minera formal por falta de conocimiento y un estudio especializado donde indique los requerimientos a seguir.

(Chavez R. J., 2015) Desde 1960 con el polietileno utilizado como geomembrana en Alemania pasando por las primeras capas conocida como PVC, CSPE o Polietileno Clorulfanatado llegamos a los revestimientos utilizados en la industria minera desde 1970, respondiendo a la necesidad de revestimiento en pozas de evaporación, lixiviación en pilas y presas de relaves.

(Fausto, 2014) Las especiales características físico - químicas de la geomembrana de polietileno las hacen ideales como barrera de contención, pero para hacer efectivo esta barrera de todo un sistema de láminas, estas deben estar unidas por técnicas de soldadura, cuyas uniones son sometidas a pruebas de calidad antes y después de la unión soldada de las láminas en campo, de tal manera que garantice la estanqueidad de la sustancia contenida.

(Pacheco, 2013) Los geosintéticos se han empleado en Perú desde principios de la década de los 80's. Su uso actual en proyectos de pavimentación es masivo y las experiencias obtenidas a través del tiempo con estos novedosos materiales han demostrado sus bondades y sus limitaciones dentro del ambiente nacional. Un estudio del mercado de geosintéticos en el país permite concluir que en Perú existe una oferta suficiente de estos materiales. Algunas empresas nacionales han apostado a la fabricación y comercialización de geosintéticos de muy alta calidad

(Llanos Chuquiruna & Llanos Chuquiruna, 2019) Los hermanos Llanos en su tesis titular concluyen que en sus ensayos realizados las temperaturas de soldado superiores a 260 °C y 270 °C cumplen con las condiciones establecidas por GM-19 teniendo en cuenta una soldadura por fusión con velocidad no mayor a 8m/min. Sin embargo, la contemplación de

la temperatura no fue considerada ya que la ubicación y el muestreo fueron realizados en condiciones no paralelas a las condiciones en campo la temperatura ambiente no baria de manera concreta ya que el promedio de temperatura que sostienen no baja de 19 °C por lo tanto en condiciones in situ el clima se tendría que considerar, así como la ubicación geográfica del trabajo ejecutado.

La extensión de la Geomembrana debe estar de acuerdo con las condiciones climáticas, dirección del viento, calidad de la superficie, acceso al sitio y cronograma de instalación. (Aquiapruf S.A., 2015).

Historia de Geosintéticos

(Breitenbach & Smith, 2007)El primer uso de geomembranas a gran escala en la minería se dio probablemente en las pozas solares de Tenneco Minerals en Utah, EEUU, o en las de la Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM) en el Norte de Chile. Tenneco instaló 230 hectáreas (ha) en 1970, y las primeras instalaciones de SQM se llevaron a cabo aproximadamente durante el mismo tiempo y con el mismo tamaño. Antes de esto, su aplicación en la minería se daba mayormente en pequeñas pozas químicas. En muchas de las primeras operaciones de oro y plata, construidas entre 1974 y 1983 en Nevada, se utilizaba revestimientos de tierra de baja permeabilidad, si bien para 1983 los revestimientos de geomembrana ya se hacían más comunes. La lixiviación en pilas de cobre a gran escala empezó en Chile en 1980 con el proyecto Lo Aguirre. A principios de 1990 Chile tenía alrededor de 10 operaciones grandes de lixiviación en pilas; hoy existen docenas de ellas y estas utilizan geomembranas.

El polietileno de muy baja densidad (VLDPE) fue utilizado por primera vez en aplicaciones pequeñas, a mediados de los ochentas, y para la contención de relaves revestidos de mayor

envergadura, como la presa de relaves de oro de Ridgeway (South Carolina, EEUU, 1986). En la primera gran presa que incluía una barrera principal de geomembranas para la contención de la filtración, se utilizó VLDPE, (TS Ranch Dam, Nevada), en 1989. Otra aplicación de estas en minería de gran escala fue una poza solar para una instalación que contenía una solución de potasio, ubicada al noroeste de Argentina, en la que se cubrieron 12 hectáreas, en 1992. Desafortunadamente, la alta exposición ultravioleta dio como resultado un serio deterioro del revestimiento y el posterior abandono de la poza, en el transcurso de un año. El VLDPE hizo un ingreso mayor en la industria de las pozas de lixiviación en los noventa, ya que la relativamente alta elongación multi-axial del material y su buena resistencia a la fricción ofrecían beneficios para el diseño de estas. Su uso en la lixiviación en pilas continuó aumentando, hasta que se discontinuó en 1994. En el transcurso de 2 años, sin embargo, varias fórmulas de polietileno de revestimiento de baja densidad (LLDPE) comenzaron a convertirse en el revestimiento preferido para las pozas de lixiviación debido a la elongación mejorada y la resistencia a la fricción, en comparación con el HDPE. La primera gran geomembrana compuesta, utilizada para el revestimiento de una poza de lixiviación, fue la del proyecto de oro del valle Zortman-Landusky, en Montana, la cual fue primeramente construida en 1979 y expandida varias veces en el transcurso de los siguientes 12 años, y finalmente incrementada con 150 m de mineral sobre el revestimiento. En Zortman-Landusky se utilizaba geomembrana de PVC, que era la de uso común para pozas de lixiviación, hasta 1985 aproximadamente, época en la que los revestimientos de HDPE empezaron a dominar la industria. Hoy en día la poza de lixiviación con revestimiento compuesto más grande del mundo se encuentra en el complejo aurífero Yanacocha de Newmont, en el norte central del Perú. Muchas pozas de lixiviación ubicadas en valles utilizan revestimientos compuestos, por encima del nivel de almacenamiento de agua, y

revestimientos de doble geomembrana, por debajo de dicho nivel. Los revestimientos de una sola geomembrana siguen siendo los más comunes en pozas de lixiviación de cobre y los revestimientos compuestos son más comunes en pozas de lixiviación de oro y plata. Los botaderos de cobre run-of-mine carecen generalmente de revestimiento, aunque en esta tecnología también se está comenzando a hacer uso de geomembranas. Los revestimientos de HDPE y de LLDPE de 1.5 a 2.0 mm de espesor, y los revestimientos de PVC de 0.75 a 1.0 mm de espesor son los más comunes, en tipo y espesor, actualmente utilizados en la industria minera.

(Rumbo Minero, 2016) En los últimos años, la comercialización de geosintéticos ha crecido exponencialmente en el sector minero nacional. En el 2015, su consumo superó el 1 millón de metros cuadrados (m²).

Polímeros

Los polímeros son moléculas de gran tamaño, constituidas por “eslabones” orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes. Los eslabones están formados, fundamentalmente, por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos que conocemos y también los tejidos de los seres vivos (piel, músculos, tela de araña, seda, etc.). (Instituto Nacional de Educación Tecnológica., 2011)

Los polímeros se clasifican por:

Clasificación por Origen

- Natural: Sustancias producidas por organismos vivos que se utilizan sin modificarse. (Instituto Nacional de Educación Tecnológica., 2011)

- Sintéticos: Macromoléculas creadas por el hombre divididas en termoplásticos y termo rígidos. (Instituto Nacional de Educación Tecnológica., 2011)

Clasificación por Densidad

- Alta Densidad

El polietileno de alta densidades un polímero de la familia de los polímeros olefínicos (como el polipropileno), o de los polietilenos. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene) o PEAD (polietileno de alta densidad), es más rígido y resistente mecánicamente. (Salazar J. L., 2014)

Espesores (mm): 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 y 5.0

- Características:
 - Cristalino 90%
 - Punto de Fusión 135°C
 - Opaco

- Baja Densidad

Lámina impermeabilizante fabricada con una formulación a base de polietilenos lineales que aporta alta flexibilidad y soldabilidad al producto, denominado también LLDPE. Se aplica en canchas de lixiviación, cubiertas flotantes, y donde se requiera una barrera impermeabilizante con mayor flexibilidad que el polietileno de alta densidad. (Instituto Nacional de Educación Tecnológica., 2011)

Espesores (mm): 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 (Fausto, 2014)

- Características:
 - Cristalino 60%

- Punto de Fusión 115°C
- Mecánicamente débil pero flexible
- Material Translucido

Geosintéticos

Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos mezclados con fibras naturales, los cuales poseen propiedades físico-mecánicas e hidráulicas, que hacen que su utilización sea apropiada en diferentes obras civiles. (Chavez I. , 2018)

Los geosintéticos son productos fabricados con material polimérico que son muy utilizados, en contacto con suelos y otros materiales, para aplicaciones geotécnicas en obras de ingeniería civil (Bacas, 2009).

(Norambuena Contrera, Zamora Barraza, Castro Fresno, & Vega Zamanillo, 2019) El concepto genérico de geosintéticos designa un producto en el que al menos uno de sus componentes está fabricado a base de polímeros sintéticos o naturales. Los geosintéticos se fabrican en forma de fieltro, manto, lámina o

estructura tridimensional, los cuales son puestos en contacto con el suelo u otros materiales en aplicaciones de la ingeniería

Funciones de geosintéticos

Los geosintéticos incluyen una variedad de materiales de polímeros especialmente fabricados para uso en aplicaciones de tipo geotécnico, geomembrana, hidráulico e de ingeniería de transporte. (Augusto, 2018)

(Chavez I. , 2018) Los geosintéticos son identificados como:

- Polímero componente.

- Proceso de fabricación.
- Tipo primario de geosintéticos.
- Masa por unidad de área.
- Cualquier otra información adicional o propiedades físicas necesarias para describir el material con relación a sus aplicaciones específicas.

(Bathurst, 2016) Pueden cumplir doble función en algunos casos:

a) Separación:

- Previenen el a cerramiento de granos considerando la dirección de estratos granulares permeables.
- Separador de dos capas de suelo con diferente composición de partículas. Como por ejemplo la separación de material Pedroso y Arenoso.

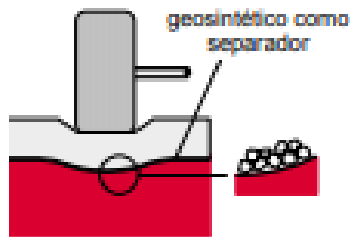


Imagen 1 Geosintéticos como separador

Fuente: (Bathurst, Funciones de los Geosintéticos, 2007)

b) Filtración

- Permite el libre tránsito de fluidos de arena a través del suelo, reteniendo a su vez partículas traídas con el flujo.
- Previene erosión del suelo

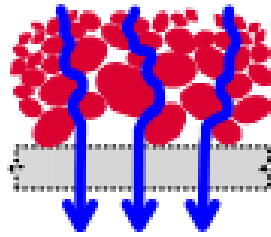


Imagen 2 Geosintéticos como Filtración

Fuente: (Bathurst, Funciones de los Geosintéticos, 2007)

c) Drenaje

- Actúan como componentes que permiten el drenado a través de suelos poco permeables.
- Usados para celebrar la consolidación de fundaciones con suelos debajo de terraplenes y rellenos previamente cargados

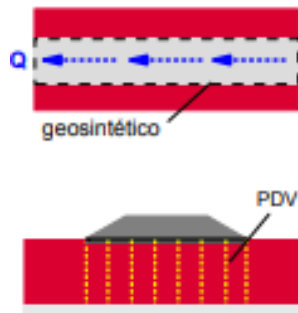


Imagen 3 Geosintéticos como Drenaje

Fuente: (Bathurst, Funciones de los Geosintéticos, 2007)

d) Refuerzo

- Mejora la resistencia y deformación en elementos dentro de la masa de suelo o en combinación con el propio suelo.
- Cubrir cavidades que se generan debajo de camadas granulares sometidas a cargas

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

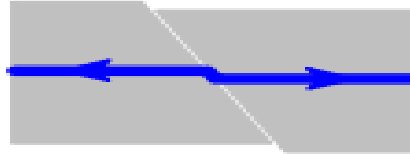


Imagen 4 Geosintéticos como Refuerzo

Fuente: (Bathurst, Funciones de los Geosintéticos, 2007)

e) Concentración de Fluido/Gas

- Como barrera impermeable de flujos y gases



Imagen 5 Geosintéticos como Flujo/Gas

Fuente: (Bathurst, Funciones de los Geosintéticos, 2007)

f) Control de Erosión

- Los geosintéticos actúan para reducir la erosión del suelo causado por el impacto de lluvias y brotes de aguas de superficie. Algunos tapetes de control de erosión son hechos usando fibras de madera biodegradables.



Imagen 6 Geosintéticos como control de erosión

Fuente: (Bathurst, Funciones de los Geosintéticos, 2007)

TIPOS DE GEOSINTÉTICOS

Geotextiles

(Bacas, 2009) Es un material plano, flexible y permeable compuesto de fibras sintéticas o naturales, tejidas mecánicamente (geotextil tejido) o enredadas unas con otras de forma aleatoria (geotextil no tejido). Las funciones principales de los geotextiles son:

- Separación entre distintos materiales
- Refuerzo del material donde se encuentre inmerso, por su resistencia a tracción
- Filtración de líquidos a través de él, reteniendo partículas sólidas
- Drenaje en su plano

Tipos de Geotextiles:

- Geotextiles Tejidos: Por su estructura y las características de las cintas empleadas, se caracterizan por tener altas resistencias y bajas deformaciones, por lo que su aplicación está orientada al refuerzo de vías, muros, terraplenes y cimentaciones (Augusto, 2018)
- Geotextiles No Tejidos: Los geotextiles no tejidos poseen buenas características mecánicas y gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las des uniformidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, suele denominarse efecto colchón). (Augusto, 2018)

Aplicaciones:

- Sistema de protección de geomembrana.
- Sistemas de drenaje (dren francés).
- Repavimentación de avenidas.

- Separación de agregados.
- Refuerzo de suelos.
- Filtro para enrocados.

Geomallas

(Pacheco, 2013) Las geomallas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón con las partículas del suelo de relleno o suelo circundante. La principal función de las geomallas biaxiales es indiscutiblemente el refuerzo.

Tipos de Geomallas

- Uniaxiales: (Augusto, 2018) Diseñadas para soportar el mayor esfuerzo en una dirección en aplicaciones de diques y muros de suelo reforzado.
- Biaxiales: (Augusto, 2018) Utilizadas mayormente para refuerzo de bases en todo tipo de suelos. Las distribuciones de los esfuerzos están dadas por igual en ambos sentidos.
- Multiaxiales: (Augusto, 2018) Son fabricadas en Polipropileno, diseñadas para distribución de los esfuerzos en más de dos sentidos o direcciones, utilizadas en aplicaciones de refuerzo de suelos.

Aplicaciones:

- Estabilidad de taludes.
- Recrecimiento de relaves.
- Diques.
- Muros de suelo reforzado.

- Caída de piedras.
- Taludes revegetados.
- Vías pavimentadas y no pavimentadas.

Geomembranas

(Salazar J. L., 2014) Son láminas poliméricas impermeables, utilizadas como barrera de líquidos y sólidos. Son recubrimientos sintéticos impermeables a fluidos y partículas cuya función es la de revestir canales, lagunas, depósitos de agua, además controlan la erosión.

(Llanos Chuquiruna & Llanos Chuquiruna, 2019, pág. 15) En minería el uso de estos componentes es cada vez más extenso ya sea en el empleo de láminas impermeabilizantes en la Edificación, como el de las Geomembranas en labores mineras. 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".

Tipos:

(Augusto, 2018) Las geomembranas usadas más frecuentes son denominadas polyolefins, pudiendo estas ser de polietileno de alta y baja densidad (HDPE, LLDPE, LDPE y VLDPE), o de polipropileno flexible reforzado y no reforzado (VFPE), además de las de PVC. Su uso depende del objetivo a utilizarse y cumplen los acuerdos a su resistencia física química o flexibilidad. La calidad de la geomembrana se determina por la densidad:

- High Density PolyEthylene (HDPE) o Polietileno de Alta Densidad (PEAD).
- Very Low Density PolyEthylene (VLDPE) o Polietileno de Muy Baja Densidad.
- Very Flexible PolyEthylene (VFPE) o Polietileno Muy Flexible.

- Linear Low Density PolyEthylene (LLDPE) o Polietileno de Baja Densidad Lineal.
- Low Density PolyEthylene (LDPE) o Polietileno Lineal de Baja Densidad.
- Polyvinyl Chloride (PVC) o Policloruro de Vinilo Muy Flexible.

Tabla 1
Espesor de Geomembranas

Espesor en mm	Espesor en milis
0.5 mm	20 milis
0.75mm	30 milis
1.00 mm	40 milis
1.50 mm	60 milis
2.00 mm	80 milis
2.50 mm	100 milis
3.00 mm	120 milis

Fuente: ASTM D 6392-99

Aplicaciones:

- Confinamiento de residuos sólidos/Rellenos sanitarios.
- Confinamiento de residuos líquidos.
- Barreras de biogás.
- Presas.
- Depósitos y balsas.
- Canales.
- Carreteras.

- Vías férreas.
- Lagos artificiales.
- Obras hidráulicas.
- Contención secundaria.
- Balsas de almacenaje de agua.
- Trabajos en zonas sísmicas.
- Impermeabilización exterior de túneles.
- Estabilización de pendiente. (Augusto, 2018)

Clases de geomembranas:

- Termoplásticos (Clase I)
- Cauchos Termoplásticos (Clase II)
- Termoestables (Clase III)

Geomembranas de acuerdo a su clase tiene diferentes tipos de adecuaciones la industria minera gracias a la composición que presenta en cada una:

Tabla 2

Clasificación por Material

Material Básico	Clase
Copolímeros de acrilatos/etileno y betún Copolímeros de acetato de vinilo y etileno Copolímeros de acetato de etilo y etileno Polietileno Polietileno clorado Polipropileno Poliisobutileno Poli (cloruro de vinilo) plastificado Termoplástico poliolefino	I
Copolímeros de etileno/propileno Polietileno clorosulfonado	II

Caucho de cloropeno Caucho terpolímero de etileno/propileno/monómero diénico Caucho butilo Caucho de acrilonitrilo/butadieno Caucho de butadieno Poliolefina elastomérica	III
--	------------

Fuente: (Salazar B. M., 2018, pág. 11)

Geodrén

(Geosistemas Pavco de Mexichem, 2013) El Geodrén planar es un sistema conformado por geotextiles no tejidos punzados por agujas y geo red de polietileno de alta densidad (HDPE). El geotextil cumple la función de filtración, reteniendo las partículas del suelo y permitiendo el paso de los fluidos. La geo red por su parte, es el medio drenante encargado de transportar el agua que pasa a través del filtro. El geodrén planar es el sistema más adecuado para captar y conducir los fluidos en su plano hacia un sistema de evacuación.

Aplicaciones: (Augusto, 2018)

- Muros en suelo reforzado.
- Minería / Rellenos sanitarios.
- Sistema de captación de líquidos.
- Sub drenes para campos deportivos.

GCL

(Cidelsa , 2020) Compuesto de arcilla, que combina dos capas exteriores de geotextil con un núcleo uniforme de arcilla natural de bentonita de sodio, cuyo propósito es formar una barrera hidráulica.

Aplicaciones:

- Rellenos sanitarios.
- Pads de lixiviación.
- Estanques de agua pluvial de gestión.
- Estanques recreativos.
- Impermeabilización de rellenos sanitarios.
- Impermeabilización de presas y diques.
- Contención secundaria para los tanques por encima del suelo.

Geoceldas

(Cidelsa, 2020) Estructura tridimensional formada de franjas HDPE o polímero combinados, similar a panel de abejas que contiene y retiene todo tipo de suelos, gravas, arcillas, concreto, etc.

Las paredes de cada celda están unidas entre sí por soldadura ultrasónica, tiene una textura y perforación que ayuda a la retención del suelo mediante fricción, trabazón que además permite un buen drenaje.

Aplicaciones:

- Control de erosiones.
- Soporte de cargas en vías.
- Contención de suelos.

Propiedades de geosintéticos

Físicas

- Espesor: Dependiente del método de fabricación adquieren características, lo hace más o menos comprensibles perpendicularmente al plano y de presión aplicada sobre él (Augusto, 2018).
- Espesor nominal: El espesor puede variar considerablemente dependiendo de la presión aplicada al espécimen durante su medida. Los cambios observados en la disminución del espesor ocurren cuando se aplican incrementos en la presión. Designación numérica del espesor de pared de un componente, que es un número convenientemente redondeado, aproximadamente igual a la dimensión de fabricación en milímetros (mm) (Augusto, 2018).

Propiedad Óptica

- La propiedades ópticas o visuales están directamente relacionadas con la estructura molecular encontrada en el polímero, también teniendo en cuenta la cristalinidad y la homogeneidad. (Salazar J. L., 2014)

Resistencia UV:

- La exposición a largo plazo a los rayos del sol conduce a la degradación de los materiales de la superficie, lo que provoca el deterioro de las propiedades físicas, cambios en el color. Para limitar o posponer estos tipos de degradación, las partículas de los negros de humo pueden absorber la radiación ultravioleta (UV) en los polímeros. (Augusto, 2018)

Químicas:

(Pacheco, 2013) De acuerdo de la Norma (ASTM 12553/1999), los geosintéticos son productos que por lo menos en uno de sus componentes se encuentra a base de polietileno sintéticos o natural.

Composición química:

- (Salazar B. M., 2018) Obteniendo la composición de las geomembranas tenemos que está conformado por polietileno (PE), negro de carbono y aditivos.
 - Resina de Polietileno: 96-98%
 - Negro de carbono: 2-3%
 - Aditivos: 0,25-1%
- Composición Molecular:

(Salazar B. M., 2018) La composición presenta generalmente enlaces “Tipo Sigma”, teniendo como característica inicial uniones más fuertes entre átomos que solo pueden reaccionar hemolíticamente, vía libertad de radicales.

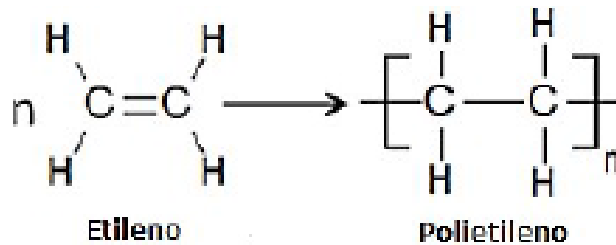


Imagen 7 Esquema de la polimerización del monómero de etileno

Fuente: (Tecnifluidos SAC, 2013)

Soldaduras en geomembrana

Las soldaduras en geomembrana se basan en la utilización de dos métodos relacionados directamente con un instrumento de soldadura que son:

- Termofusión
Realizado por equipo denominado Cuña caliente
- Extrusión
Realizado por equipo denominando Extrusora

Soldadura por Termofusión

Método utilizado primordialmente para realizar soldadura en paneles completos no realiza trabajos de detalle como parches y cierres de zanja.

La soldadura por fusión consiste en la colocación de una cuña caliente, instalada en una unidad autopropulsada, entre dos láminas solapadas, de tal forma que la superficie de ambas láminas se calienta por encima del punto de fusión del polietileno.

Para la realización de soldaduras dobles con canal de comprobación se usará maquinaria de termofusión con cuña caliente.

Los solapes de unión tendrán un ancho mínimo de 100 mm. y, en cualquier caso, se harán de manera que permitan la realización de ensayos de pelado de la soldadura.

La máquina soldadora alcanzará una temperatura ideal de entre 325 y 450°C dependiendo del espesor de la lámina, temperatura ambiente y de la lámina, etc.

La máquina estará provista de un doble rodillo de presión que accione sobre las dos láminas solapadas. (Merey, 2017)

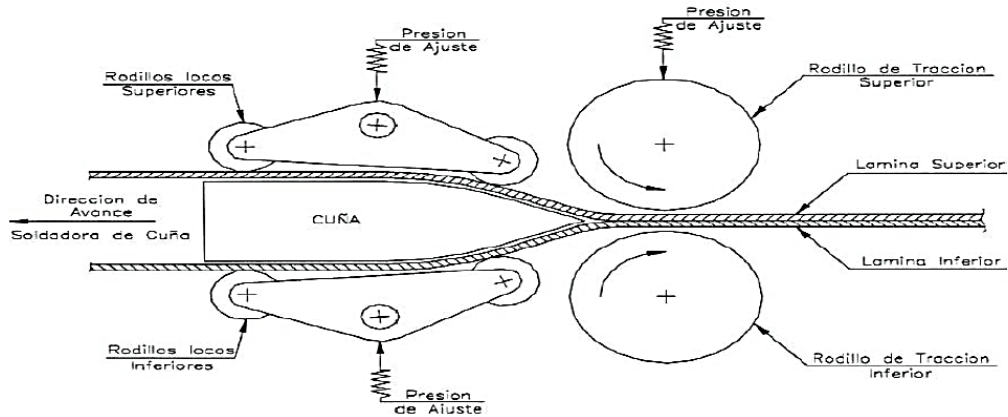


Imagen 8 Unión por Termofusión

Fuente: (Tecnifluidos SAC, 2013)

Soldadura Por Extrusión

La soldadura de extrusión consiste en la aplicación de un cordón de extrusión fundido a lo largo de los bordes de las dos láminas solapadas que se van a soldar. Mediante el precalentamiento de las láminas con aire caliente y la aplicación del polímero fundido se provoca la fusión superficial del material de cada lámina obteniéndose una unión homogénea entre el material aportado y las superficies de las láminas.

La maquinaria de soldar por extrusión, deberá ser una extrusora con aporte de resina en continuo equipada con un lector de temperatura.

Antes de comenzar una soldadura el extrusor será purgado para eliminar material extruido que esté degradado.

Antes de soldar se limpiará toda la zona de solape eliminando polvo, barro, gravas, humedad, etc. si la soldadura se ensayara en campo por medio del método eléctrico, se colocará un hilo de cobre en el solape y sobre la lámina inferior en toda la longitud de la soldadura.

Los equipos de soldadura por extrusión mantendrán una temperatura en continuo de 250 a 300°C y contarán con relojes que muestren la temperatura en el aparato y con un control numérico para la unidad de precalentamiento. (Merey, 2017)

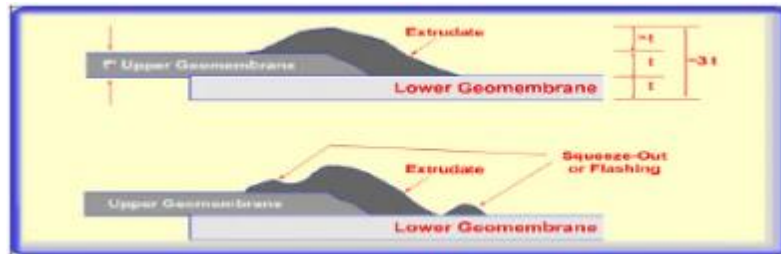


Imagen 9 Unión por Extrusión

Fuente: (Sotraf, 2013)

Control de calidad en geosintéticos

Según (Augusto, 2018) el control de calidad consiste en la implantación de programas, mecanismos, herramientas y/o técnicas en una empresa para la mejora de la calidad de sus productos, servicios y productividad.

El control de la calidad es una estrategia para asegurar el cuidado y mejora continua en la calidad ofrecida. Pruebas e inspecciones necesarias para garantizar que la obra sea realizada conforme a las especificaciones.

Así mismo los hermanos Llanos sostienen que el control de calidad en geosintéticos son las técnicas operativas y (Llanos Chuquiruna & Llanos Chuquiruna, 2019, pág. 24) las actividades que mantener una calidad de material, producto, sistema o servicio que satisfaga las necesidades también el uso de tales técnicas y actividades. Definiendo como una actividad aplicable a la industria minera podemos separarla como (Salazar J. L., 2014) la primera etapa que se caracteriza por la realización de inspecciones y ensayos para comprobar si una determinada materia prima, un semielaborado o un producto terminado, cumple con las

especificaciones, determinar y brindar la certificación correspondiente a trabajos realizados en campo con testeos tanto destructivos como visuales.

Todas aquellas técnicas y actividades de carácter operacional necesarias para satisfacer los requisitos de calidad (Chavez I. , 2018).

(Mamani, 2017) El control de calidad garantiza la aplicación de buenas prácticas durante el proceso de construcción, desarrollando el plan de CQA para el proyecto. Se ello se tiene las siguientes características para el control de calidad.

Planificación de la calidad

- Proyectar una reunión para las coordinaciones del inicio de trabajo en el cual se darán información del trabajo a realizar.
- Revisar y evaluar la información, para luego complementar la información con lo recopilado en campo.
- Verificar plan de calidad del contratista bajo diferentes modalidades, con el fin de buscar. (Mamani, 2017)

Pruebas iniciales o soldaduras de prueba

Las pruebas iniciales en geosintéticos conocidas también como Prueba de Pre Soldado, consiste en la realización de una soldadura de prueba con el fin de monitorear las características de soldado en campo con materiales iguales a los que se encuentran en la zona de trabajo; así como reflejar las características de la maquina utilizada dando aprobación o negación al especialista soldador en realizar trabajos en el frente.

Basándonos en el manual de control de calidad y seguridad cualitativa publicado por (Marieco SRL., 2006) Deberá efectuarse una soldadura de prueba cada día antes de las

operaciones de soldadura para garantizar que el extrusor funcione adecuadamente y que la máquina esté debidamente instalada de acuerdo a las condiciones ambientales.

- Las muestras deberán ser de un mínimo de 1 metro de largo y deberán ser manufacturadas del mismo material a ser soldado durante las operaciones de soldadura. Deberán asimismo ser soldadas bajo las mismas condiciones ambientales que las de las operaciones de soldadura reales.
- Las muestras deberán ser soldadas de acuerdo a los métodos descritos en las instrucciones de soldadura.
- Luego de la soldadura, permita que la costura enfríe, luego corte dos (2) tiras de prueba de 10-15mm de ancho y efectúe la prueba por despegado en forma manual. La soldadura no deberá despegarse y deberá haber un FTB.
- Verifique que la soldadura se encuentre centrada en la costura.
- Si la muestra de soldadura inicial falla, verifique los controles de temperatura, los picos rotatorios y asegúrese que las condiciones ambientales son adecuadas para soldaduras. Luego realice otra muestra y pruebe nuevamente.
- No inicie las operaciones de soldadura hasta que se haya realizado una soldadura de muestra que haya resultado satisfactoria.

Por lo que se respalda lo dicho por (Pinto, 2014) Ninguna soldadura se empezó hasta que cada técnico soldador y aparatos de soldadura a usar en el campo hayan pasado las pruebas iniciales.

Tipos de Control de Calidad

- **Ensayos no destructivos**

Según el manual de (Aquiapruf S.A., 2015) sobre instalación de geomembranas las pruebas no destructivas sirven para la verificación de continuidad en uniones.

El propósito de las pruebas no destructivas es demostrar y comprobar la estanqueidad o sello hidráulico de la junta (fugas) producidas por mala limpieza en el esmerilado, humedad del aporte o exceso de polvo en el ambiente, todas estas variantes ocasionan cavidades o adherencia mínima del material a fusionar. El supervisor de Control de Calidad de terreno programará todas las operaciones de pruebas no destructivas para asegurar la calidad de la soldadura y el progreso ordenado del proyecto. (Augusto, 2018).

- En soldadura por Termofusión

En este tipo de soldadura se utiliza la Prueba de Aire (air test) que se ejecuta sobre el canal de prueba existente en la soldadura. En casos excepcionales se usa la prueba de vacío (Vaccum test), para identificar fallas, mas no para reemplazar la prueba de aire.

- En soldadura extruida.

En este tipo de soldadura se tiene la Prueba de vacío (Vaccum Test) y en casos excepcionales de trabajos de detalle o de difícil accesibilidad, la prueba será realizada mediante chispa eléctrica (Spark Test).

- **Ensayos destructivos**

A diferencia de los Ensayos No destructivos, estos ensayos permiten determinar las características mecánicas de las uniones soldadas. El ensayo de muestra destructiva

deberá comprender ensayos de resistencia al desgarre y al corte según la Norma ASTM D 6392.

El Ingeniero deberá observar la obtención de todas las muestras destructivas. La frecuencia con que se deberán tomar los ensayos destructivos es cada 150 m lineales tanto para soldadura por fusión como soldadura por extrusión.

El ensayo destructivo consiste en tomar una muestra de la unión de soldadura efectuada en terreno de 300 mm de ancho y 1000 mm de largo con la unión en el centro.

Para la ejecución de las Pruebas destructivas se cortarán trozos de geomembrana sobre la unión de 2 paneles ejecutada en terreno, estos trozos tendrán un largo y ancho mínimo de 1000 mm., y 300 mm. La muestra deberá ser cortada en 3 pedazos (2 pedazos de 300 y 1 de 400 mm). El instalador ensaya con el pedazo de 400 mm en tanto que corresponde al cliente un pedazo de 300 mm. (Fausto, 2014)

- Ensayos de Corte (Shear)
 - Tipo de Rotura: FTB
 - Inspección Visual (porosidad, adherencia, amoladura, limpieza, etc.)
 - Las 5 probetas cumplen con la resistencia mínima requerida según especificación.
 - La Resistencia Mínima requerida será dado por las Especificaciones Técnicas para Geosintéticos, por el fabricante o de acuerdo a lo que indique el cliente.
 - La elongación deberá ser $\geq 50\%$ de corte en HDPE. (Augusto, 2018)

- Ensayos de Desgarre (Peal)
 - Las 5 probetas cumplen con la resistencia mínima requerida según la especificación del proyecto y esta será dado por las especificaciones técnicas para geosintéticos, por el fabricante o de acuerdo a lo que indique el cliente.
 - La resistencia mínima requerida se calcula en base al 70 % de la resistencia del material base en caso de soldaduras por Termofusión (cuña caliente) y de un 60 % del material base en caso de soldaduras por extrusión.
 - La longitud lineal de pelado debe ser $< 10 \%$ para el HDPE. (Fausto, 2014)

Equipos

Termofusora

- Características:
 - Marca: Platic Weldin Technologies
 - Modelo: Wedge-It 2000
 - N° de Serie: CW-0012-12T
 - Reguladores de temperatura y velocidad digitales.
 - Dado de presión calibrado según espesor del material.
 - Lector de voltaje y odómetro
 - Sistema para transformación de voltaje de 110V/220V
 - Fusibles de protección
 - Fácil cambio e instalación de resistencias de 800W.
 - Rodillos de acero con canal o hule sin canal.
 - Cuña de cobre con canal, acero con canal (para PVC) o hule sin canal.



Imagen 10 Cuña Caliente Wedge-If 2000

Fuente: Internet (Herraplas, 2020)

- Funciones y Beneficios:
 - Termofusora Geomembranas de PEAD, PP y PVC desde 0.5 hasta 3 mm (20 mil–120 mil) de espesor.
 - Equipo de campo para trabajo continuo.
 - El modelo Wedge IT termofusora la geomembrana empalmando o traslapando el material formando una doble unión con canal de aire en el centro para realizar pruebas de hermeticidad (Herraplas, 2020)

Extrusora

- Características
 - Marca: Munsch
 - Modelo: MAK-58. D
 - N° de Seria: 0070477
 - Regulador digital de temperatura de aire de precalentado independiente.
 - Regulador de temperatura de la masa (soldadura) independiente.

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

- Regulador de velocidad de extrusión de 0-5.8 kg por hora con soldadura redonda de 4/5 mm.
- Gatillo para accionar el motor con seguro auto.
- Mango corto de posiciones.
- Bastón largo de posiciones.



Imagen 11 Termofusora MAL-558.D

Fuente: Internet (Herraplas, 2020)

- Funciones y Beneficios:
 - GEOMEMBRANA
Termofusora la geomembrana de polietileno y polipropileno de cualquier espesor generando una soldadura entre los materiales de entre 25 y 40 mm según se requiera, a través de una zapata o teflón preformado (molde) que hace contacto con la geomembrana.
 - FABRICACIÓN DE PLÁSTICOS
Termofusora placas de polietileno, polipropileno y pvdf de hasta 30 mm de espesor generando una soldadura entre las placas ya sea a tope, esquina interior y esquina exterior, a través de una zapata o teflón preformado (molde) que hace contacto con el material. Para ambas aplicaciones cuenta con una sopladora de

aire caliente integrada que precalienta la geomembrana y la placa, así como con un dispositivo de calentamiento de la soldadura que la funde a una temperatura preestablecida para posteriormente fusionarse con la geomembrana o la placa. (Herraplas, 2020)

Tensiómetro

Equipo de campo utilizado por área de Control de Calidad para realizar análisis de Peal y Shear.

- Características
 - Marca: PWT
 - Modelo: 2501440
 - N° de Seria: E0822
 - Celda calibrada hasta 500 libras
 - Margen de error de -1%
 - Pantalla digital
 - Medición en Libras por Pulgada o Kg
 - Hoja de calibración
 - Regulador de Velocidad
- Funciones y Beneficios
 - Se coloca un cupón de 1×6" en las mordazas del tensiómetro, posteriormente se ajusta la velocidad de estiramiento a 2 pulgadas por minuto esperando el momento en que se desgarre el área soldada. Una vez desgarrada la soldadura el tensiómetro arrojará un valor en la pantalla digital midiendo la fuerza de tensión en libras por pulgada.



Imagen 12 Tensiómetro 2501440

Fuente: Internet (Herraplas, 2020)

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la aplicación del revestimiento con geomembrana HDPE en pozas para almacenamiento de aguas en exceso?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el diseño y la conformación del revestimiento con geomembrana HDPE de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en la ciudad de Cajamarca- Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el diseño de revestimiento de una poza para agua en exceso en una empresa minera en Cajamarca Perú.
- Determinar las capas aplicadas en el revestimiento.

- Identificar la cantidad de material empleado para la conformación de cada capa aplicada.
- Analizar el costo de construcción bruto de la poza de aguas en exceso.
- Determinar la resistencia en pruebas corte y desgarro en soldaduras por extrusión y termofusión realizadas a temperaturas ambiente encontradas en la instalación de geomembrana HDPE 1.5 mm Lisa con extrusora MAK-58D (0070407) y cuña Wdge-It-2000 (CW-0012-12T).
- Determinar la resistencia en pruebas corte y desgarro en soldaduras por extrusión y termofusión realizadas a temperaturas ambiente encontradas en la instalación de geomembrana HDPE 2.0 mm Lisa con extrusora MAK-58D (0070407) y cuña Wdge-It-2000 (CW-0012-12T).
- Determinar el parámetro óptimo de soldadura por extrusión y termofusión a temperaturas de 9 °C, 11°C, 12°C y 13 °C en geomembrana HDPE Lisa 1.5mm con extrusora MAK-58D (0070407) y cuña Wdge-It-2000 (CW-0012-12T).
- Determinar el parámetro óptimo de soldadura por extrusión y termofusión a temperaturas de 10 °C, 11°C, 12°C, 13 °C en geomembrana HDPE Lisa 2.0mm con extrusora MAK-58D (0070407) y cuña Wdge-It-2000 (CW-0012-12T).

1.4. Hipótesis

La conformación con geosintéticos es aplicable al revestimiento de pozas para almacenamiento de aguas en exceso.

1.4.1. Hipótesis específicas

- ✓ El costo de la conformación del revestimiento con geomembrana HDPE en una poza de aguas en exceso es homogéneo capa por capa de geomembrana colocada ya sea que varié de grosor.
- ✓ El diseño de conformación de geomembrana puede no realizarse con Geonet ya que las capas se compactan de manera correcta con el terreno.
- ✓ En soldadura por extrusión la pistola de aire caliente incorporada en el equipo de soldadura y la zona de extruido del equipo de soldadura, deben tener la misma temperatura para realizar una soldadura óptima.
- ✓ En soldadura por termofusión la velocidad de soldado es directamente proporcional a la temperatura ambiente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

1.5. Tipo de Investigación

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicativa
Diseño	Cuasi experimental
Contexto donde sucede	Frente de trabajo minero
Intervención disciplinaria	Geosintéticos

1.6. Materiales, instrumentos y métodos

1.6.1. Población:

Poza para conformación por geosintéticos en unidad minera a cielo abierto en Cajamarca-Perú

1.6.2. Muestra:

En el presente estudio se tomó como unidad de muestra la conformación general de una poza para aguan en exceso analizando independientemente cada capa de forrado: Capa de Acondicionamiento, Capa Secundaria, Capa de Resistencia, Capa Primaria y Extruido de detalle.

Analizando la influencia de temperatura en geosintéticos en capa primaria y secundaria con testeos de control de calidad pruebas de corte y desgarró. En total se obtuvieron una cantidad total de 1000 datos, siendo 500 pertenecientes a capa primaria y 500 en capa secundaria.

1.6.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

1.7. Procedimiento

En inicio de actividades de revestimiento con geosintéticos podemos definir dos procesos: la evaluación de terreno previamente entregado con características apropiadas para la conformación y la ejecución del diseño entregado de acuerdo a la cantidad de masa de agua estimada a contener el centro de acopio de aguas en exceso; de los cuales se desglosan, de acuerdo a cada material a tender, las aplicaciones de instalación, soldado, reforzamiento, extruido, fusión y control de calidad según sea el caso.

Acción de despliegue

Desplegué de material con equipo pesado

Izaje controlado de rollos de geosintéticos para su correcta instalación mayormente utilizado en pozas o pats de gran dimensión por la complejidad de ángulos de caída.

- Proceso de Pre Despliegue

Consta de la incorporación una barra de izaje uniforme en el interior en una excavadora en la cual es asurada con eslingas hacia la parte posterior de lomo de la lampa metálica en una arandela de metal y a su vez en las uñas laterales de la misma para brindar un mejor control en el izaje a realizarse.



Imagen 13 Aseguramiento para despliegue

Fuente: Propia

- Proceso de Despliegue

Actividad en la que se realiza el forrado y alineación primaria de material en terreno con la que de acuerdo sea el caso se procede con aseguramiento o soldado dependiendo el material tendido.

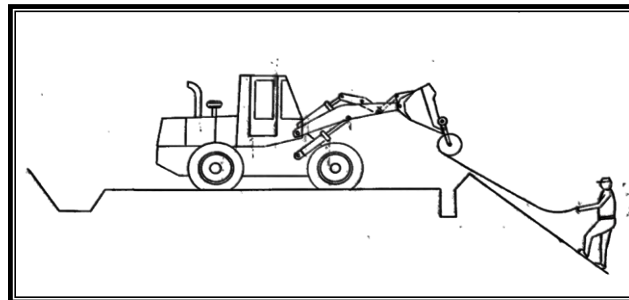


Imagen 14 Despliegue con equipo pesado

Fuente: Estándar interno de instalación de geomembrana SEGEPSAJ S.R.L.

Con ayuda de excavadora equipada con material a tender se realiza la acción de jalado de material hacia la parte inferior de la poza hasta llegar a el limite disponible de espacio o de material. Siempre el rollo de geomembrana debe estar debajo de la berma de seguridad y

sobre la zanja de anclaje y el personal encargado de la instalación deberá mantenerse anclado arrastrando el material desde los laterales por tema de seguridad establecido en el DS-024-2016.

Capa de acondicionamiento geotextil oz8/yd2

Proceso de instalación de geotextil

- a) Con ayuda del proceso de izaje se realiza la instalación del material en zona destinada a atacar primero bermas y zanja de anclaje.
- b) Se realiza el aseguramiento con pistola de aire caliente en la cual se hace un pasado rápido del equipo por uniones sobrepuestas de material la cual permite la descomposición del material y posterior pegado realizando presión por la parte superior con la palma de la mano protegida con guante de badana.

Capa de resistencia geonet triclinal

- a) Posterior al proceso de izaje se realiza la instalación del material en zona destinada a atacar primero bermas y zanja de anclaje.
- b) Se realiza el aseguramiento de materiales sobre puesto con precintos de 3.5 mm de espesor y 20 cm de largo dejando un espacio aproximado de medio metro entre cada uno

Capa primaria y secundaria con geomembrana HDPE 1.5mm - 2.0 mm

Proceso de soldadura por termofusión

Seguidamente del proceso de izaje se realiza soldadura de láminas sobre puestas, empezando por zanja de anclaje y berma para posteriormente forrar fondo de poza, se suelda con ayuda

de equipo compuesto por dos rodillos los cuales realizan presión entre laminas calentadas por cuña caliente a 450°C el cual es regulado para su controlado avance.

Contiene regulador digital de temperatura y velocidad de giro en los cilindros.

- Proceso de Pre fusión

- a) Acondicionamiento de Área

El técnico encargado de la soldadura o ayudante acondiciona la superficie de trabajo verificando que no se encuentre imperfecciones como grumos sobre la superficie o material arcilloso que pueda interrumpir con el funcionamiento correcto del equipo.

- b) Obtención de geomembrana

Se realiza la obtención de material para realizar la soldadura teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Dos planchas de geomembrana de 300mm de ancho y 1000 mm de largo.
 - Se anotará en la muestra: Fecha, Hora, Temperatura Ambiente, Numero de Maquina, Temperatura de Maquina, Tipo de Lamina y Nombre del soldador.

- c) Prevención para soldadura correcta

- Limpieza permanente en el área a soldar con trapo trapos industriales.

- Proceso de Fusión

- a) De acuerdo con las características del tipo de geomembrana el técnico de cuña realiza la graduación de temperatura y velocidad para realizar soldadura.

- b) Inicia la colocación de geomembrana en equipo, sobreponiendo los bordes para realizar la soldadura de manera correcta y asegurando los rodillos presionándolos entre sí por una palanca incorporada en el equipo.
- c) Se verifica en todo momento la alineación y prevención de soldadura correcta.



Imagen 15 Soldadura Por Fusión

Fuente: Datos tomados en campo.

- Resultado y cierre de Fusión
 - a) Al finalizar la soldadura se procede a mover la manija aseguradora de rodillos y sacado de equipo, asegurando posteriormente en una superficie seca para evitar daños.
 - b) Como parte final del proceso se obtiene una soldadura con dos canales de soldado y una apertura de aire.

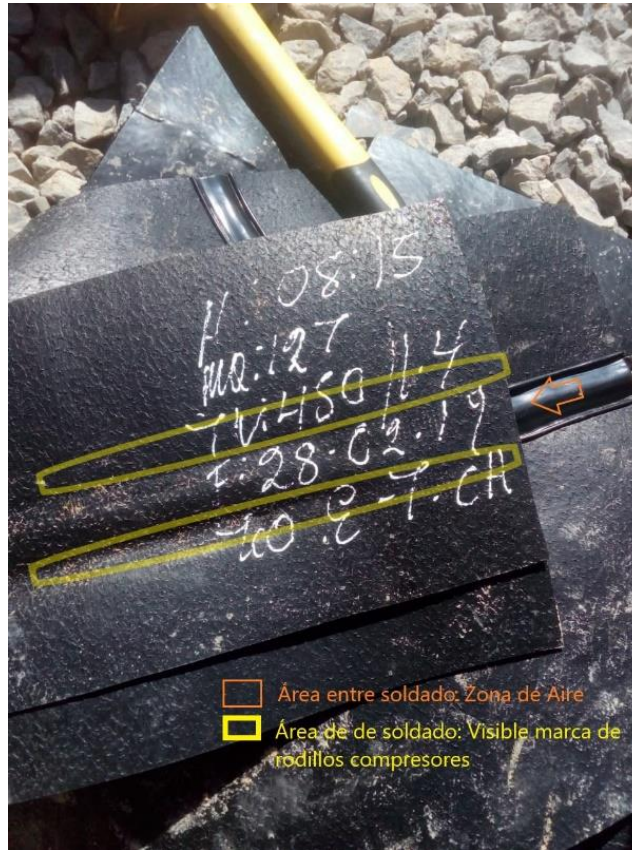


Imagen 16 Característica Soldadura por Fusión

Fuente: Datos tomados en campo.



Imagen 17 Vista Frontal Soldadura por Fusión

Creación: Propia de investigador.

Proceso de soldadura por extrusión

Técnica de soldado por la cual se realiza un pegado de láminas de geomembrana inyectando una línea de soldadura proveniente de fundición de cordón HDPE 5 mm. Soldadura también

considerada de detalle ya que es responsable de sellado en reparaciones e instalación de parches.

- Proceso de Pre Extrusión

- a) Acondicionamiento de Área

El técnico encargado de la soldadura o ayudante acondiciona la superficie de trabajo verificando que no se encuentre imperfecciones como grumos sobre la superficie.

- b) Obtención de geomembrana

Se realiza la obtención de material para realizar la soldadura teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Dos planchas de geomembrana de 300mm de ancho y 1000 mm de largo.
 - Se anotará en la muestra: Fecha, Hora, Temperatura Ambiente, Numero de Maquina, Temperatura de Maquina, Tipo de Lamina y Nombre del soldador.

- c) Prevención para soldadura correcta

- Limpieza permanente en el área a soldar con trapo trapos industriales.
 - Purgado de extrusora en primera soldadura
 - Calentamiento de cordón a soldar para facilitar funcionamiento de máquina, así como evitar aparición de burbujas en el soldado producido por el cambio brusco de temperatura.
 - El asistente siempre secura el cordón HDPE antes de que este sea absorbido por el equipo para evitar presencia de humedad.

- Proceso de Extrusión

- a) El técnico extrusorista realiza la graduación de temperatura del equipo tanto en la parte de pistola caliente incorporada y el sistema de fundido para el cordón de soldadura HDPE
- b) Inicia etapa de adaptación del material comprendido por limpieza y remoción de partículas que pueden interferir con la soldadura.
- c) Posteriormente se ejerce un pegado primario con ayuda de una pistola de calor la cual inyecta calor entre las planchas y realizando presión con la mano las láminas quedan pegadas superficialmente, es decir, se puede despegar ejerciendo fuerza con las manos.



Imagen 18 Pegado Primario Soldadura Extruida

Fuente: Datos tomados en campo. Edición: Propia del investigador.

- d) A continuación, con ayuda de una amoladora equipada con una lija se realiza un desgaste del pegado primario para de esta manera desbastar el material obteniendo un área apropiada para realizar la colocación de soldadura extruida, esto con el fin de limpiar imperfecciones.

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”



Imagen 19 Amolado Soldadura Extruida

Fuente Datos tomados en campo. Edición: Propia de investigador.

- e) En este caso al ser una soldadura considerada NIVEL 1 se realiza la colocación de un hilo de cobre con ayuda de la pistola de calor entre las planchas para posteriormente poder ejecutar la prueba de control de calidad “SPART TEST”.



Imagen 20 Colocación de Cobre Soldadura Extruida

Fuente: Datos tomados en campo.

- f) Luego se inserta el cordón de HDPE 5mm en el equipo y se procede a la colocación del material extruido en la superficie amolada; siempre siguiendo en cuenta la prevención de una soldadura correcta.



Imagen 21 Soldadura por Extrusión

Fuente: Datos tomados en campo.

- Resultado y cierra de Fusión
 - a) Al finalizar la soldadura se procede a retirar el equipo.
 - b) Como parte final del proceso se obtiene una soldadura con un cordón de soldadura sobresaliente y dos capas ya soldadas.

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

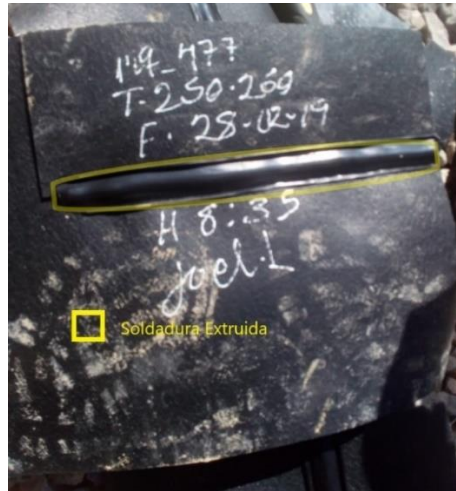


Imagen 22 Soldadura Extruida

Fuente y Edición Propia



Imagen 23 Vista Frontal Soldadura Extruida

Creación Propia

Proceso de pruebas de control de calidad en geosintéticos

Material de Testeos: Para la realización del estudio se contó con geomembrana HDPE de 2.0 mm lisa de alta densidad y 1.5 mm lisa de alta densidad

- Equipos
 - a) Para soldadura por fusión:
 - Platic Weldin Technologies
 - Modelo: Wedge-It 2000
 - Medida de temperatura: °C
 - Medida de recorrido digital: m/min
 - b) Para soldadura por extrusión:
 - Marca: Munsch
 - Modelo: MAK-58. D
 - Medida de temperatura: °C
 - c) Para testeo de probetas:
 - Marca: PWT
 - Modelo: 2501440
 - Mediad de Testeos: Kg/Pulg

- Preparación de cupones

Luego de haber realizado las soldaduras tanto extruida como por fusión se procede a marcar una cantidad de 10 espacios para posteriormente ser cortados en forma de reglas denominadas Probetas con un ancho de 25.4 mm con ayuda de un instrumento denominado cuponera. Equipo equipado con cuchillas especiales para cumplir las especificaciones requeridas.



Imagen 24 Cuponeo Pruebas

Fuente: (Herraplas, 2020)

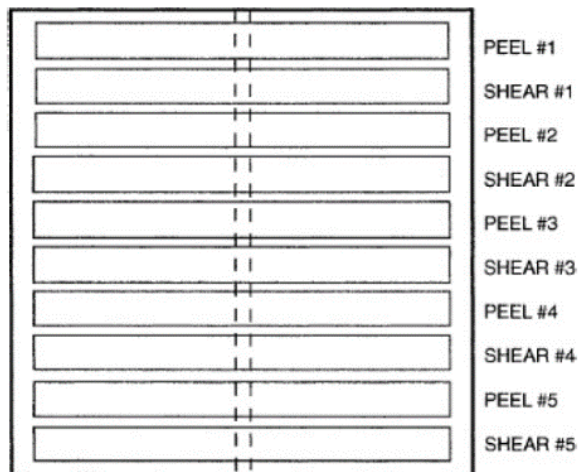


Imagen 25 Distribución de Probetas Según Prueba

Fuente : (ASTMD 6392 – 99)

- Análisis de cupones
 - a) Preparación y destino de cupones.
 - Se realiza una cantidad de 5 testeos por Corte en 5 cupones y 5 por Desgarro en 5 cupones más provenientes de soldadura por Extrusión.

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

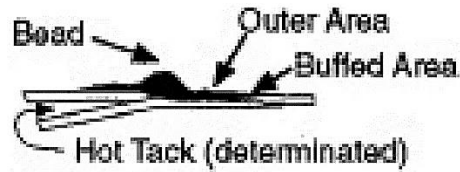


Imagen 26 Pruebas en Soldadura Extruida

Fuente : (ASTMD 6392 – 99)

- Se realizan 10 testeos de Corte en 5 cupones y 5 de Desgarro en cupones 5 cupones más provenientes de soldadura por Fusión

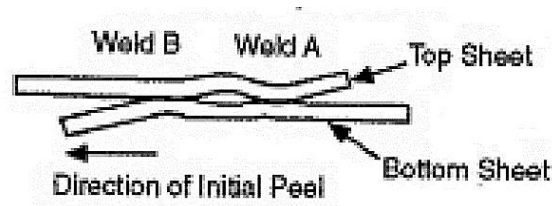


Imagen 27 Pruebas en Soldadura por Fusión

Fuente : (ASTMD 6392 – 99)

- Prueba de Corte y Desgarro
 - a) Se inicia la energización de tensiómetro.
 - b) Se realiza la inserción de dos lados de los cupones en cada brida del tensiómetro y posteriormente se realiza la elongación.

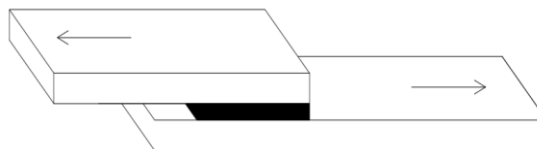


Imagen 28 Prueba de Corte

Fuente : (ASTMD 6392 – 99)

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

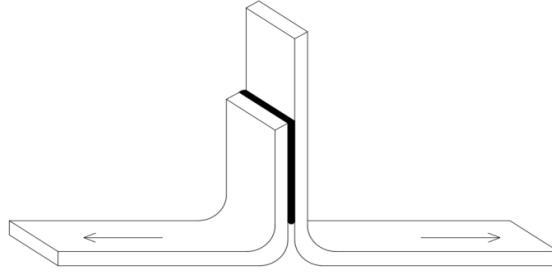


Imagen 29 Prueba de Desgarro

Fuente : (ASTMD 6392 – 99)

- c) El equipo realizara la prueba marcando una cantidad en resistencia hasta que exista el desprendimiento o desgarro.
- d) Finalmente se desprenden los cupones de las bridas y se recupera el dato numérico de la resistencia.



Imagen 30 Prueba de Desgarro en Campo

Fuente: Datos tomados en campo.

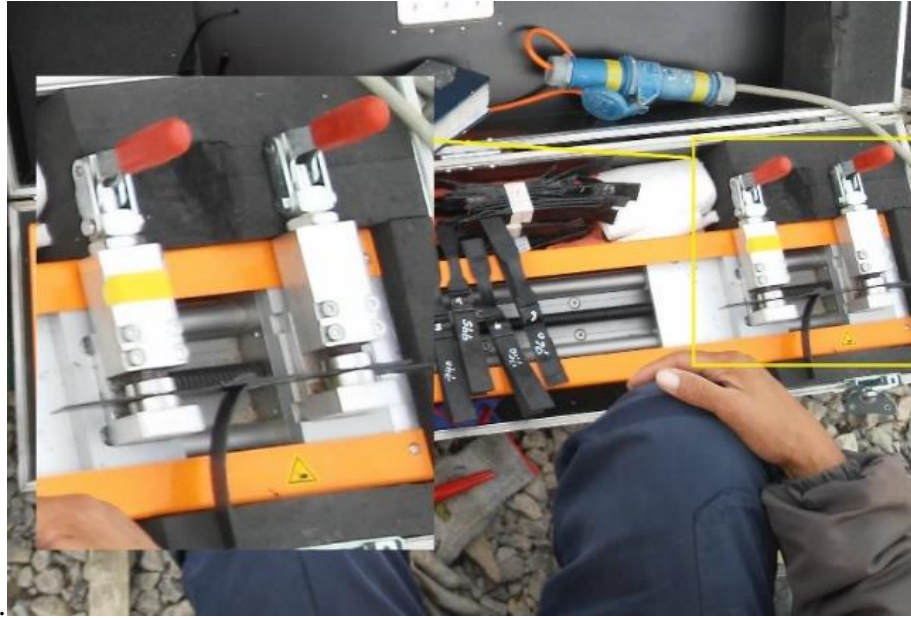


Imagen 31 Prueba de Corte en Campo

Fuente y Edición: Propia



Imagen 32 Testeos Terminados y Fuente de Datos

Fuente: Propia

Tabla 3

Valores Para Uniones Según Producto

		TABLA DE VALORES MINIMOS REQUERIDOS PARA UNIONES SEGÚN PRODUCTO							
PRODUCTO	ESPESOR	TIPO DE SOLDADURA							
		EXTRUSION				FUSION			
		PEEL		SHEAR		PEEL		SHEAR	
		Kg/Pulg	Lbs/Pulg	Kg/Pulg	Lbs/Pulg	Kg/Pulg	Lbs/Pulg	Kg/Pulg	Lbs/Pulg
GSE Hyperflex o HDPE	0.75	18	40	27	59	23	51	27	59
	1.00	24	52	37	81	30	65	37	81
	1.50	34.3	75.6	51.4	113.4	45.7	100.8	51.4	113.4
	2.00	45.7	100.8	68.6	151.2	61	134.4	68.6	151.2
	2.50	59	130	93	205	74	163	93	205
	3.00	70	154	111	244				
GSE Vestolen	3.00	70	154	111	244				
	5.00	116	255	185	407				
GSE Hyperflexfrictionflex o GSE HDPE Texturado	0.75	18	40	27	59	23	51	27	59
	1.00	24	52	37	81	30	65	37	81
	1.50	24	78	55	121	44	98	55	121
	2.00	47	104	74	162	59	130	74	162
	2.50	59	130	83	183	74	163	93	205
GSE Ultraflex	1.00	22	48	25	56	22	48	25	56
	1.50	33	72	38	84	33	72	38	84
	2.00	44	96	51	112	44	96	51	112
	2.50	55	120	64	140	55	120	64	140
GSE Ultrafrictionaflex	1.00	22	48	25	56	22	48	25	56
	1.50	32.7	72	38.1	84	32.7	72	38.1	84
	2.00	43.5	96	50.8	112	43.5	96	50.8	112
	2.50	54.4	120	63.5	140	54.4	120	63.5	140

Fuente: ASTM D 6392-99

CAPÍTULO III. RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS INICIALES DE POZA

De acuerdo al área entregada por actividades anteriores de conformación y modelamiento del terreno tenemos las siguientes características iniciales:

- Puntos de replanteo

Tabla 4
Puntos de Replanteo

Puntos de Replanteo			
Punto	Norte	Este	Cota
1	27098.92	15633.86	4015.00
2	27150.80	15626.03	4015.47
3	27197.53	15633.11	4015.74
4	27225.53	15656.97	4015.80
5	27183.53	15761.10	4015.76
6	27125.67	15764.21	4015.79
7	27103.31	15701.87	4015.83
8	27099.58	15641.87	4015.00
9	27149.40	15642.56	4009.82
10	27150.70	15634.58	4009.82
11	27186.21	15654.34	4005.61
12	27190.83	15647.41	4005.61
13	27192.02	15661.17	4004.21
14	27200.69	15658.52	4004.18
15	27203.94	15745.77	4005.17
16	27172.53	15745.77	4005.17
17	27136.42	15748.05	4005.41
18	27119.01	15698.47	4005.20
19	27115.44	15654.37	4005.15
20	27149.29	15650.18	4004.73
21	27185.48	15656.27	4004.25
22	27170.07	15697.15	4005.00

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

23	27184.01	15702.70	4005.00
24	27176.61	15721.28	4005.00
25	27162.68	15715.74	4005.00
26	27172.59	15503.00	4002.00
27	27178.16	15705.22	4002.00
28	27178.16	15715.44	4002.00
29	27168.52	15713.22	4002.00

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Capa de Solainer en todo el fondo de poza afianzando el terreno y en las bermas dándoles estabilidad básica.
- Capacidad de almacenamiento 80,000.00 m³ de agua en exceso.

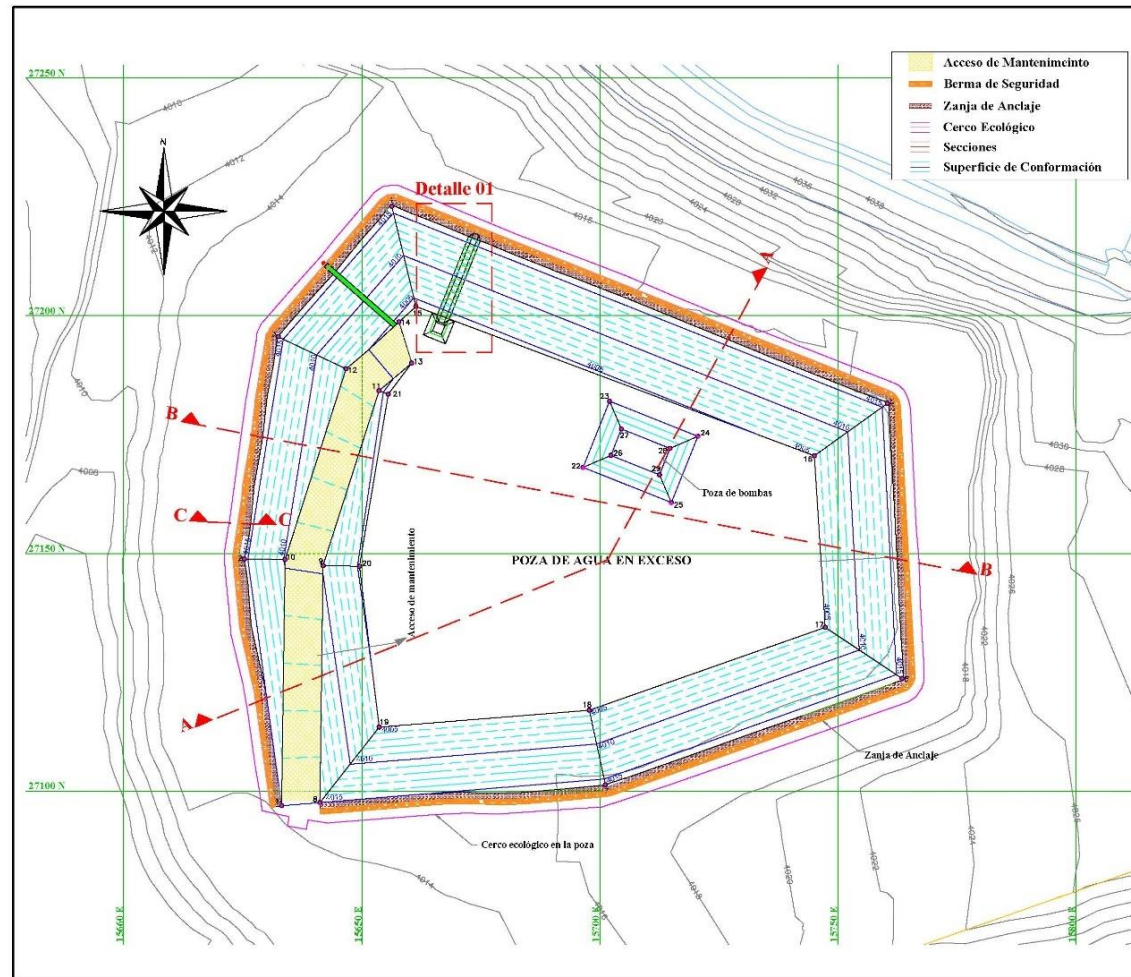


Gráfico 1
Terreno inicial poza de aguas en exceso vista superior.

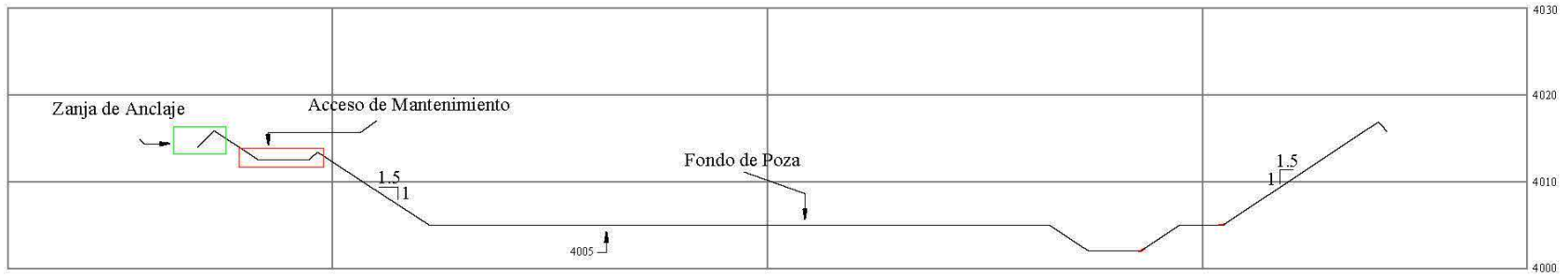


Gráfico 2

Vista frontal poza de aguas en exceso. (Detalle A-A)

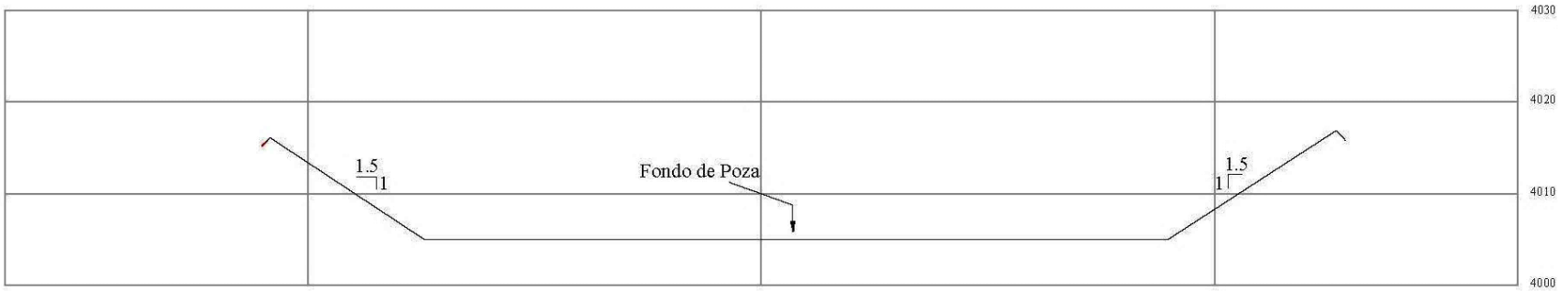


Gráfico 3

Vista lateral poza de aguas en exceso. (Detalle B-B)

DETALLE Y CONFORMACIÓN DE CAPAS

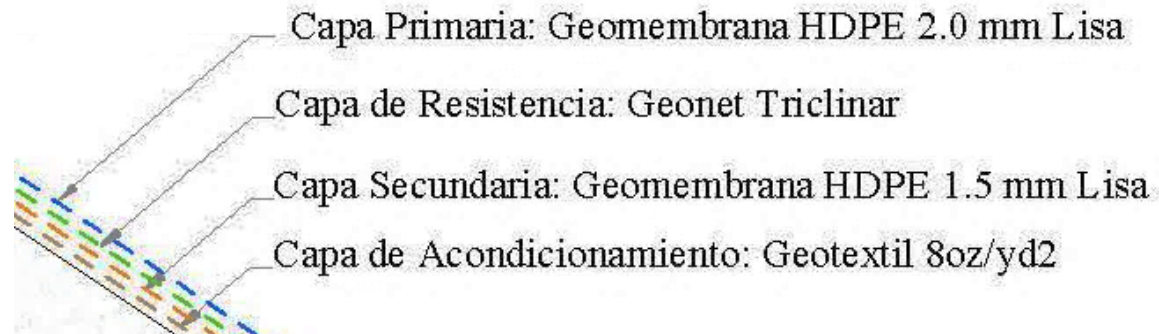


Gráfico 4

Orden y conformación por capa

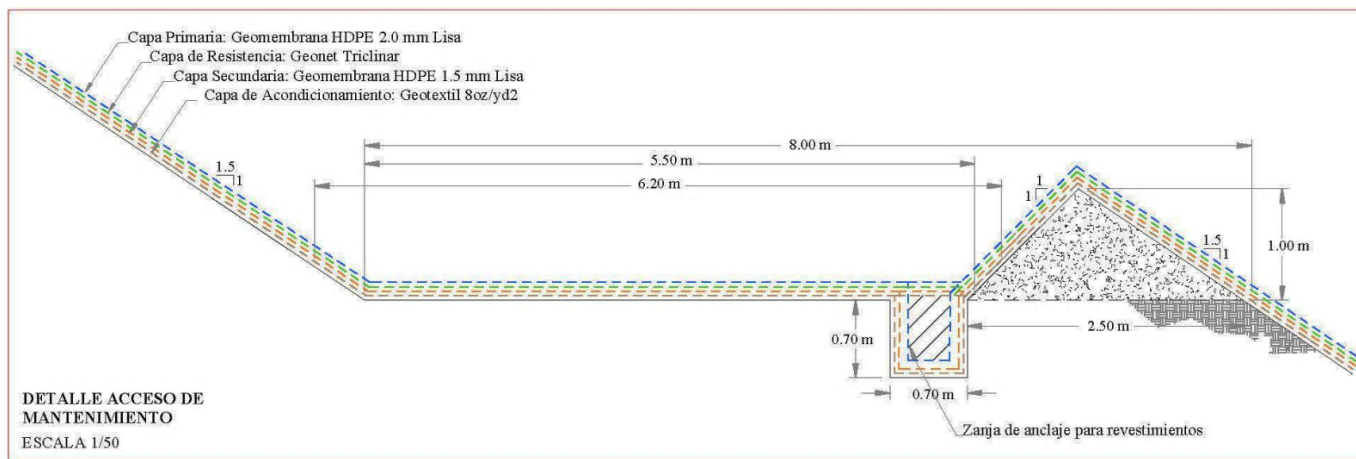


Gráfico 5

Detalle conformación acceso de mantenimiento

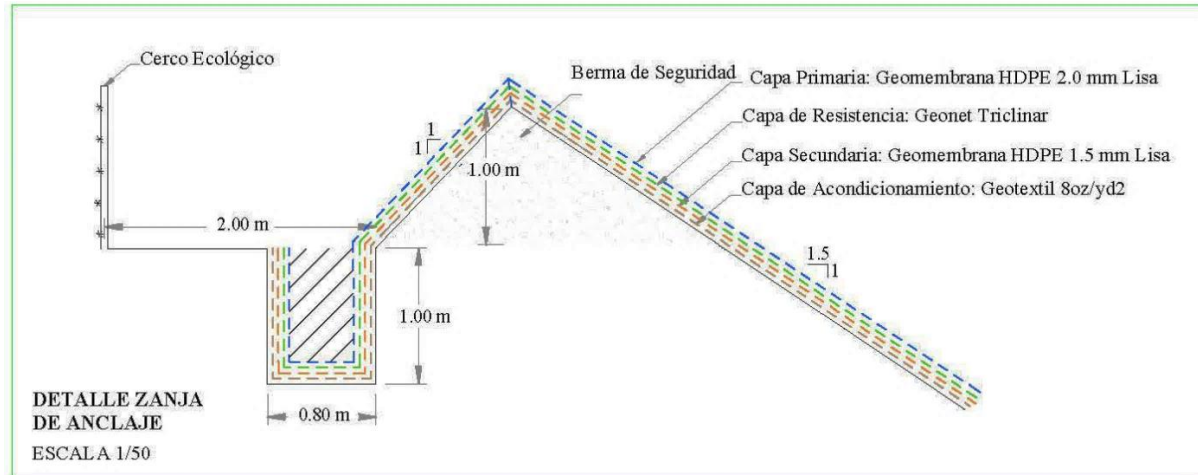


Gráfico 6

Detalle zanja de anclaje

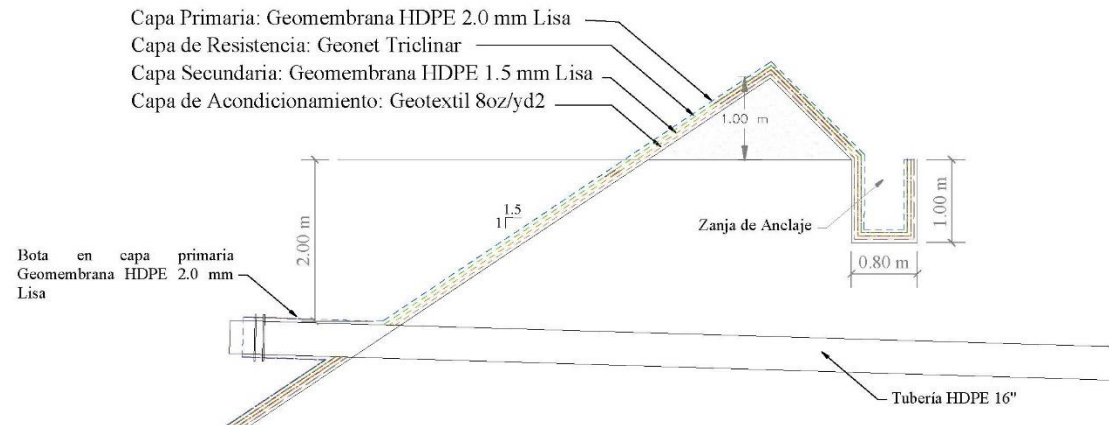


Gráfico 7

Detalle conformación de bota (Sección C-C)

Características de instalación por capa:

- Capa de acondicionamiento con Geotextil 8oz/yd²

Por sus capacidades de aseguramiento solo con pistola de aire caliente, la instalación costa de poco tiempo y poca necesidad de personal en la ejecución de tendido para un solo rollo del mismo.

- Capa secundaria con Geomembrana HDPE 1.5 mm Lisa

Genera una demanda mayor de personal y tiempo para aseguramiento completo, cada panel desplegado debe ser soldado de manera inmediata y si en caso es colocado al final de guardia se asegurará con un cordón de sacos de arena colocados en una cuerda anclada a una estaca de acero en la parte superior de la poza.

- Capa de resistencia: Geonet Triclinal

En su tendido y aseguramiento genera menos tiempo que la capa anterior ya que solo se tiene y asegura con precintos la unión entre una capa y la otra.

- Capa Primaria Geomembrana HDPE 2.0 mm Lisa

El proceso es igual al de capa primaria.

MATERIAL NECESARIO POR CAPA

Geotextil

- Cantidad de paneles: 142
- Área bruta instalada: 18988.00 m²

Geomembrana HDPE 1.5 mm (Capa Secundaria)

- Cantidad de paneles: 90
- Área bruta instalada: 20493.74 m²

Geonet Triclinal

- Cantidad de paneles: 122
- Área bruta instalada: 20610 m²

Geomembrana HDEPE 2.0 mm (Capa Primaria)

- Cantidad de paneles: 91
- Área bruta instalada: 21393.12 m²

Extruido de detalle (Parches y Cierres)

- Extruido en capa secundaria: 806.80 ml
- Extruido en capa primaria: 863.60 ml
- Total: 1670.40 ml

COSTOS CONSTRUCCIÓN POZA DE AGUAS EN EXCESO.

Dimensiones iniciales:

Tabla 5

Costos y condiciones iniciales por material laminar.

Tipo de Material	Largo (m)	Ancho (m)	Total (m ²)	Costo (US\$)
Rollo de Geomembrana 2.0 mm HDPE Lisa	210	7	1470	11745.3
Rollo de Geomembrana 1.5 mm HDPE Lisa	210	7	1470	10069.5
Rollo de Geonet Triclínar	120	6	720	3081.6
Rollo de Geotextil OZ/YD2	100	4	400	1144

Fuente: (Alibaba, 2020)

Tabla 6

Costos y condiciones iniciales para soldadura extruida.

Tipo de Material	Largo (m)	Costo (US\$)
Caja de cordón de Extruido HDPE 5 mm	97	319.906

Fuente: (Alibaba, 2020)

Costo de material por capa

Tabla 7

Costo de material por capa.

Capa		Área Instalada		Material			Costo
Nombre	Material	Cantidad Instalada	Unidad	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (US\$)	Total Por Capa (US\$)
Capa de Acondicionamiento	Geotextil OZ8/YD2	18988.00	m ²	48	Rollo	1144.00	54912
Capa Secundaria	Geomembrana 1.5 HDPE Lisa	20493.74	m ²	14	Rollo	10069.5	140973
Capa de Resistencia	Geonet Triclinar	20610.00	m ²	29	Rollo	3081.6	89366.4
Capa Primaria	Geomembrana 2.0 HDPE Lisa	21393.12	m ²	15	Rollo	11745.3	176179.5
Extruido de Detalle	Extruido HDPE 5 mm	1670.40	ml	18	Cordón de extruido	319.906	5758.308
Total Materiales						US\$	467189.208

Fuentes: (Alibaba, 2020) , (Segepsaj, 2019)

Costo instalación por capa

Tabla 8

Costo de instalación por capa

Capa		Área Instalada		Instalación		Total Por Capa (US\$)
Nombre	Material	Cantidad Instalada	Unidad	Costo (US\$)	Unidad de Cobro	
Capa de Acondicionamiento	Geotextil OZ8/YD2	18988.00	m ²	0.19	m ²	3607.720
Capa Secundaria	Geomembrana 1.5 HDPE Lisa	20493.74	m ²	0.84	m ²	17214.737
Capa de Resistencia	Geonet Triclinal	20610.00	m ²	0.46	m ²	9480.600
Capa Primaria	Geomembrana 2.0 HDPE Lisa	21393.12	m ²	0.93	m ²	19895.600
Extruido de Detalle	Extruido HDPE 5 mm	1670.40	ml	4.23	ml	7065.792
					Total Instalación	US\$ 57264.449

Fuentes: (Alibaba, 2020) , (Segepsaj, 2019)

Costo general

Tabla 9

Costo total de revestimiento poza de aguas en exceso

Costo Total		
Total Materiales	US\$	467189.208
Total Instalación	US\$	57264.449
	US\$	524,453.66

Elaboración: Propia

ANÁLISIS CONTROL DE SOLDADURAS CAPA PRIMARIA Y SECUNDARIA

Capa Secundaria Geomembrana Lisa HDPE 1.5 mm

- Soldadura por Extrusión
 - Soldadura por extrusión a 9°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 10

Testeos a 9°C Capa Secundaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
59	9	260	280	59	76	Pasa
				79	83	Pasa
				72	80	Pasa
				55	85	Pasa
				65	79	Pasa
94	9	270	280	59	112	Pasa
				67	109	Pasa
				66	110	Pasa
				66	112	Pasa
				64	111	Pasa
95	9	260	280	70	101	Pasa
				76	99	Pasa
				80	112	Pasa
				72	106	Pasa
				77	108	Pasa
97	9	270	280	70	94	Pasa
				61	99	Pasa
				64	99	Pasa
				68	90	Pasa
				61	90	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 11

Promedio de testeos capa secundaria 9°C (Extrusión)

N° Prueba	59	94	95	97	Promedio
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	66	64	75	65	67
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	81	111	105	94	98

Fuente: (Segepsaj, 2019)

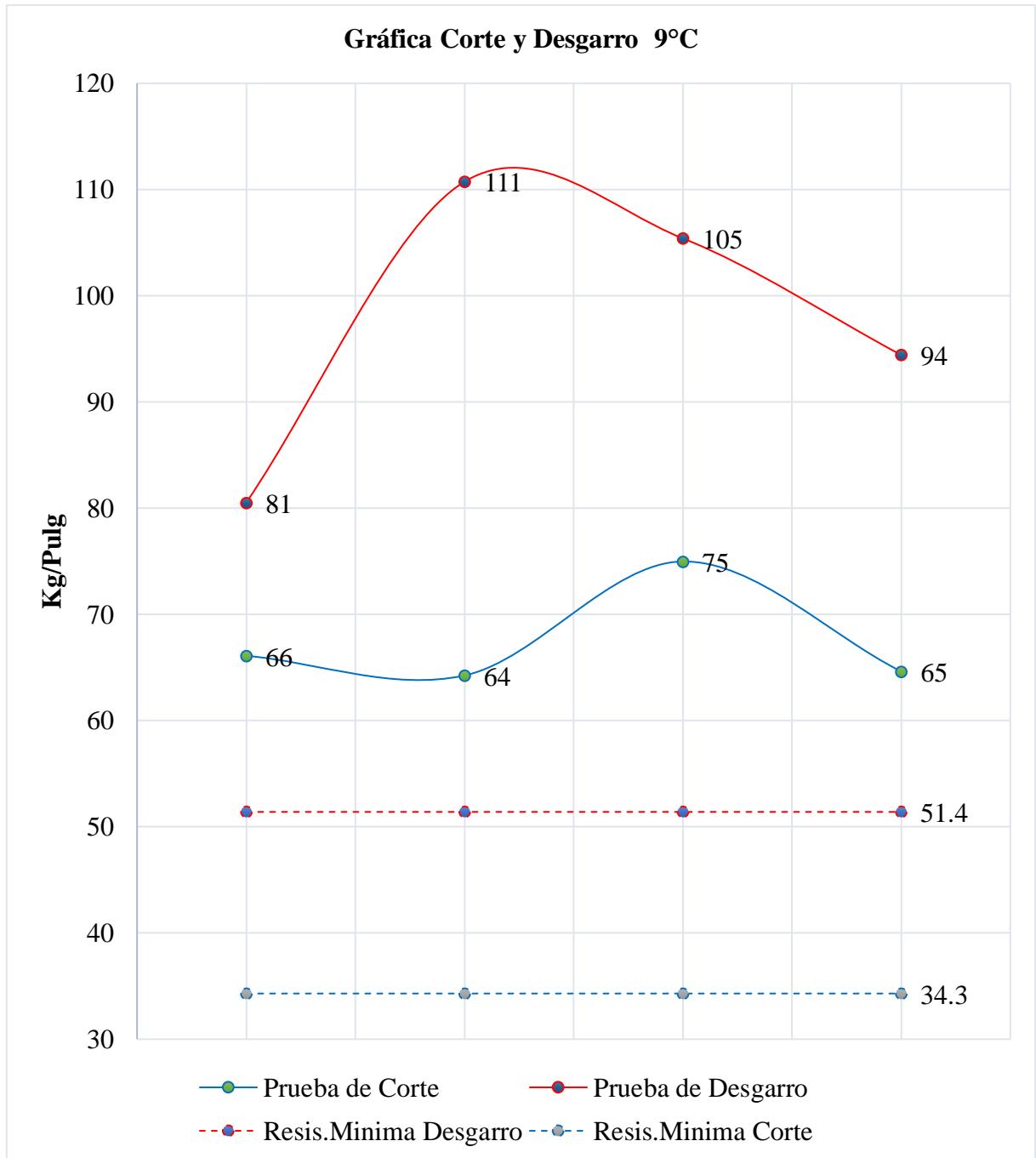


Gráfico 8

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 9°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 11°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 12

Testeos a 11°C Capa Secundaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
24	11	260	270	49	82	Pasa
				46	82	Pasa
				48	85	Pasa
				47	82	Pasa
				48	83	Pasa
50	11	250	260	48	85	Pasa
				59	77	Pasa
				55	86	Pasa
				57	81	Pasa
				51	84	Pasa
54	11	250	260	56	81	Pasa
				49	86	Pasa
				52	85	Pasa
				61	85	Pasa
				50	77	Pasa
55	11	275	285	56	81	Pasa
				51	78	Pasa
				51	82	Pasa
				57	89	Pasa
				56	85	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 13

Promedio de testeos capa secundaria 11°C (Extrusión)

N° Prueba	24	50	54	55	Promedio
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	48	54	54	54	52
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	83	83	83	83	83

Fuente: (Segepsaj, 2019)

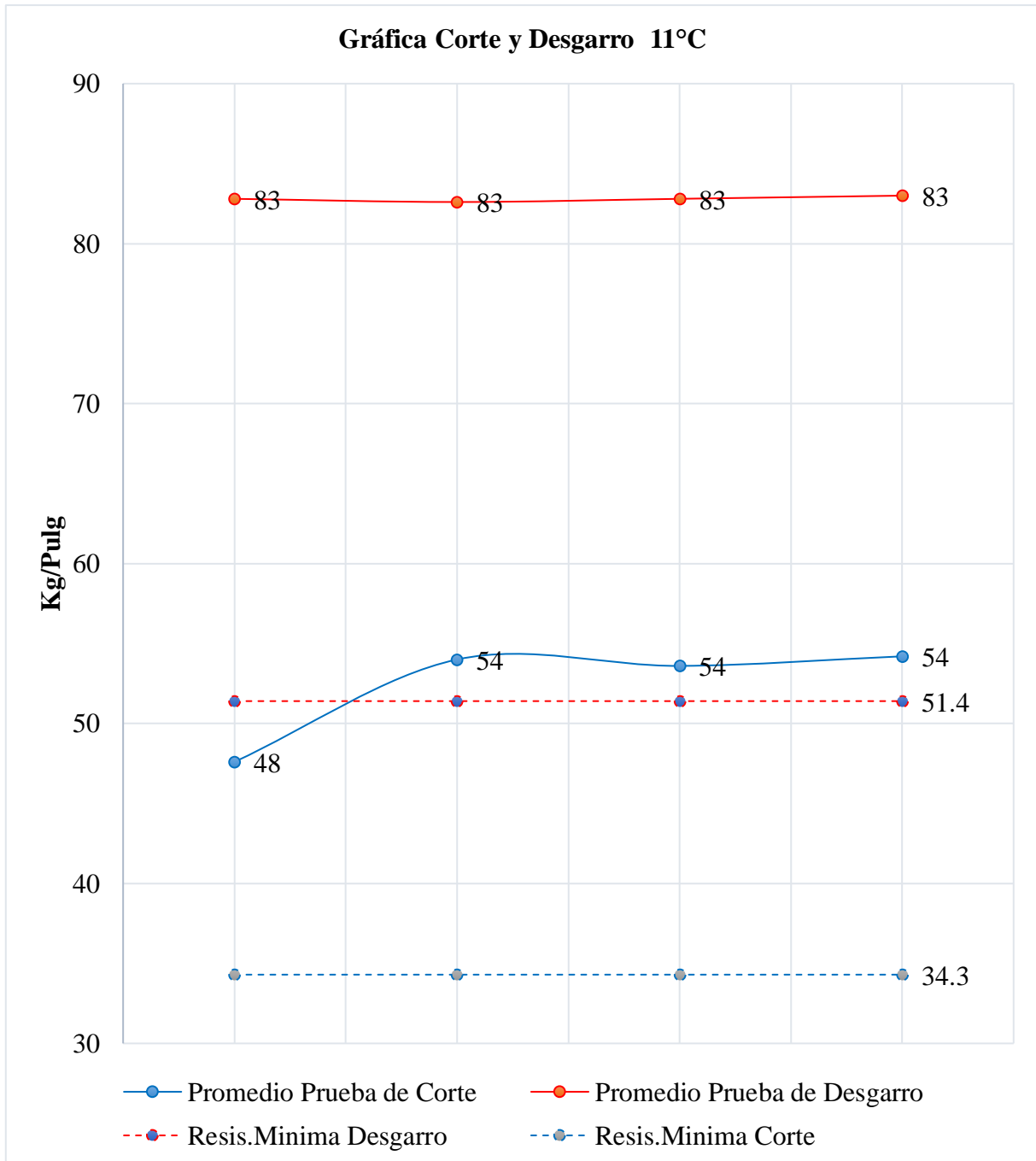


Gráfico 9

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 12°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 14

Testeos a 12°C Capa Secundaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
48	12	250	260	51	85	Pasa
				53	84	Pasa
				51	87	Pasa
				53	80	Pasa
				46	79	Pasa
				65	85	Pasa
51	12	275	285	66	86	Pasa
				60	84	Pasa
				64	85	Pasa
				63	89	Pasa
				51	88	Pasa
				56	89	Pasa
52	12	250	260	54	83	Pasa
				50	85	Pasa
				61	93	Pasa
				61	86	Pasa
				59	86	Pasa
				56	85	Pasa
53	12	275	285	50	81	Pasa
				55	85	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 15

Promedio de testeos capa secundaria 12°C (Extrusión)

N° Prueba	48	51	52	53	Promedio
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	51	64	54	56	56
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	83	86	88	85	85

Fuente: (Segepsaj, 2019)

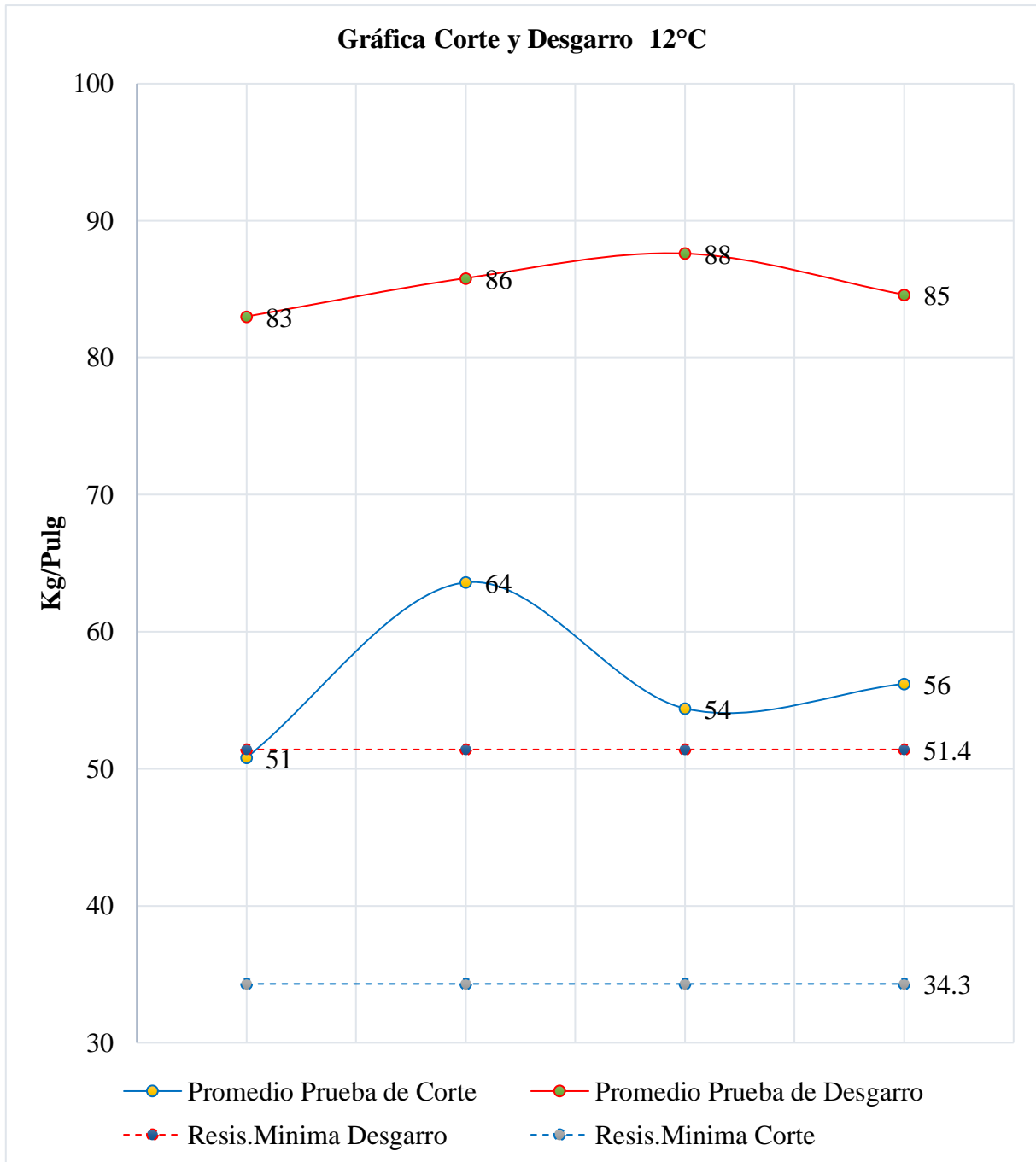


Gráfico 10

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 13°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 16

Testeos a 13°C Capa Secundaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
8	13	260	270	59	73	Pasa
				56	72	Pasa
				58	75	Pasa
				55	76	Pasa
				58	80	Pasa
10	13	260	270	43	70	Pasa
				51	65	Pasa
				46	70	Pasa
				55	73	Pasa
				47	70	Pasa
14	13	260	270	60	86	Pasa
				51	85	Pasa
				55	81	Pasa
				47	89	Pasa
				49	94	Pasa
17	13	270	260	49	87	Pasa
				48	83	Pasa
				47	86	Pasa
				51	85	Pasa
				54	84	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 17

Promedio de testeos capa secundaria 13°C (Extrusión)

N° Prueba	8	10	14	17	Promedio
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	57	48	52	50	52
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	75	70	87	85	88

Fuente: (Segepsaj, 2019)

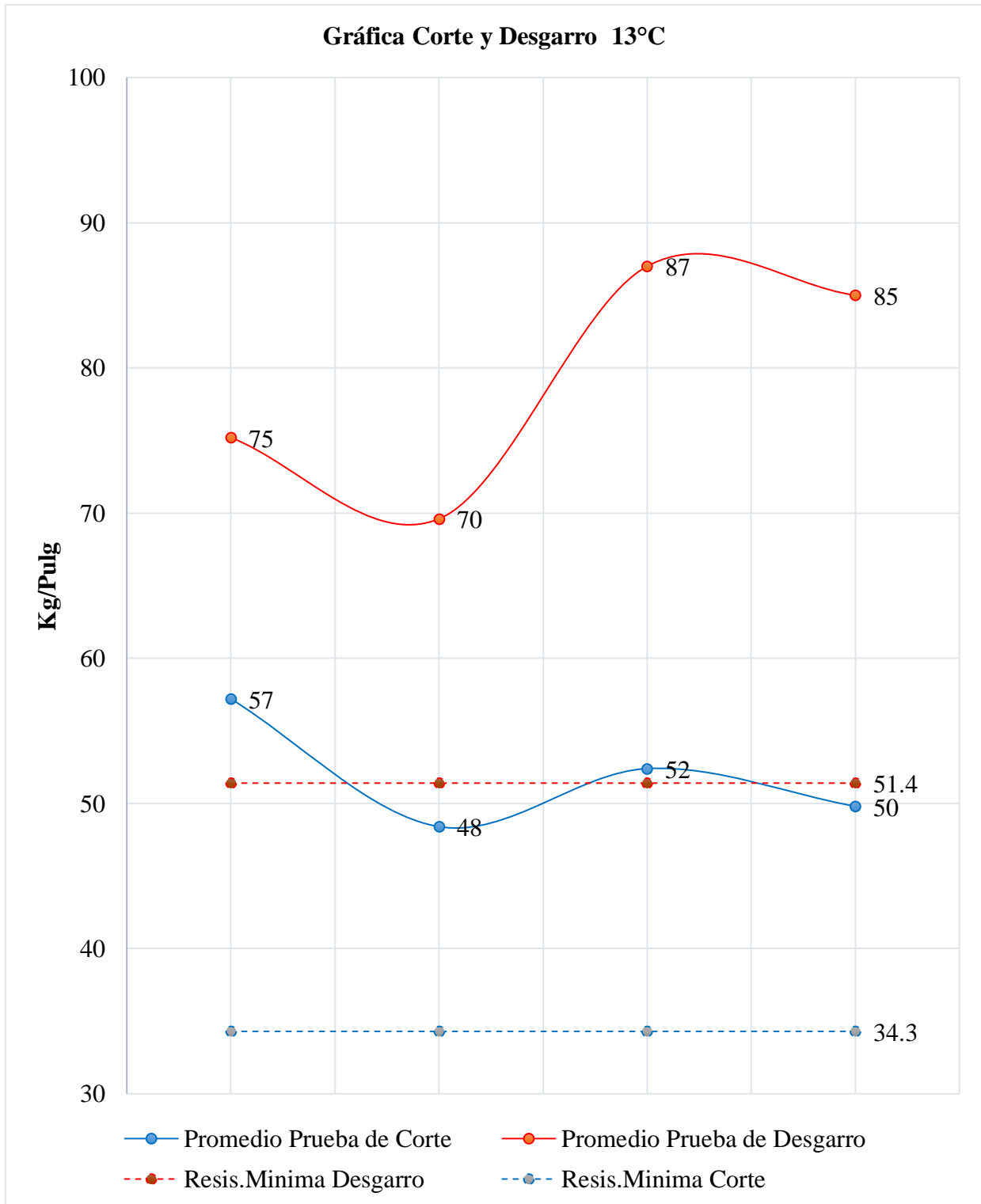


Gráfico 11

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 14°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 18

Testeos a 14°C Capa Secundaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
1	14	260	270	44	83	Pasa
				48	76	Pasa
				50	87	Pasa
				51	81	Pasa
				54	84	Pasa
9	14	260	270	56	101	Pasa
				53	98	Pasa
				55	94	Pasa
				50	96	Pasa
				47	118	Pasa
12	14	260	270	46	89	Pasa
				50	88	Pasa
				50	86	Pasa
				47	90	Pasa
				47	87	Pasa
19	14	260	270	57	84	Pasa
				59	78	Pasa
				57	81	Pasa
				59	82	Pasa
				69	81	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 19

Promedio de testeos capa secundaria 14°C (Extrusión)

N° Prueba	1	9	12	19	Promedio
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	49	52	48	60	52
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	82	101	88	81	88

Fuente: (Segepsaj, 2019)

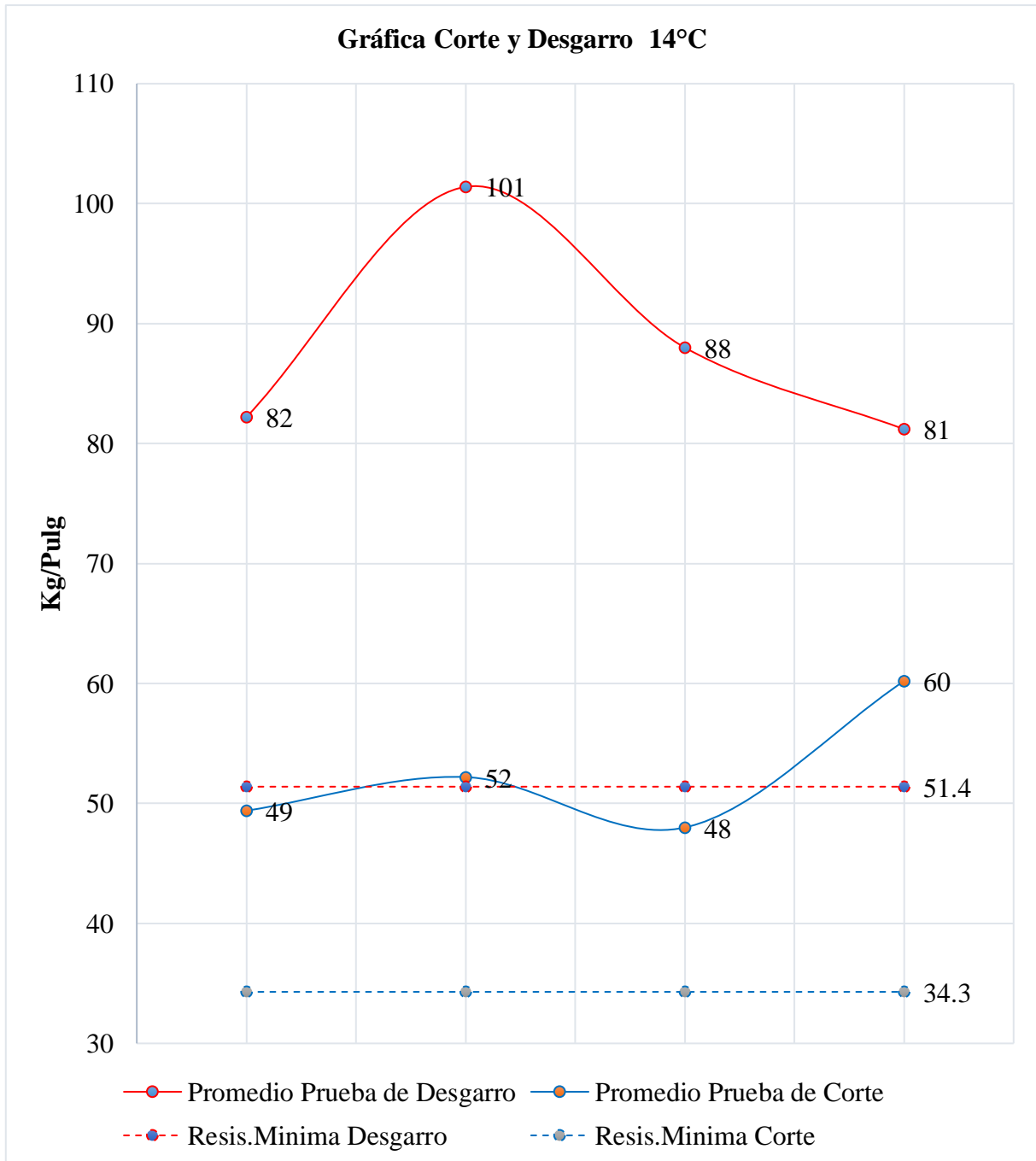


Gráfico 12

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por Termofusión
 - Soldadura por termofusión a 9°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 20

Testeos a 9°C Capa Secundaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
3	9	450	1.8	58	57	89	Pasa
				58	62	91	Pasa
				50	63	88	Pasa
				63	58	85	Pasa
				52	53	90	Pasa
33	9	450	1.8	59	46	71	Pasa
				55	48	86	Pasa
				48	53	81	Pasa
				51	43	79	Pasa
				54	62	75	Pasa
Df-24	9	450	1.8	62	56	70	Pasa
				59	55	64	Pasa
				60	59	60	Pasa
				53	55	67	Pasa
				57	58	75	Pasa
Df -12	9	450	2	69	72	82	Pasa
				72	69	86	Pasa
				66	57	81	Pasa
				60	68	86	Pasa
				69	66	87	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 21

Promedio de testeos capa Secundaria 9°C (Termofusión)

N° Prueba	3	33	Df-24	Df -12	Promedio
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	56.2	53.4	58	67	58.75
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	58.6	50.4	57	66	58
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	88.6	78.4	67.2	84.4	79.65

Fuente: (Segepsaj, 2019)

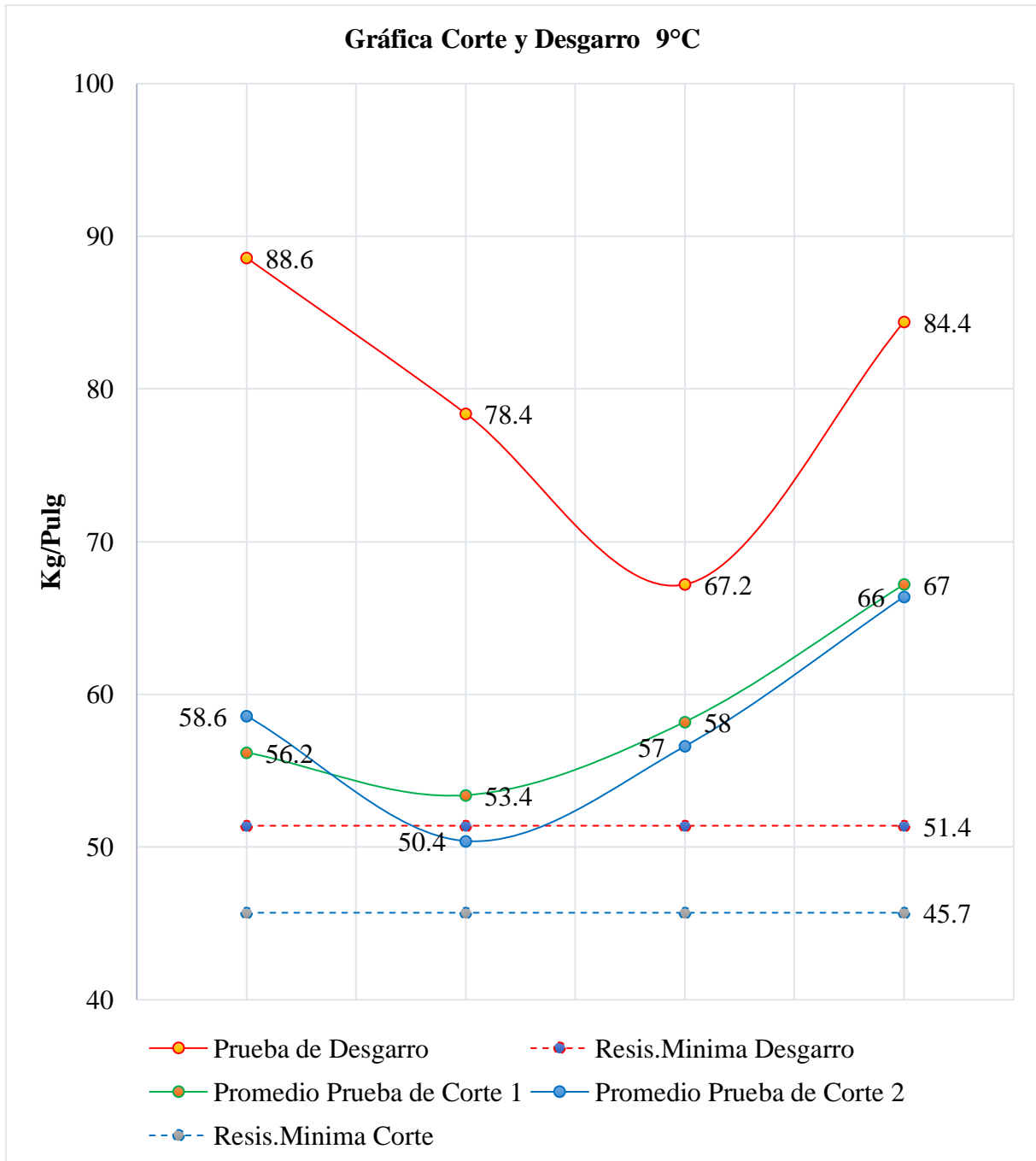


Gráfico 13

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 9°C (Termofusión)

- Soldadura por termofusión 11°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 22

Testeos a 11°C Capa Secundaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
1	11	450	1.8	62	60	74	Pasa
				52	61	82	Pasa
				57	51	79	Pasa
				60	50	78	Pasa
				62	55	88	Pasa
5	11	450	1.8	56	52	73	Pasa
				52	48	76	Pasa
				52	49	73	Pasa
				53	51	82	Pasa
				55	50	90	Pasa
47	11	450	1.8	60	53	62	Pasa
				57	54	74	Pasa
				58	62	75	Pasa
				63	68	78	Pasa
				50	57	73	Pasa
49	11	450	2.0	57	54	79	Pasa
				45	54	79	Pasa
				54	52	77	Pasa
				53	60	74	Pasa
				58	53	77	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 23

Promedio de testeos capa Secundaria 11°C (Termofusión)

N° Prueba	1	5	47	49	Promedio
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	58.6	53.6	58	53	55.81
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	55.4	50	59	55	54.70
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	80	79	72	77	77

Fuente: (Segepsaj, 2019)

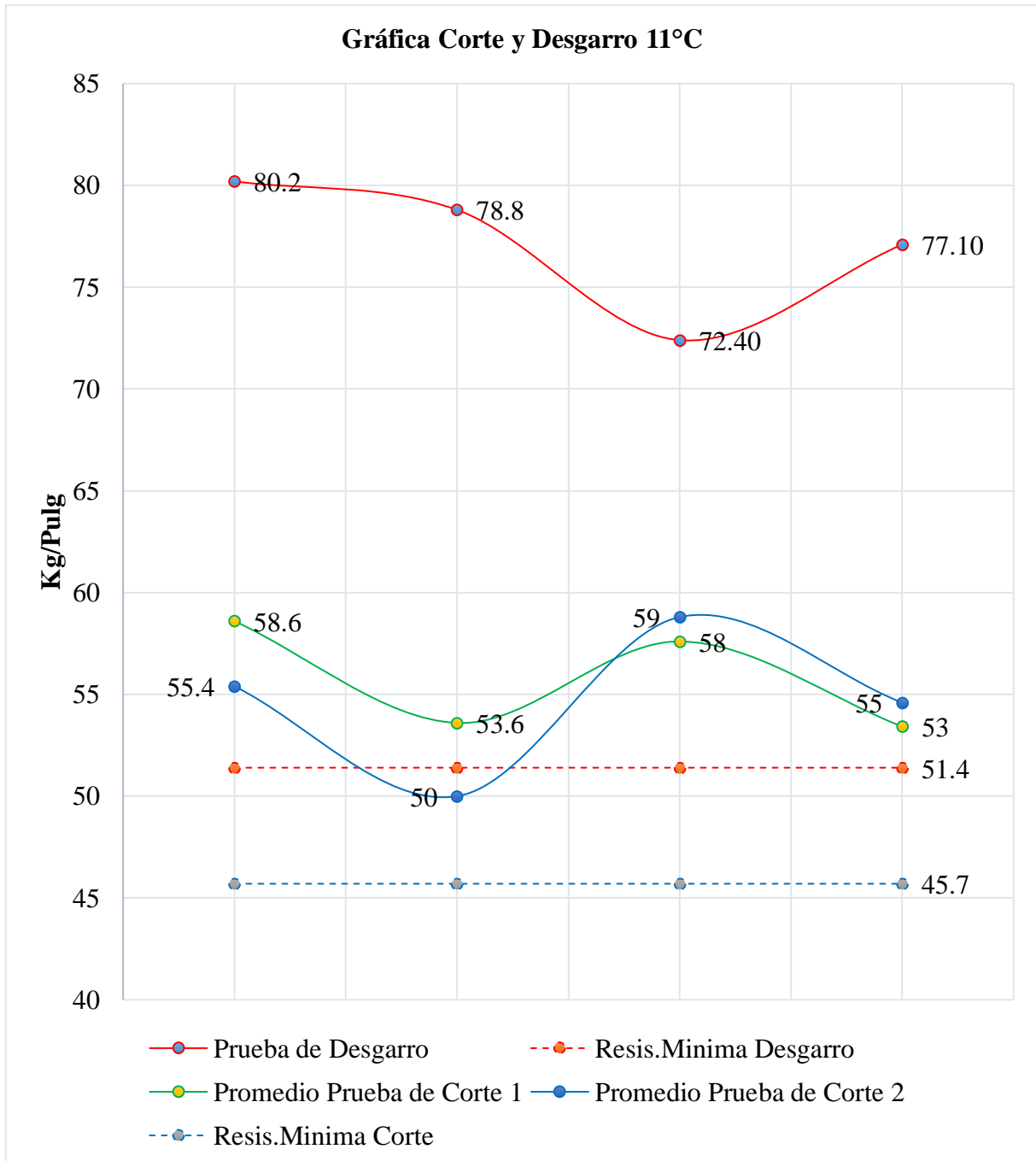


Gráfico 14

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Termofusión)

- Soldadura por termofusión a 12°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 24

Testeos a 12°C Capa Secundaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Ambiente	
24	12	450	2.5	71	69	91	Pasa
				81	79	89	Pasa
				69	68	100	Pasa
				65	59	112	Pasa
				58	61	111	Pasa
26	12	450	2.5	61	65	117	Pasa
				54	58	97	Pasa
				61	59	116	Pasa
				63	66	115	Pasa
				55	59	98	Pasa
30	12	450	1.8	53	50	111	Pasa
				55	53	99	Pasa
				55	60	99	Pasa
				60	57	113	Pasa
				57	55	110	Pasa
35	12	450	2.5	57	54	82	Pasa
				58	59	76	Pasa
				59	60	81	Pasa
				60	61	87	Pasa
				58	61	76	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 25

Promedio de testeos capa Secundaria 12°C (Termofusión)

N° Prueba	24	26	30	35	Promedio
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	68.8	58.8	56	58	60.5
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	67.2	61.4	55	59	60.65
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	101	109	106	80	99

Fuente: (Segepsaj, 2019)

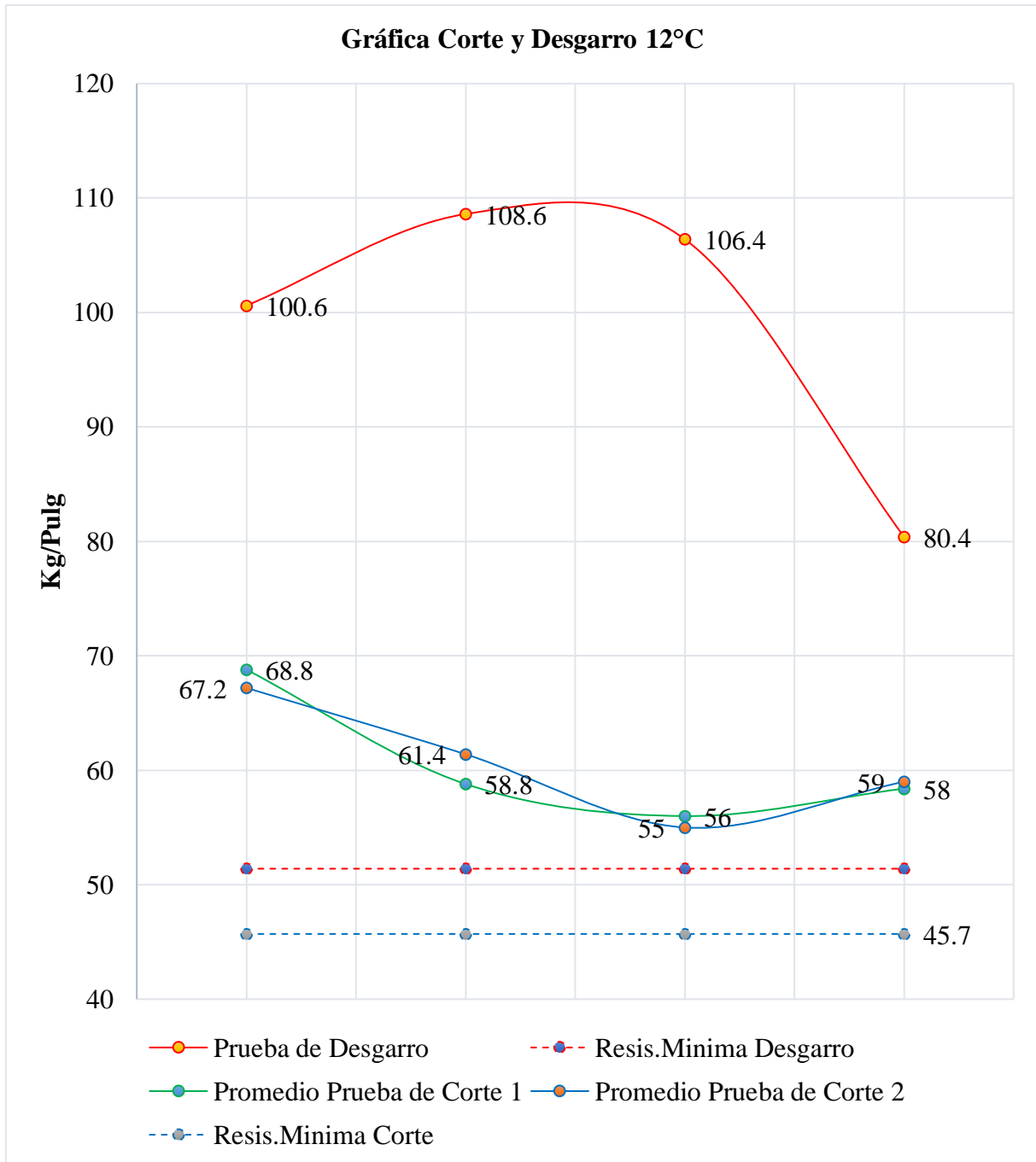


Gráfico 15

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Termofusión)

- Soldadura por termofusión a 13°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 26

Testeos a 13°C Capa Secundaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
6	13	450	1.8	51	54	77	Pasa
				56	48	83	Pasa
				58	54	75	Pasa
				55	50	80	Pasa
				57	55	88	Pasa
21	13	450	2.5	54	51	72	Pasa
				59	57	75	Pasa
				53	59	69	Pasa
				50	54	72	Pasa
				49	53	70	Pasa
22	13	450	1.8	56	42	78	Pasa
				58	45	85	Pasa
				58	63	82	Pasa
				56	50	80	Pasa
				53	43	84	Pasa
25	13	450	1.8	55	57	77	Pasa
				61	57	72	Pasa
				60	65	72	Pasa
				57	61	75	Pasa
				56	55	69	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 27

Promedio de testeos capa Secundaria 13°C (Termofusión)

N° Prueba	6	21	22	25	Promedio
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	55.4	53	56	58	55.6
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	52.2	54.8	49	59	53.65
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	81	72	82	73	77

Fuente: (Segepsaj, 2019)

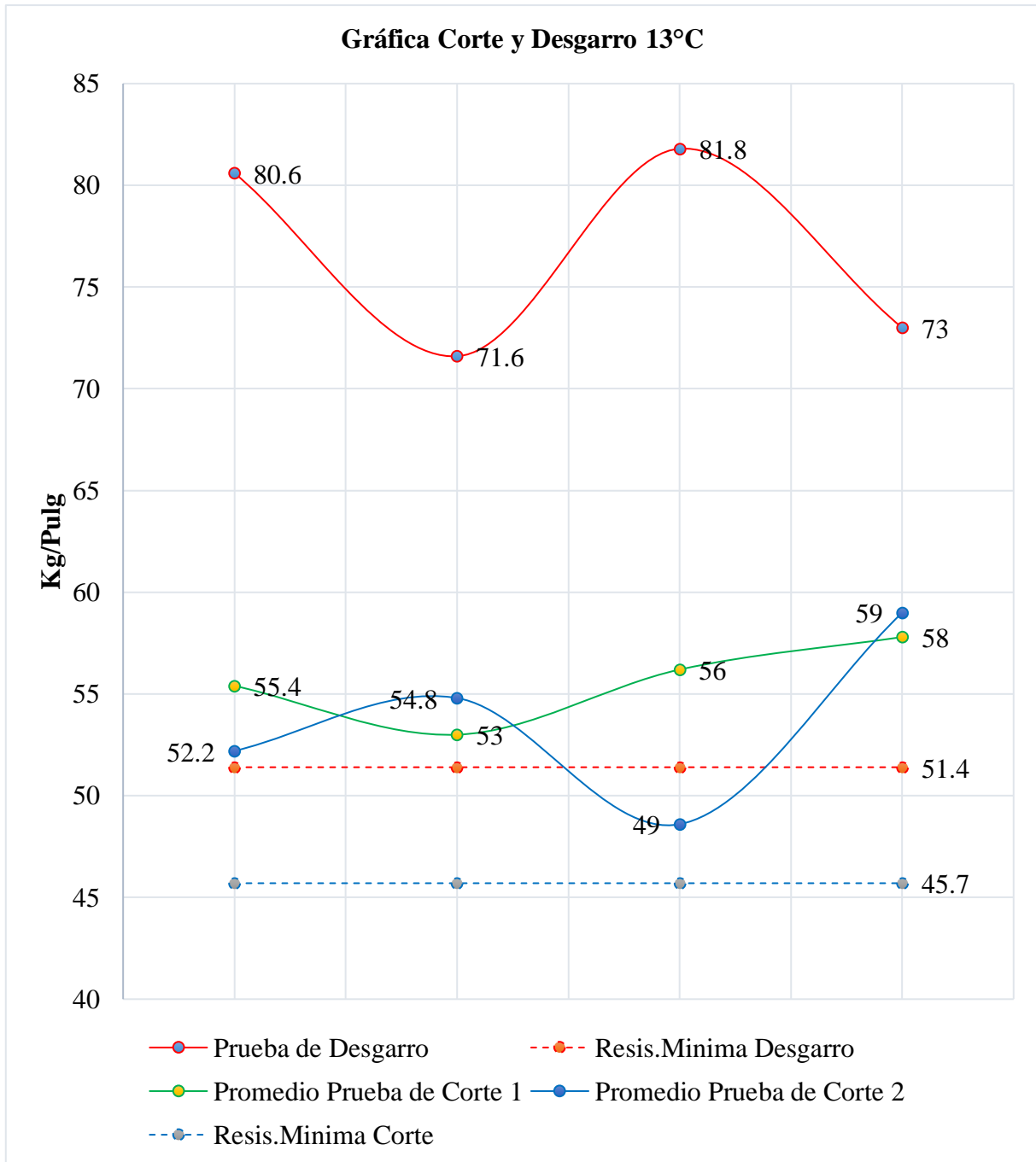


Gráfico 16

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Termofusión)

- Soldadura por termofusión a 14°C temperatura ambiente capa secundaria

Tabla 28

Testeos a 14°C Capa Secundaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
8	14	450	1.8	56	53	72	Pasa
				59	54	80	Pasa
				58	44	81	Pasa
				59	43	80	Pasa
				59	53	82	Pasa
				60	59	79	Pasa
9	14	450	2.5	62	57	80	Pasa
				60	59	74	Pasa
				63	60	81	Pasa
				61	61	95	Pasa
				56	56	82	Pasa
				50	52	84	Pasa
23	14	450	2.5	51	44	79	Pasa
				52	49	71	Pasa
				54	56	86	Pasa
				59	57	83	Pasa
				59	55	80	Pasa
				58	56	85	Pasa
31	14	450	2.5	53	57	86	Pasa
				65	58	82	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 29

Promedio de testeos capa Secundaria 14°C (Termofusión)

N° Prueba	8	9	23	31	Promedio
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	58.2	61.2	53	59	57.7
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	49.4	59.2	51	57	54.15
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	79	82	80	83	81

Fuente: (Segepsaj, 2019)

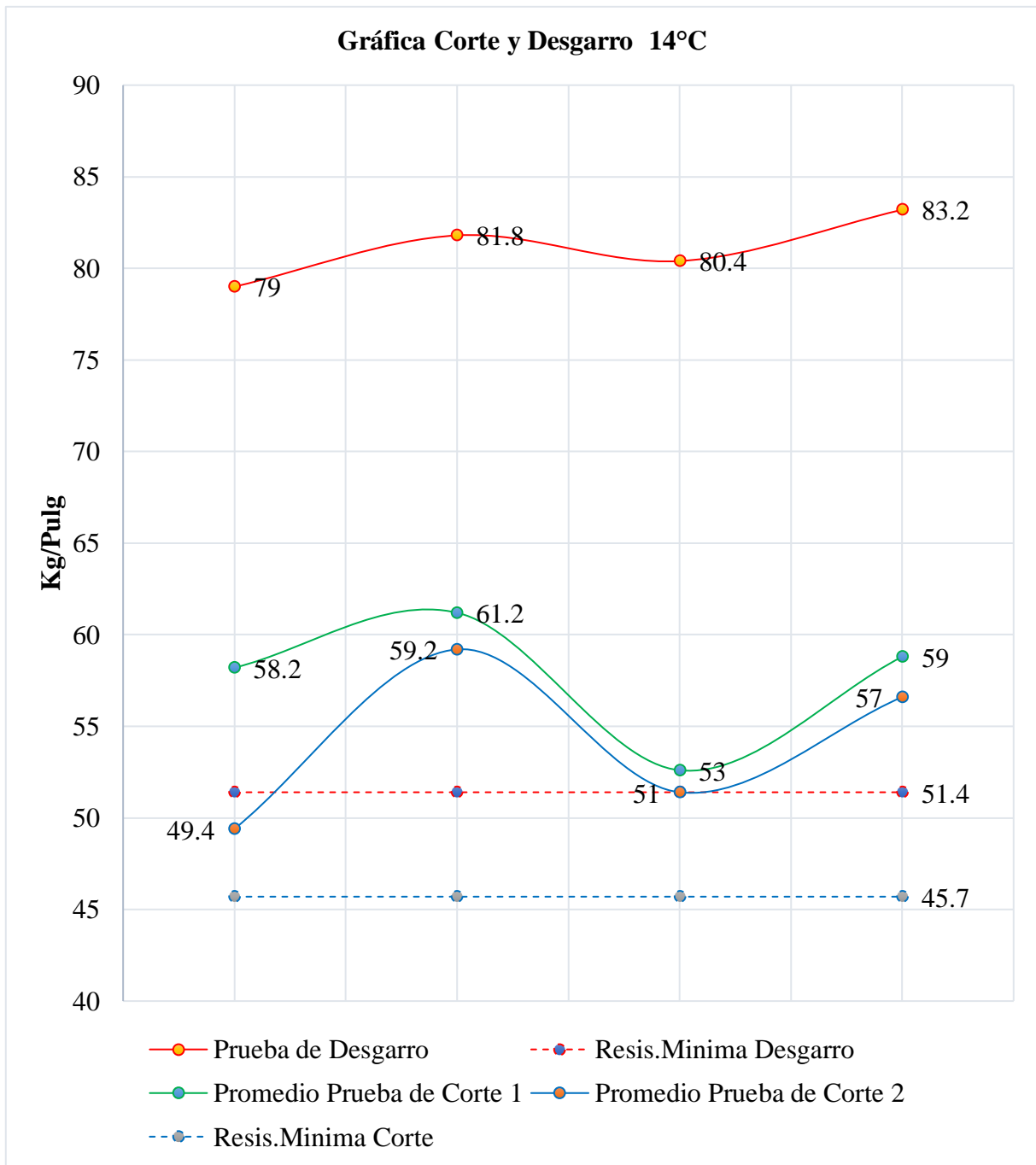


Gráfico 17

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Termofusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Capa Primaria

- Soldadura por Extrusión
 - Soldadura por extrusión a 10°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 30

Testeos a 10°C Capa Primaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
1	10	285	275	64	107	Pasa
				62	108	Pasa
				60	105	Pasa
				61	111	Pasa
				53	17	Pasa
6	10	285	275	71	109	Pasa
				69	111	Pasa
				57	108	Pasa
				64	104	Pasa
				64	113	Pasa
22	10	280	295	60	111	Pasa
				60	110	Pasa
				64	110	Pasa
				58	113	Pasa
				58	110	Pasa
26	10	285	275	67	117	Pasa
				68	122	Pasa
				62	123	Pasa
				57	117	Pasa
				60	124	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 31

Promedio de testeos capa Primaria 10°C (Extrusión)

N° Prueba	1	6	22	26	Promedios
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	60	65	60	63	62
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	90	109	111	121	107

Fuente: (Segepsaj, 2019)

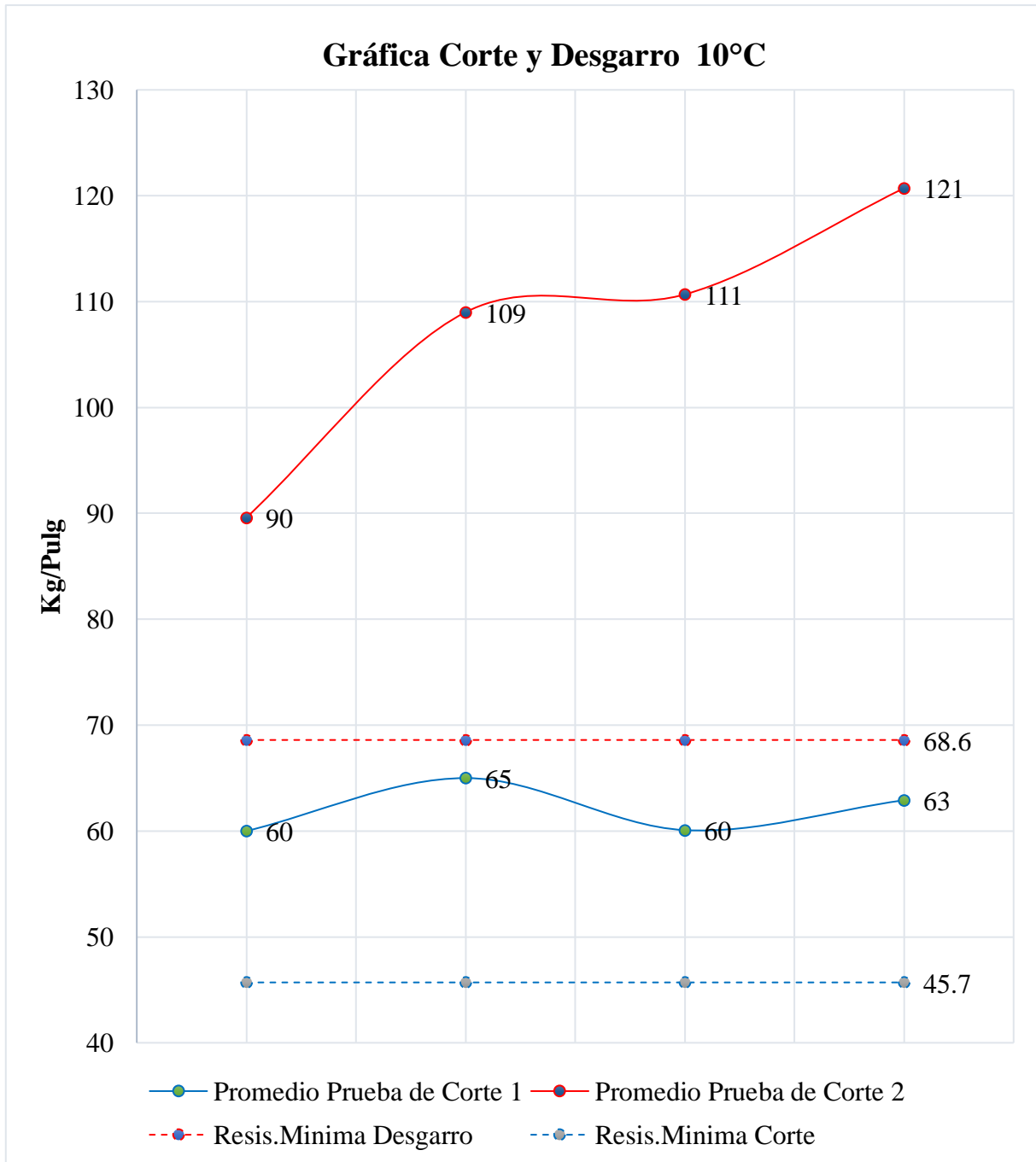


Gráfico 18

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 10°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 11°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 32

Testeos a 11°C Capa Primaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
5	11	270	275	58	108	Pasa
				55	108	Pasa
				62	109	Pasa
				81	111	Pasa
				72	107	Pasa
18	11	260	280	70	130	Pasa
				78	135	Pasa
				78	125	Pasa
				66	125	Pasa
				67	127	Pasa
24	11	285	290	67	135	Pasa
				70	139	Pasa
				70	135	Pasa
				67	122	Pasa
				74	132	Pasa
29	11	285	295	90	125	Pasa
				82	130	Pasa
				82	126	Pasa
				86	123	Pasa
				83	116	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 33

Promedio de testeos capa Primaria 11°C (Extrusión)

N° Prueba	5	18	24	29	Promedios
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	66	72	70	85	73
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	109	128	133	124	123

Fuente: (Segepsaj, 2019)

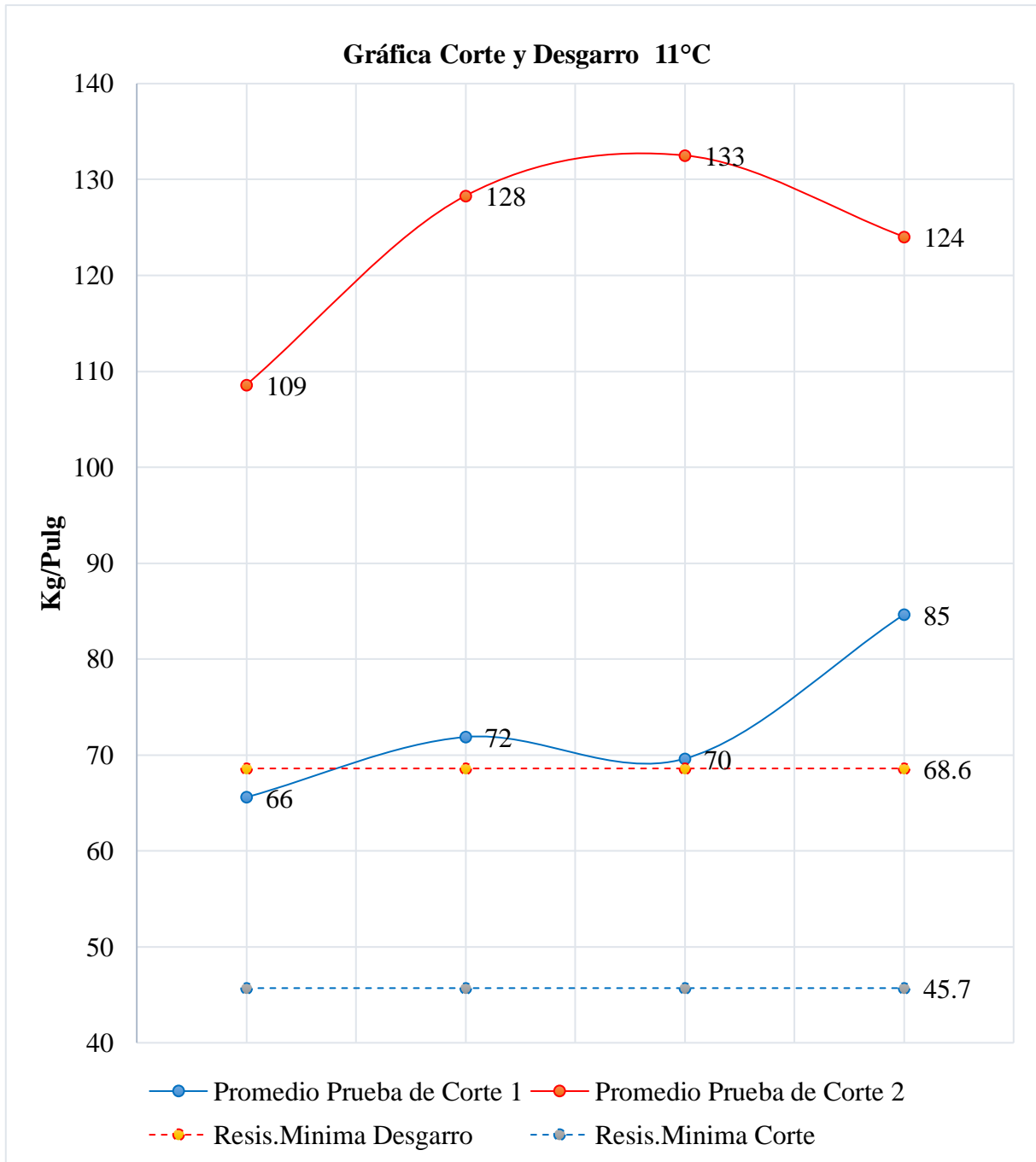


Gráfico 19

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 12°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 34

Testeos a 12°C Capa Primaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
2	12	285	275	58	115	Pasa
				64	109	Pasa
				63	100	Pasa
				59	114	Pasa
				67	113	Pasa
				57	106	Pasa
3	12	270	275	49	105	Pasa
				53	107	Pasa
				57	106	Pasa
				57	106	Pasa
4	12	270	275	56	108	Pasa
				49	109	Pasa
				57	114	Pasa
				62	100	Pasa
				58	106	Pasa
7	12	270	275	58	114	Pasa
				57	120	Pasa
				64	118	Pasa
				53	117	Pasa
				61	116	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 35

Promedio de testeos capa Primaria 12°C (Extrusión)

N° Prueba	2	3	4	7	Promedios
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	62	55	56	59	58
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	110	106	107	117	110

Fuente: (Segepsaj, 2019)

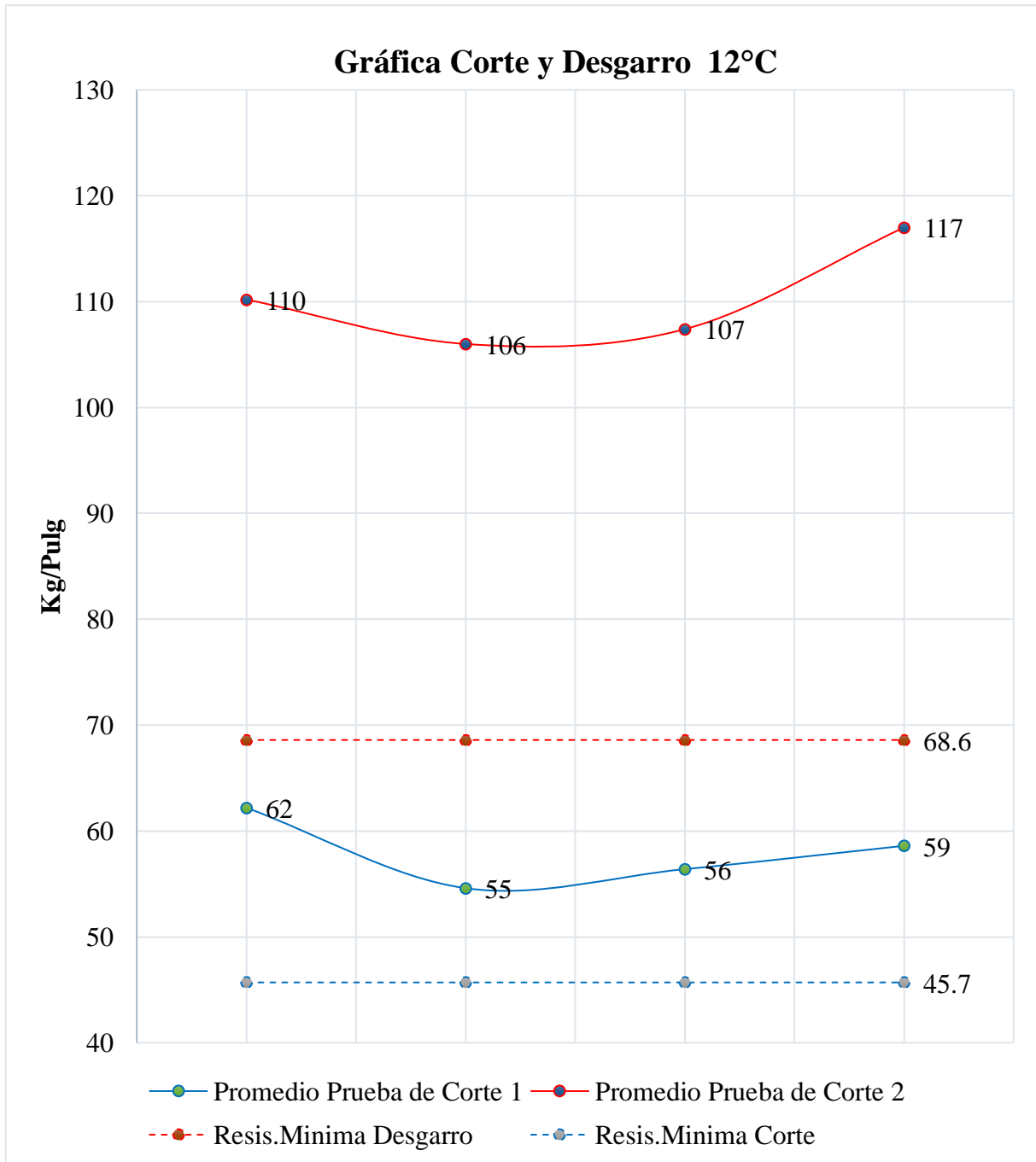


Gráfico 20

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 13°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 36

Testeos a 13°C Capa Primaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
12	13	270	275	66	111	Pasa
				56	105	Pasa
				59	107	Pasa
				54	110	Pasa
				57	99	Pasa
15	13	270	280	45	77	Pasa
				47	84	Pasa
				46	83	Pasa
				44	87	Pasa
				47	86	Pasa
19	13	290	295	56	138	Pasa
				58	116	Pasa
				56	138	Pasa
				56	105	Pasa
				56	143	Pasa
28	13	285	290	88	110	Pasa
				82	106	Pasa
				71	103	Pasa
				78	97	Pasa
				65	94	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 37

Promedio de testeos capa Primaria 13°C (Extrusión)

N° Prueba	12	15	19	28	Promedios
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	58	46	56	77	59
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	106	83	128	102	105

Fuente: (Segepsaj, 2019)

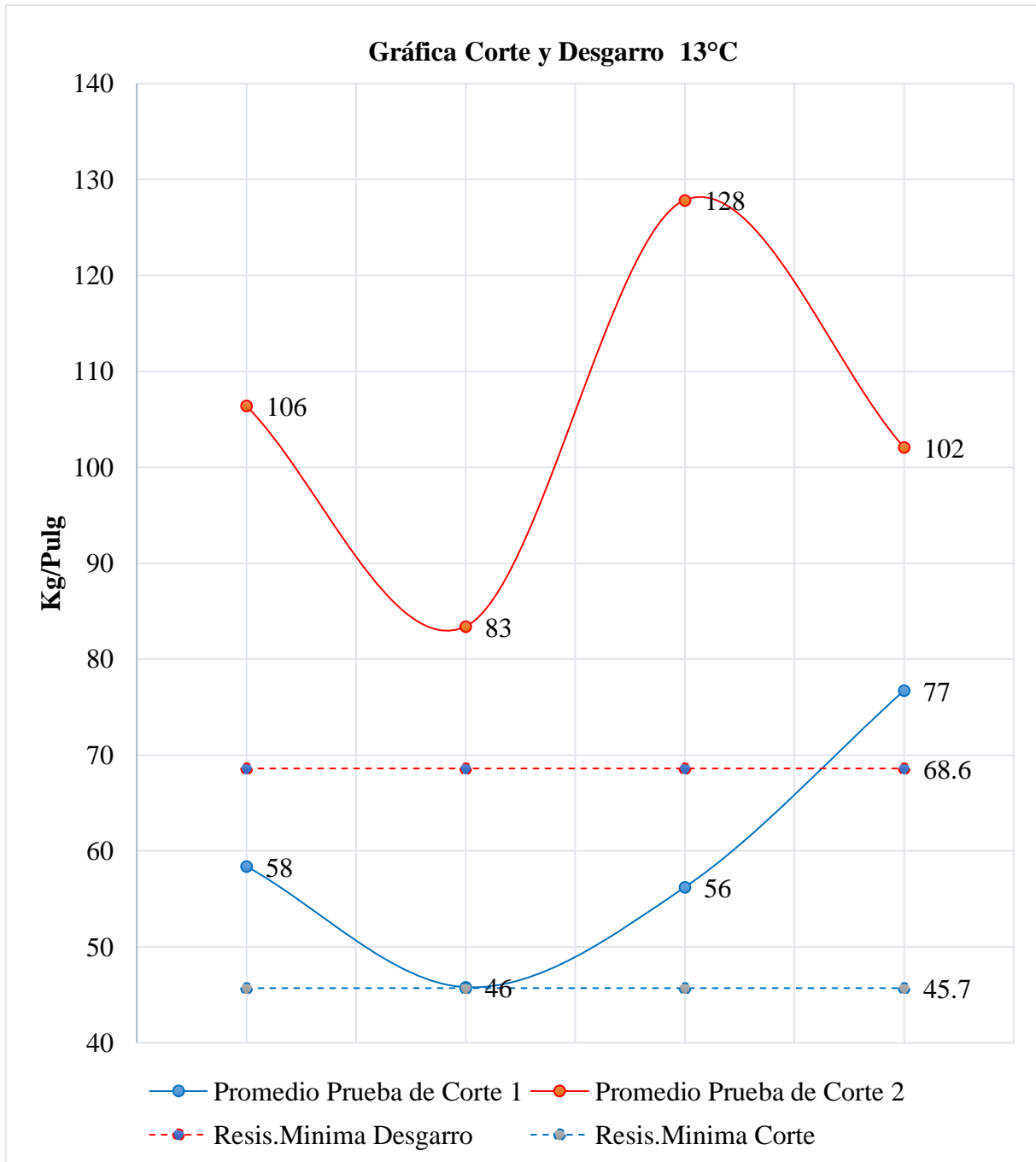


Gráfico 21

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por extrusión a 14°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 38

Testeos a 14°C Capa Primaria (Extrusión)

Prueba N°	Temperaturas C°			Pruebas		Estatus
				Corte	Desgarro	
	Ambiente	Aire Caliente	Soldadura	Kg/Pulg	Kg/Pulg	
11	14	285	275	58	107	Pasa
				61	105	Pasa
				51	111	Pasa
				51	109	Pasa
				57	100	Pasa
16	14	260	280	52	82	Pasa
				52	125	Pasa
				52	123	Pasa
				52	114	Pasa
				53	107	Pasa
21	14	260	280	60	50	Pasa
				55	56	Pasa
				56	119	Pasa
				64	125	Pasa
				56	106	Pasa
33	14	285	290	53	85	Pasa
				76	88	Pasa
				67	100	Pasa
				55	89	Pasa
				62	88	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 39

Promedio de testeos capa Primaria 14°C (Extrusión)

N° Prueba	11	16	21	33	Promedios
Promedio Prueba de Corte (Kg/Pulg)	56	52	58	63	57
Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	106	110	91	90	99

Fuente: (Segepsaj, 2019)

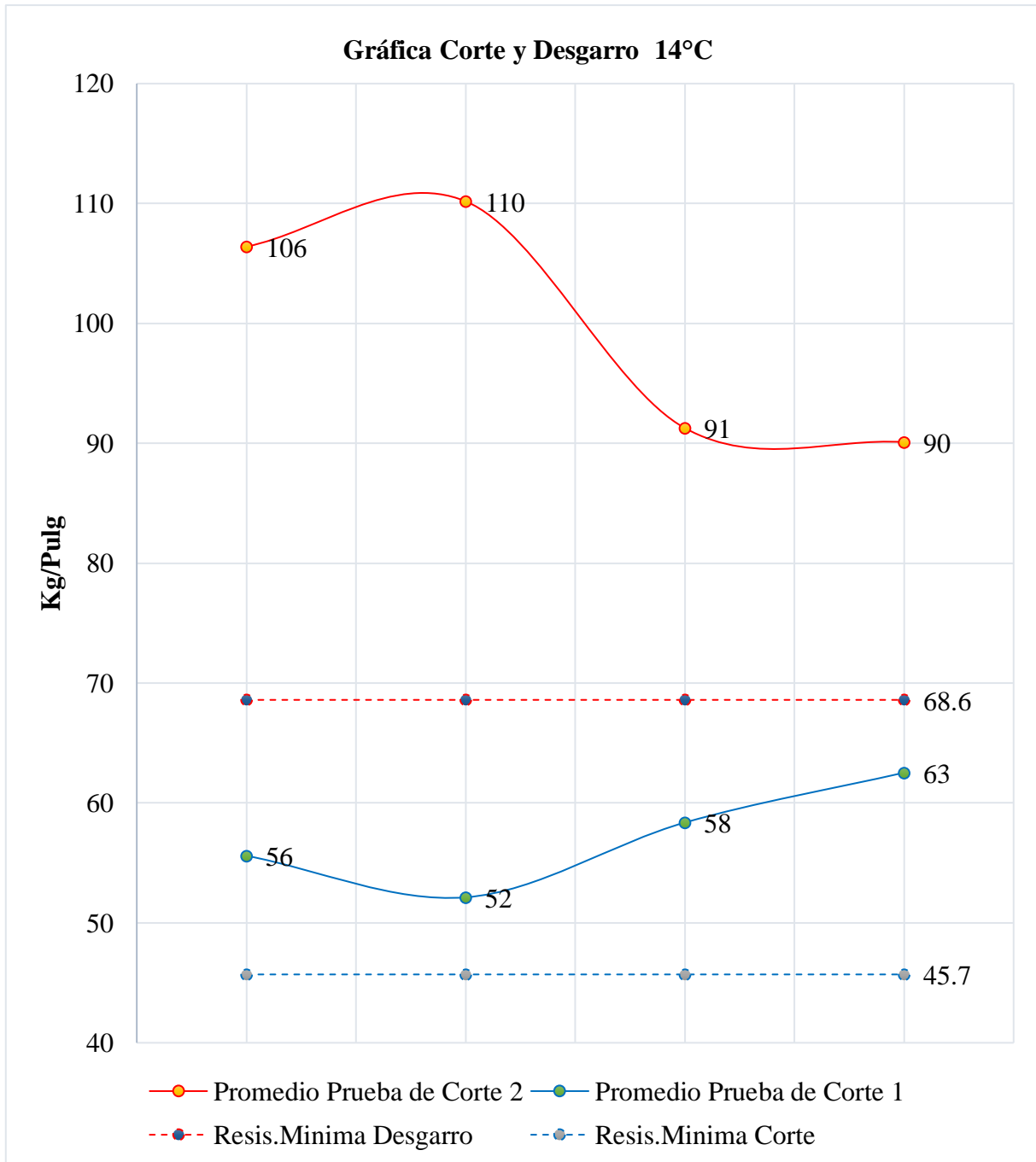


Gráfico 22

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Extrusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por Termofusión
 - Soldadura por termofusión a 10°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 40

Testeos a 10°C Capa Primaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/ Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
32	10	450	1.5	76	107	129	Pasa
				77	82	130	Pasa
				83	85	129	Pasa
				75	75	133	Pasa
				82	84	127	Pasa
33	10	450	1.5	92	110	155	Pasa
				99	96	156	Pasa
				92	97	149	Pasa
				105	102	155	Pasa
				94	96	143	Pasa
35	10	450	1.5	71	70	89	Pasa
				70	70	89	Pasa
				79	70	84	Pasa
				70	69	85	Pasa
				72	69	85	Pasa
44	10	450	1.3	89	106	127	Pasa
				103	110	126	Pasa
				121	104	125	Pasa
				121	105	125	Pasa
				102	102	134	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 41

Promedio de testeos capa Primaria 10°C (Termofusión)

N° Prueba	32	33	35	44	Promedios
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	79	97	72	107	89
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	87	100	70	106	90
Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	130	152	87	127	124

Fuente: (Segepsaj, 2019)

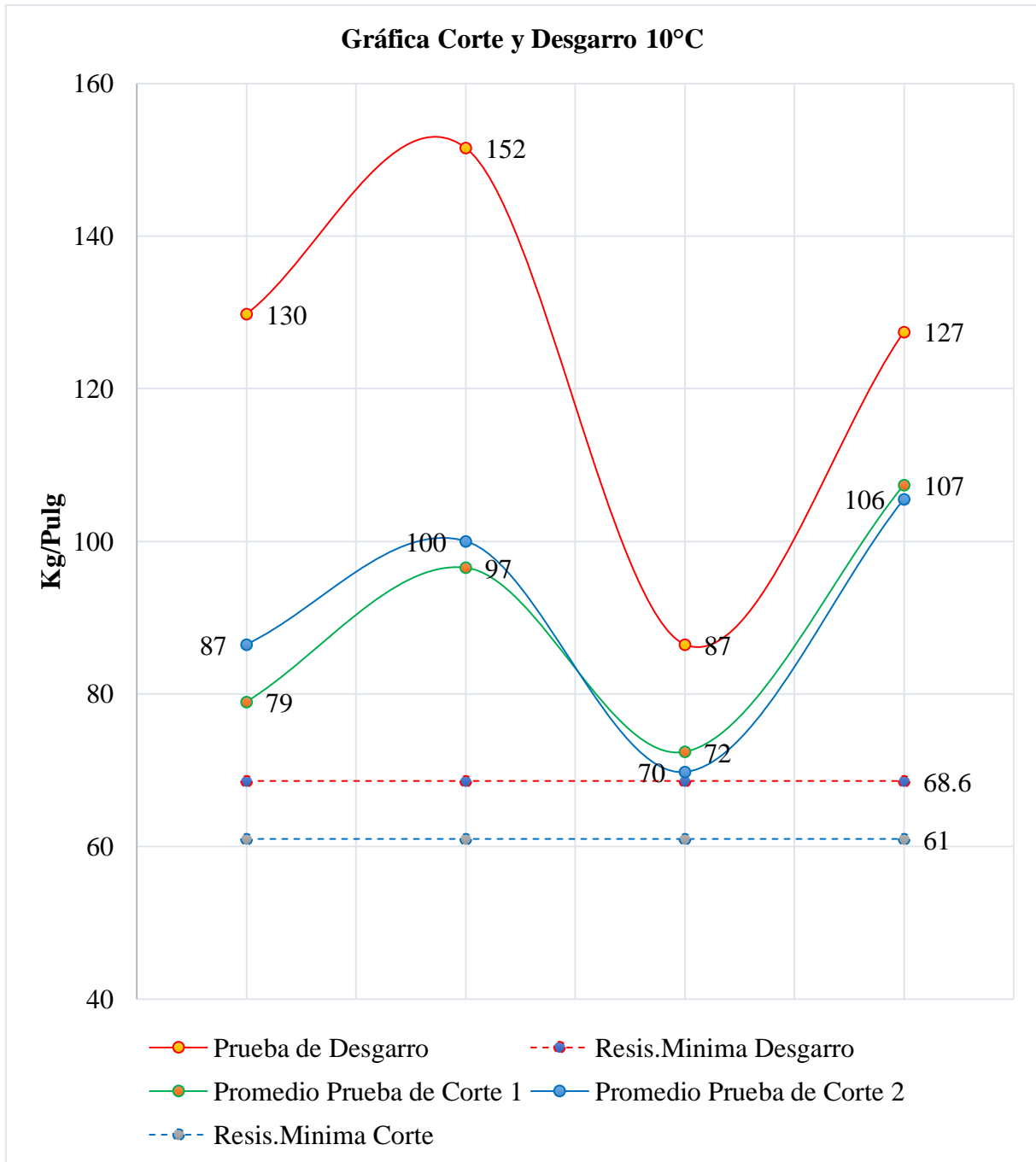


Gráfico 23

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 10°C (Termofusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por termofusión a 11°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 42

Testeos a 11°C Capa Primaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas Kg/ Pulg			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
11	11	450	1.4	69	73	117	Pasa
				65	59	119	Pasa
				60	60	118	Pasa
				58	62	120	Pasa
				69	64	122	Pasa
15	11	450	1.4	65	60	109	Pasa
				58	67	107	Pasa
				59	69	111	Pasa
				63	63	113	Pasa
				62	59	106	Pasa
25	11	450	1.8	74	72	124	Pasa
				78	59	123	Pasa
				74	67	123	Pasa
				72	70	120	Pasa
				69	73	123	Pasa
31	11	450	1.5	75	72	132	Pasa
				75	86	134	Pasa
				77	98	134	Pasa
				84	89	133	Pasa
				82	89	127	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 43

Promedio de testeos capa Primaria 11°C (Termofusión)

N° Prueba	11	15	25	31	Promedios
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	64	61	73	79	69
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	64	64	68	87	71
Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	119	109	123	132	121

Fuente: (Segepsaj, 2019)

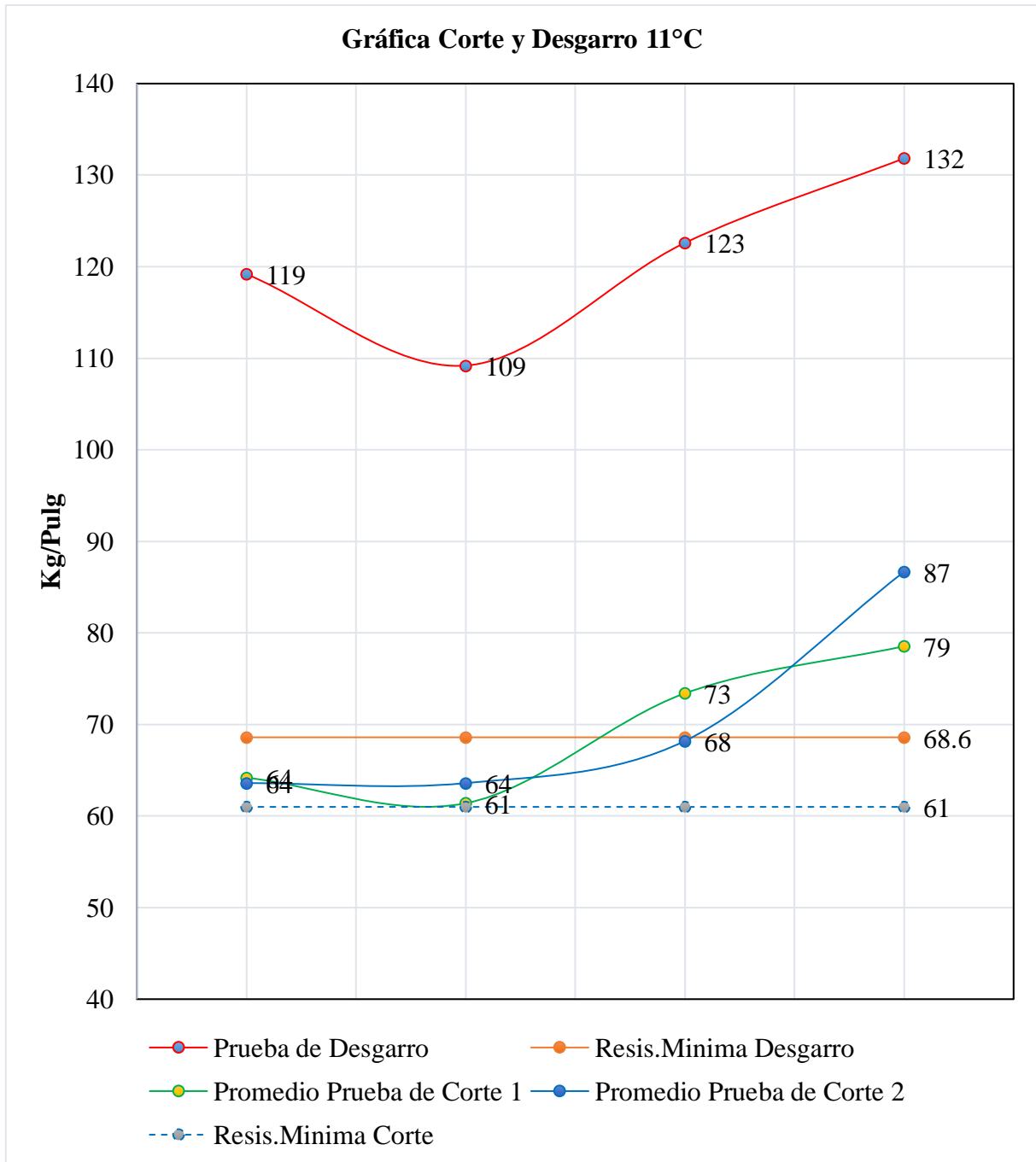


Gráfico 24

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 11°C (Termofusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por termofusión a 12°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 44

Testeos a 12°C Capa Primaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/ Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
1	12	450	1.8	70	76	108	Pasa
				70	70	109	Pasa
				70	74	120	Pasa
				77	80	123	Pasa
				89	86	107	Pasa
3	12	450	1.4	58	58	105	Pasa
				56	70	101	Pasa
				70	65	100	Pasa
				61	59	98	Pasa
				66	60	111	Pasa
10	12	450	1.8	76	70	104	Pasa
				59	65	110	Pasa
				69	60	111	Pasa
				68	60	110	Pasa
				61	61	108	Pasa
16	12	450	1.4	76	60	112	Pasa
				65	72	114	Pasa
				66	59	113	Pasa
				58	62	115	Pasa
				61	57	113	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 45

Promedio de testeos capa Primaria 12°C (Termofusión)

N° Prueba	1	3	10	16	Promedios
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	75	62	67	65	67
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	77	62	63	62	66
Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	113	103	109	113	110

Fuente: (Segepsaj, 2019)

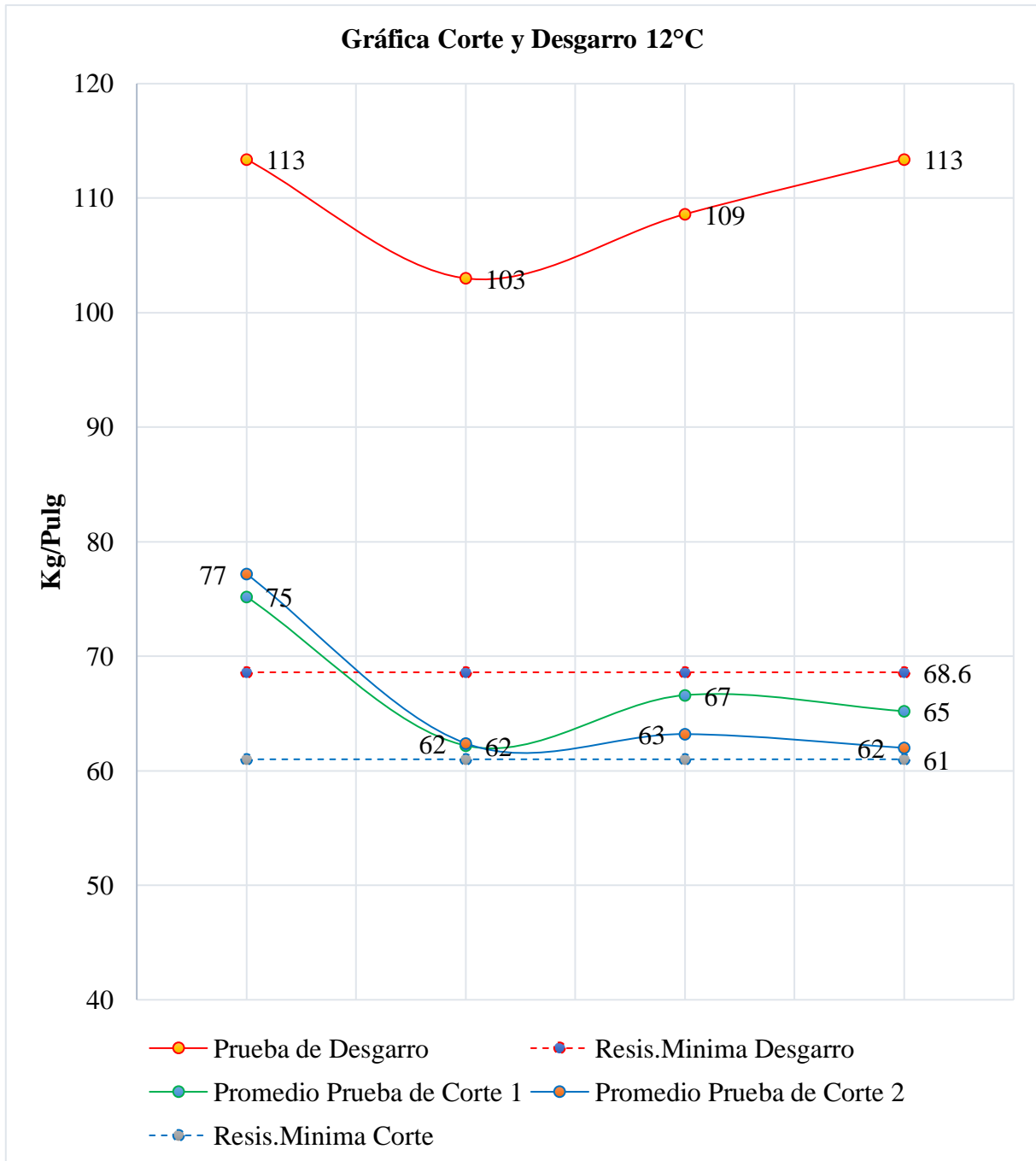


Gráfico 25

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 12°C (Termofusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por termofusión a 13°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 46

Testeos a 13°C Capa Primaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas Kg/ Pulg			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
2	13	450	1.8	74	80	108	Pasa
				65	81	120	Pasa
				70	69	123	Pasa
				75	68	119	Pasa
				72	78	119	Pasa
4	13	450	1.8	67	60	93	Pasa
				72	75	99	Pasa
				63	78	100	Pasa
				70	72	95	Pasa
				78	69	94	Pasa
8	13	450	1.4	63	67	103	Pasa
				59	59	106	Pasa
				60	62	103	Pasa
				70	72	100	Pasa
				72	70	113	Pasa
19	13	450	1.8	72	64	116	Pasa
				67	61	115	Pasa
				68	64	119	Pasa
				62	76	114	Pasa
				69	63	110	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 47

Promedio de testeos capa Primaria 13°C (Termofusión)

N° Prueba	2	4	8	19	Promedios
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg/Pulg)	71.2	70	65	68	68.4
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	75.2	70.8	66	66	69.4
Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	117.8	96.2	105	114.8	108.45

Fuente: (Segepsaj, 2019)

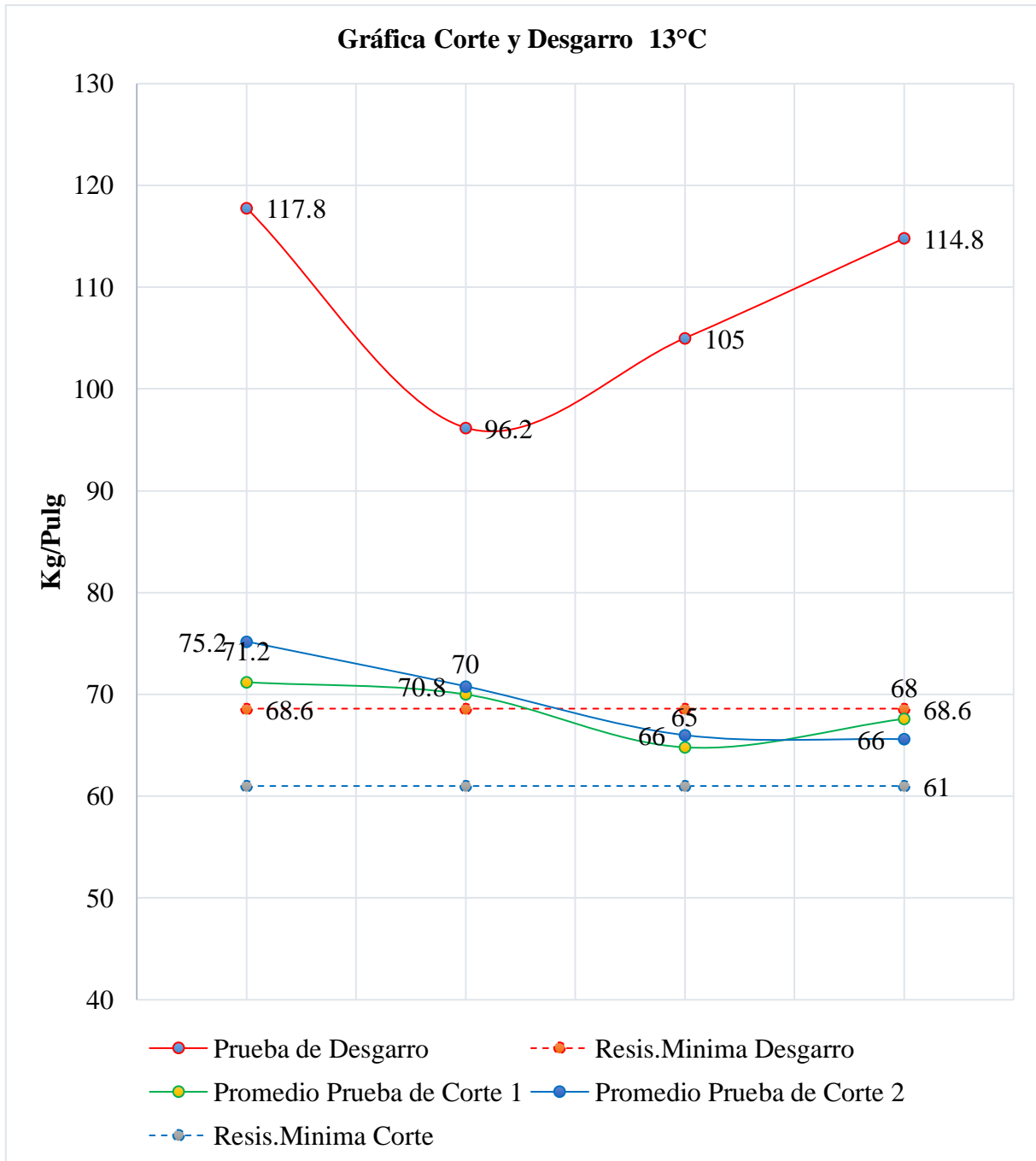


Gráfico 26

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 13°C (Termofusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Soldadura por termofusión a 14°C temperatura ambiente capa primaria

Tabla 48

Testeos a 14°C Capa Primaria (Termofusión)

Prueba N°	Temperatura C°		Velocidad (m/min)	Pruebas (Kg/ Pulg)			Estatus
	Ambiente	Maquina		Corte		Desgarro	
				Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	
13	14	450	1.8	61	59	91	Pasa
				65	61	97	Pasa
				64	70	104	Pasa
				62	67	106	Pasa
				62	71	111	Pasa
18	14	450	1.8	61	63	112	Pasa
				67	77	111	Pasa
				77	63	107	Pasa
				71	70	116	Pasa
				66	65	112	Pasa
27	14	450	1.8	69	76	123	Pasa
				61	73	114	Pasa
				63	71	123	Pasa
				58	61	119	Pasa
				64	79	114	Pasa
39	14	450	1.3	61	63	86	Pasa
				61	64	80	Pasa
				61	61	88	Pasa
				61	69	86	Pasa
				62	67	93	Pasa

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Tabla 49

Promedio de testeos capa Primaria 14°C (Termofusión)

N° Prueba	13	18	27	39	Promedios
Promedio Prueba de Corte 1 (Kg /Pulg)	63	68	63	61	64
Promedio Prueba de Corte 2 (Kg/Pulg)	66	68	72	65	68
Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	102	112	119	87	105

Fuente: (Segepsaj, 2019)

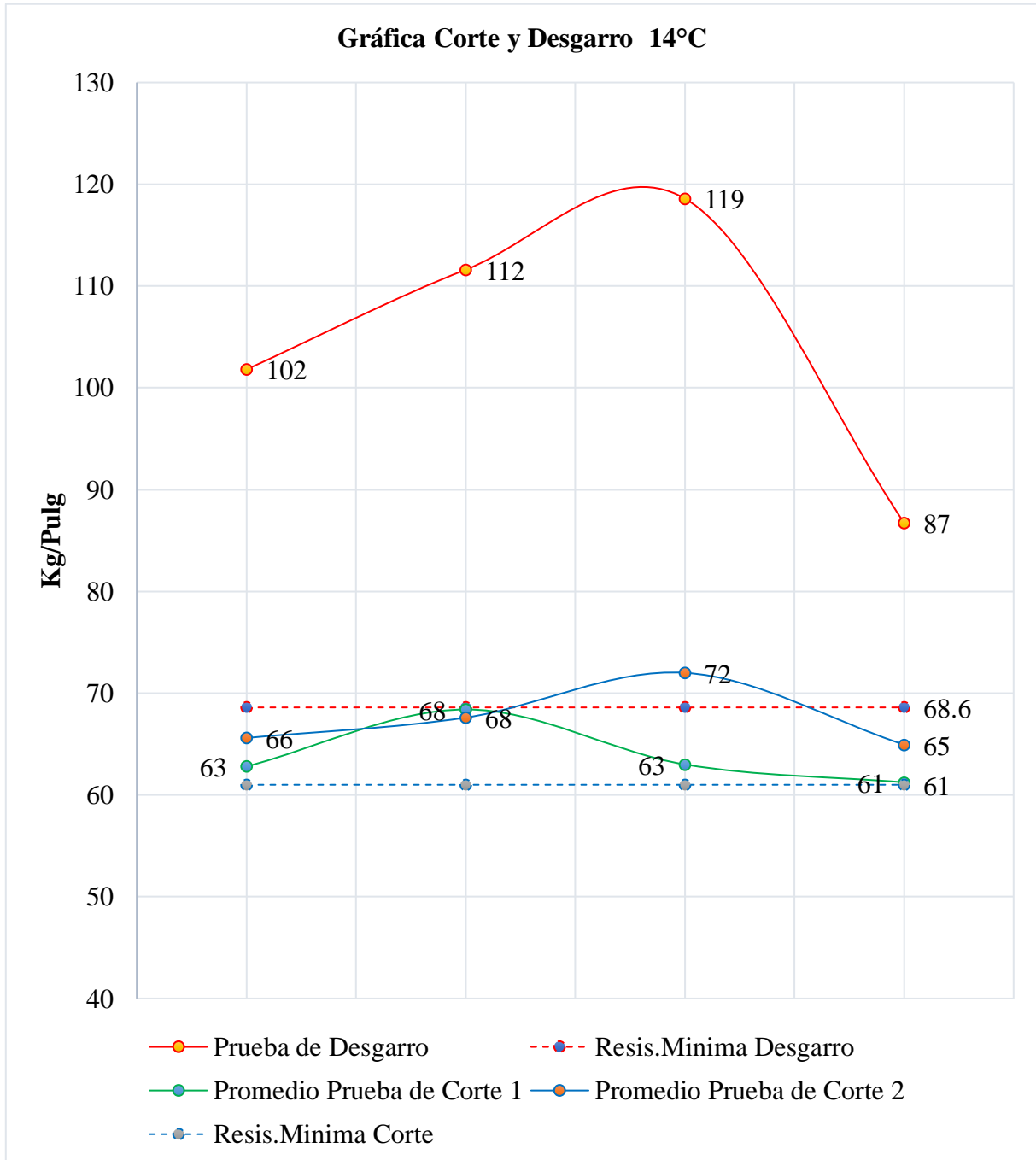


Gráfico 27

Resultados promedio de pruebas de corte y desgarro a 14°C (Termofusión)

Fuente: (Segepsaj, 2019)

- Consolidado soldaduras capa Secundaria
 - Soldadura por extrusión

Tabla 50 Consolidado soldadura por extrusión de soldadura Capa Secundaria

Temperatura °C	Promedio prueba de Corte (Kg/Pulg)	Promedio prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	Temperatura Pistola de Aire C°	Temperatura Extruido C°
9	67.49	97.77	265	280
11	52.35	82.80	259	269
12	56.25	85.25	263	273
13	51.95	79.20	263	268
14	52.45	88.20	260	270

Fuente: (Segepsaj, 2019)

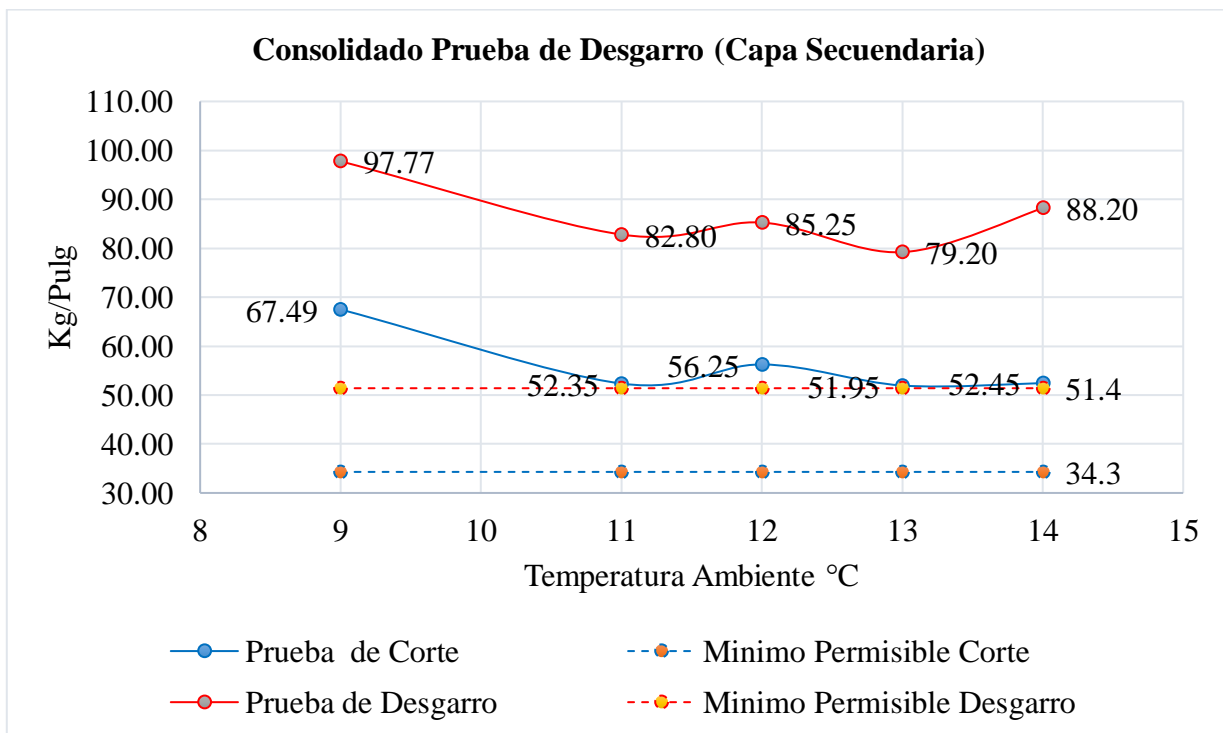


Gráfico 28

Consolidado soldadura por extrusión Capa Secundaria

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Edición: Propia

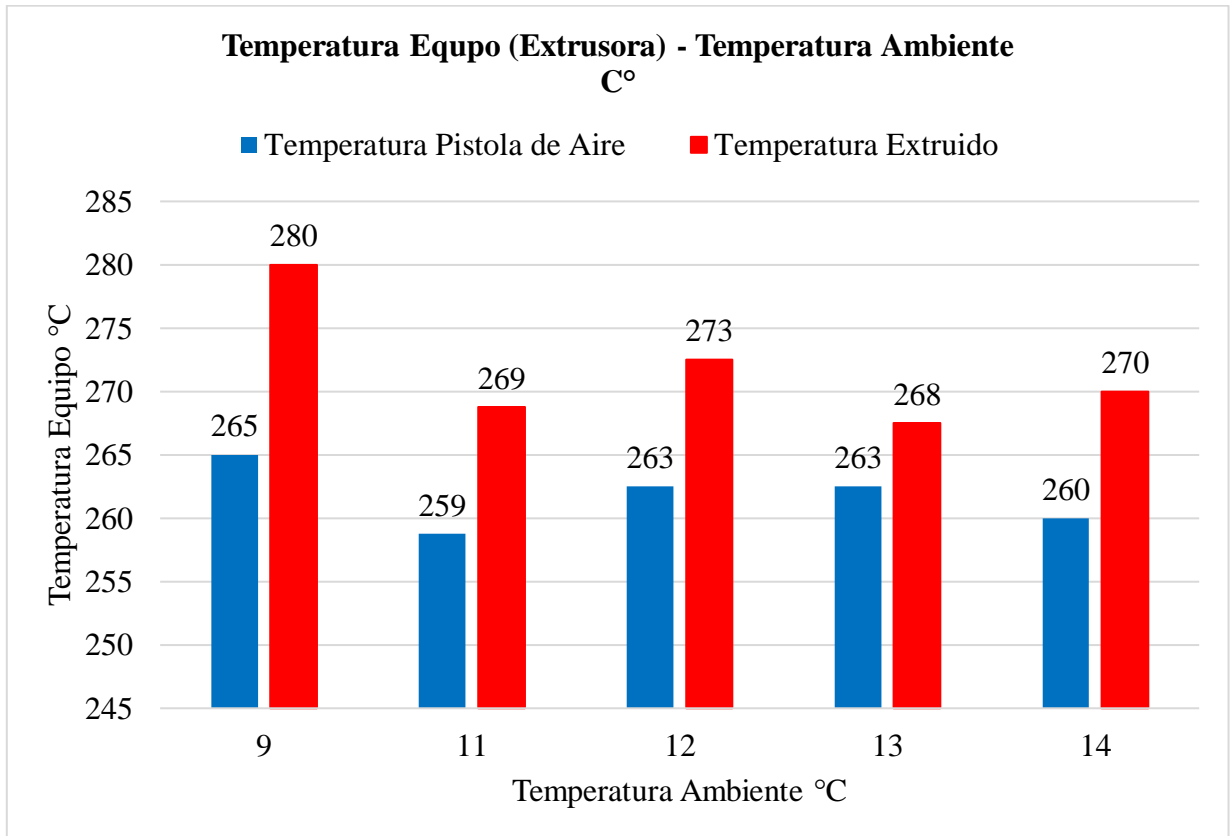


Gráfico 29

Consolidado soldadura por extrusión temperatura equipo- temperatura ambiente

Fuente: (Segepsaj, 2019)

Edición: Propia

- Soldadura por termofusión

Tabla 51

Consolidado soldadura por termofusión de soldadura Capa Secundaria

Temperatura °C	Prueba Corte 1 (Kg/Pulg)	Prueba Corte 2 (Kg/Pulg)	Promedio Prueba Corte (Kg/Pulg)	Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	Velocidad (m/min)
9	59	58	58.4	79.7	1.9
11	56	55	55.3	77.1	1.9
12	61	61	60.6	99.0	2.3
13	56	54	54.6	76.8	2.0
14	58	54	55.9	81.1	2.3

Fuente: (Segepsaj, 2019)

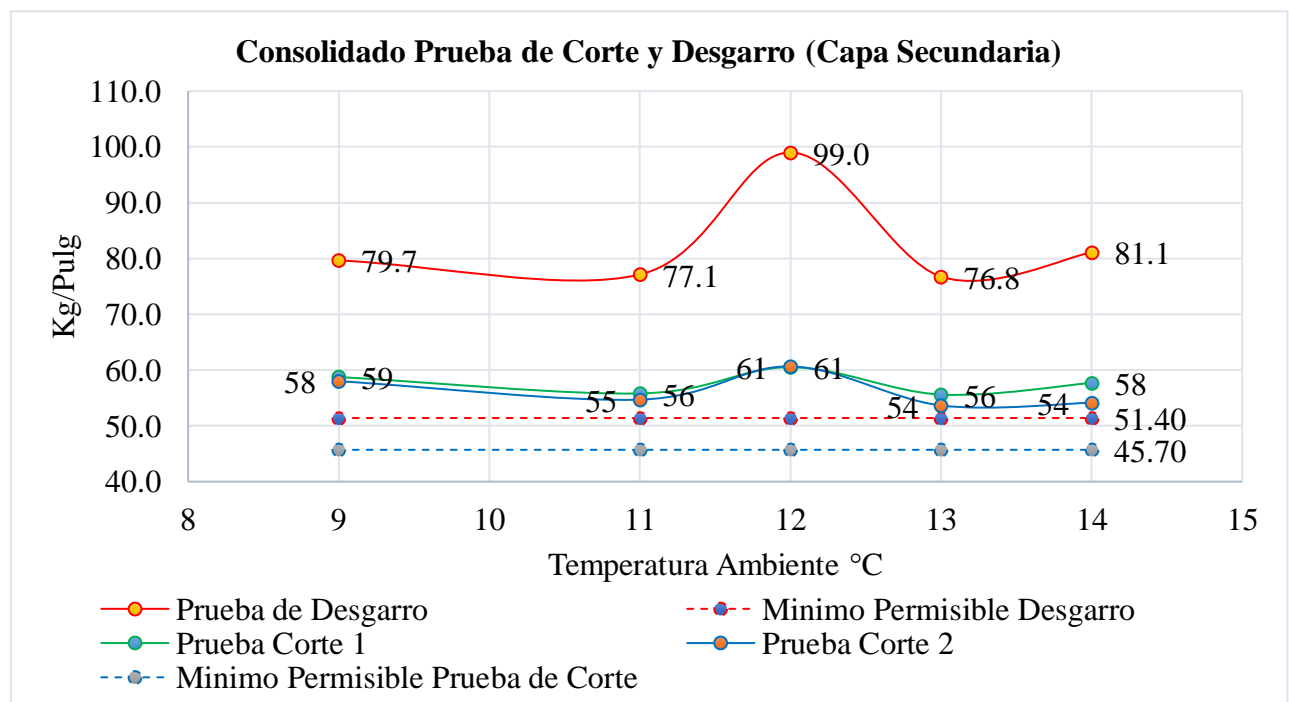


Gráfico 30

Consolidado soldadura por termofusión Capa Secundaria

Fuente: (Segepsaj, 2019). Edición: Propia

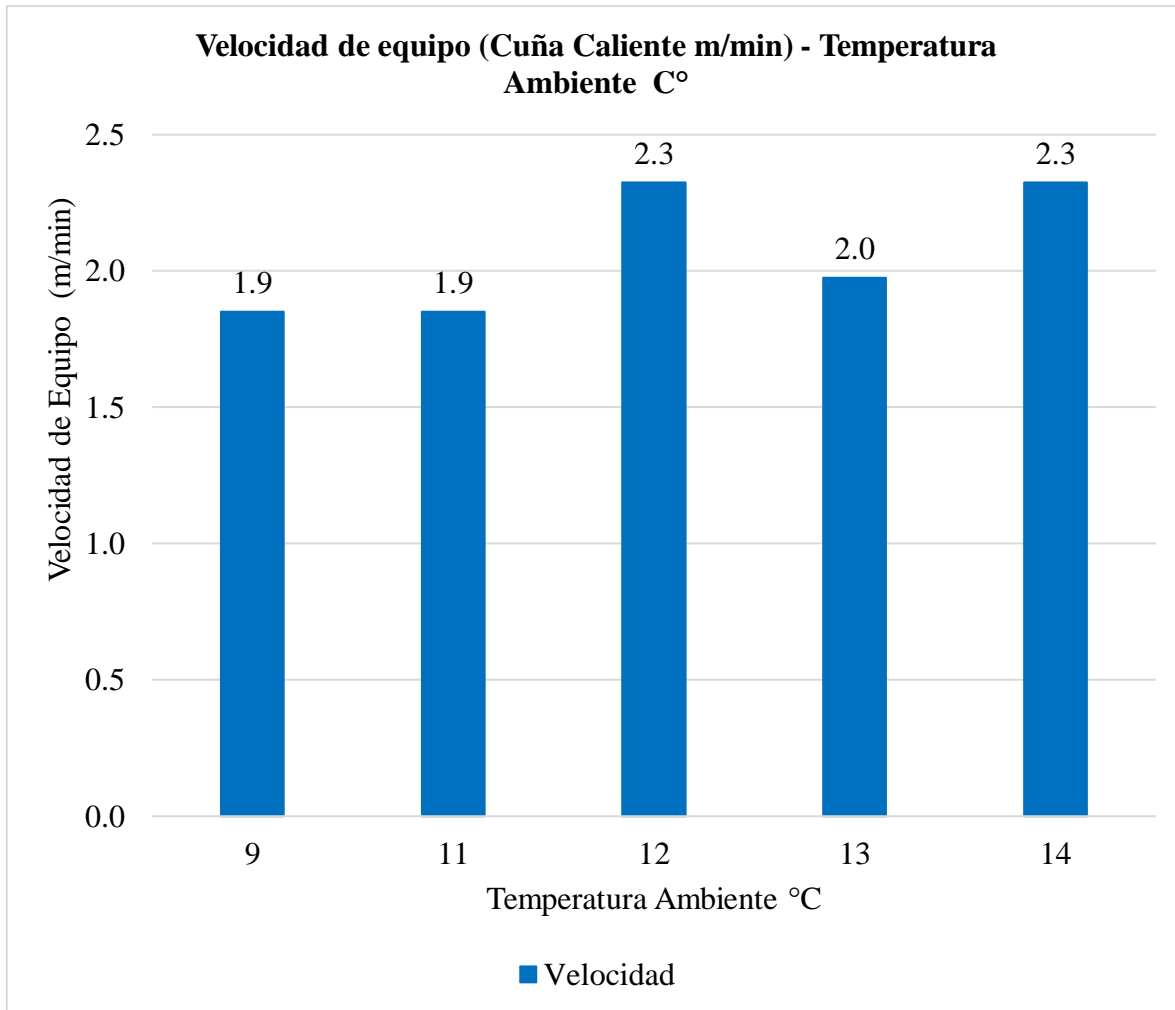


Gráfico 31

Consolidado soldadura por termofusión – Velocidad promedio equipo.

Fuente: (Segepsaj, 2019). Edición: Propia.

- Consolidado soldaduras capa Primaria
 - Soldadura por extrusión

Tabla 52

Consolidado soldadura por extrusión de soldadura Capa Primaria

Temperatura °C	Promedio prueba de Corte (Kg/Pulg)	Promedio prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	Promedio Temperatura Pistola de Aire °C	Promedio Temperatura Extruido °C
10	62.00	107.50	265	280
11	72.94	123.36	259	285
12	57.95	110.15	263	275
13	59.28	104.93	263	285
14	57.16	99.49	260	281

Fuente: (Segepsaj, 2019)

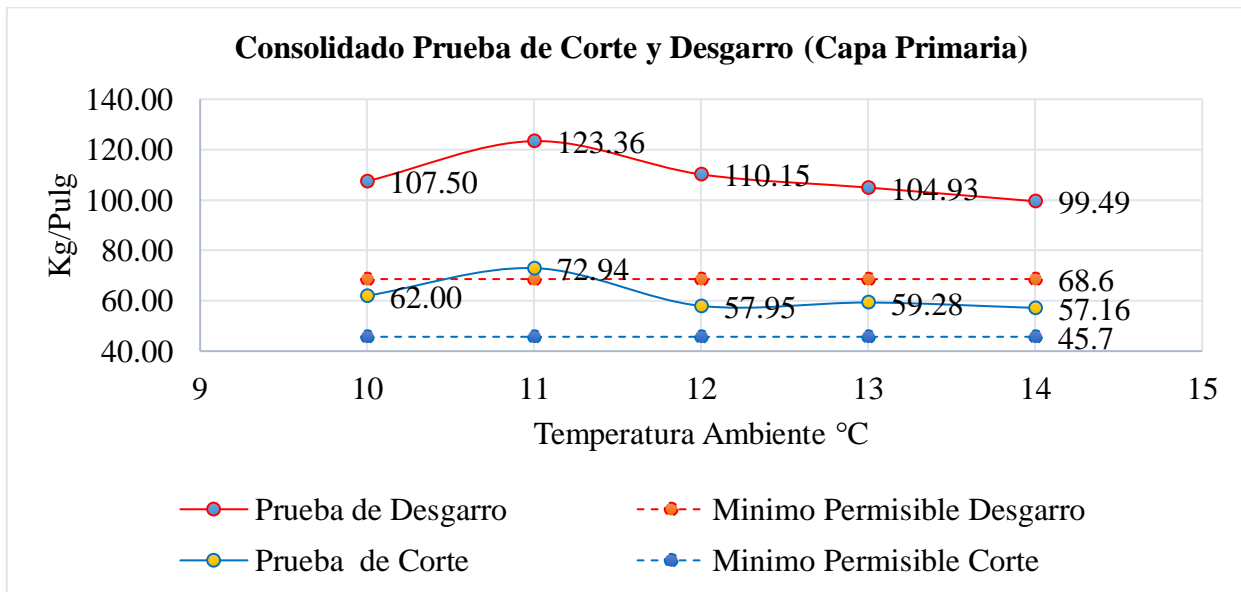


Gráfico 32

Consolidado soldadura por extrusión Capa Primaria

Fuente: (Segepsaj, 2019). Edición: Propia.

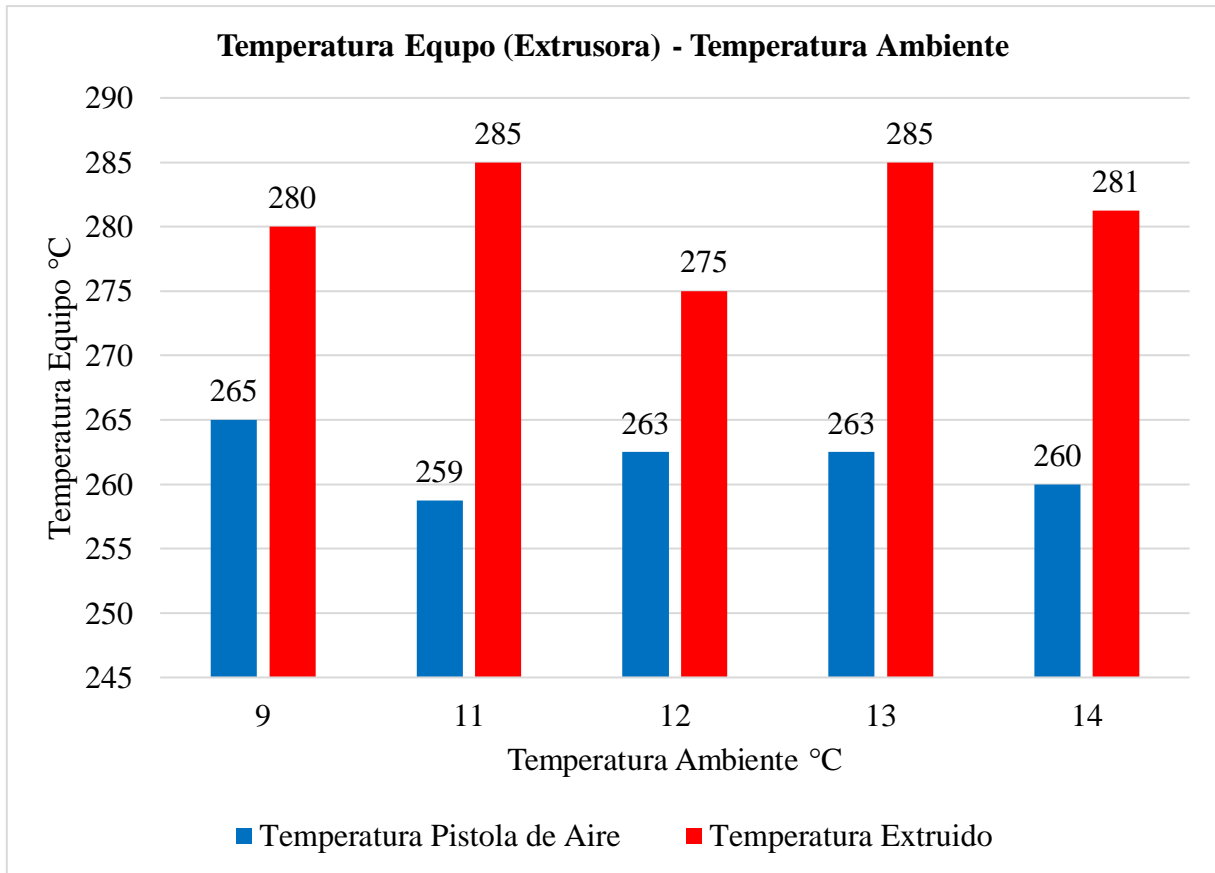


Gráfico 33

Consolidado soldadura por extrusión temperatura equipo- temperatura ambiente

Fuente: (Segepsaj, 2019). Edición: Propia

- Soldadura por termofusión

Tabla 53

Consolidado soldadura por termofusión de soldadura Capa Primaria

Temperatura °C	Prueba Corte 1 (Kg/Pulg)	Prueba Corte 2 (Kg/Pulg)	Promedio Prueba Corte (Kg/Pulg)	Promedio Prueba de Desgarro (Kg/Pulg)	Velocidad
10	89	90	89.7	124	1.5
11	69	71	70.0	121	1.5
12	67	66	66.8	110	1.6
13	68	69	68.9	108	1.7
14	64	68	65.7	105	1.7

Fuente: (Segepsaj, 2019)

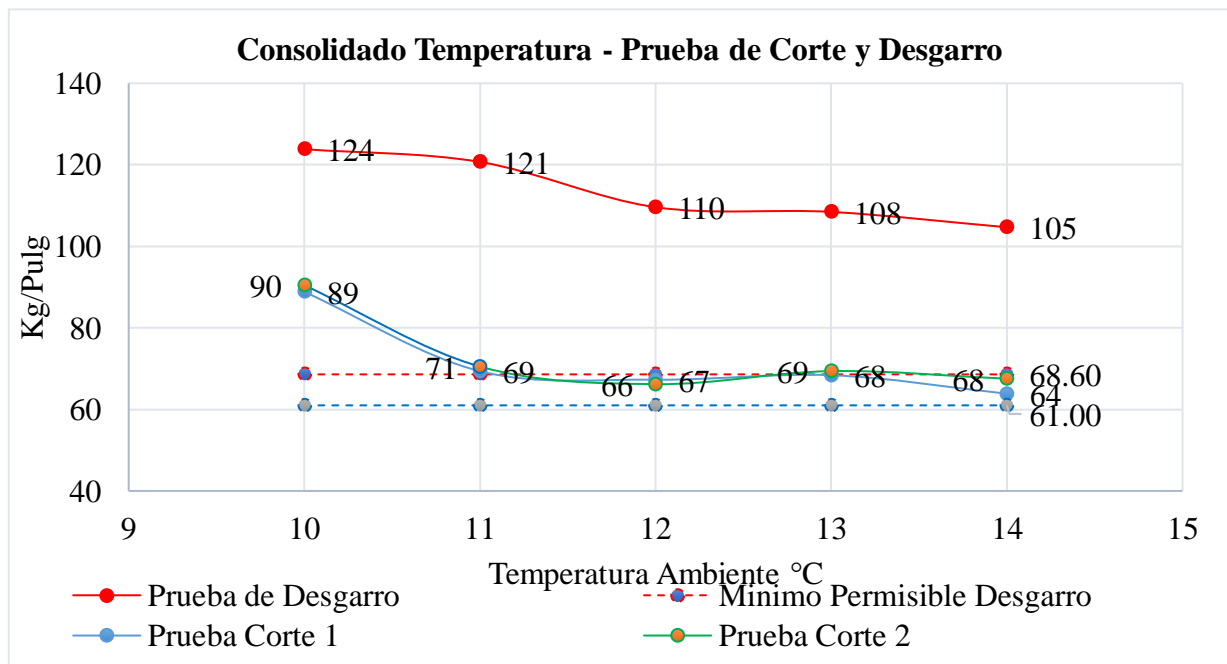


Gráfico 34

Consolidado soldadura por termofusión Capa Primaria

Fuente: (Segepsaj, 2019). Edición: Propia

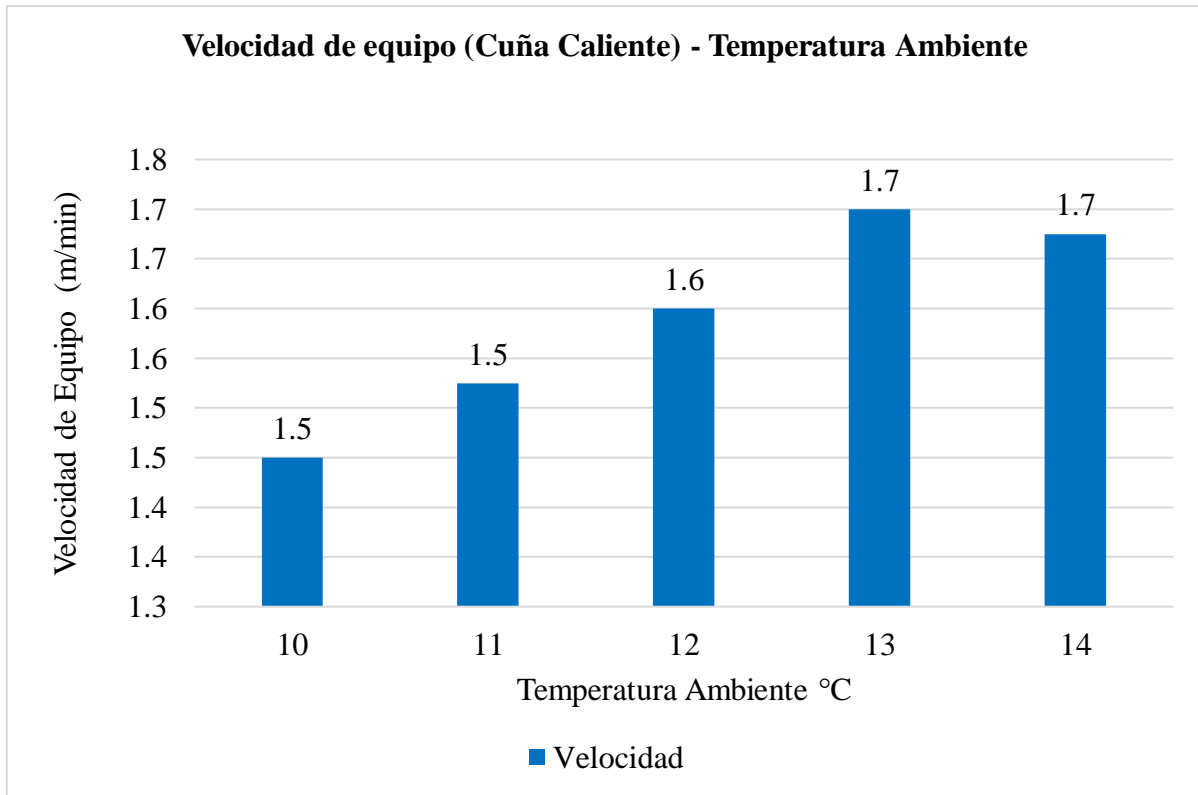


Gráfico 35

Consolidado soldadura por termofusión – Velocidad promedio equipo.

Fuente: (Segepsaj, 2019). Edición: Propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

- ✓ De los datos iniciales encontrados para la conformación con geosintéticos encontramos que el volumen de agua proyectado es de 80,000.00 m³ lo que da a entender que la superficie del terreno al realizar la conformación necesita un soporte intermedio entre capas de geomembrana para prevenir la generación de desgarros por estrés y un estudio permanente de soldaduras con calidad y equipos especializados.
- ✓ La poza es con fin de aguas en exceso con llenado por tubería con caída por gravedad.
- ✓ La conformación de geosintéticos en tubería se realizará de acuerdo al fin establecido de dicha tubería puesto que se presentan dos tipos con fines diferentes, una que alimenta de agua a la poza y otra que tiene la función de drenado entre capas (ZAN)
- ✓ Al mismo tiempo se plantea una poza de seguridad interna o poza de bombas por la presencia de lluvia en la ubicación ya que esta ayudaría a una posible succión de agua que pudiese filtrarse de manera natural entre el material natural del terreno y la capa de solainer acondicionada anteriormente, puesto que en caso contrario de no aplicarla se ejercería presión interna en la geomembrana y geotextil generando roturas, así como puntos suaves en la estructura conformada. Esta poza solo será revestida con capa secundaria y de acondicionamiento.
- ✓ Se realiza la conformación e instalación de recubrimiento con geosintéticos de la tubería instalada en área ZAN la cual tiene fin de extracción de agua entre capa primaria y secundaria para la cual el detalle es comprendido por toda capa de acondicionamiento, capa secundaria, capa de resistencia en la que vendrá la tubería y sobre esta la capa primaria, teniendo en cuenta que en parte inferior de la tubería se

aplica un revestimiento distinto ya que se envuelve material granular para realizar funciones de filtrado.

- ✓ En el área de acceso para realizar el mantenimiento la conformación se realiza con dos etapas de zanjado distintas unidas con un cordón de soldadura extruida continua y traslape entre capa y capa de material homogéneo ya sea proveniente de la berma de seguridad primaria que se encuentra en la parte superior de la poza, la área generada en la parte colindante a la segunda berma de seguridad conectada directamente con la poza en sí o área sangría generada por la instalación de tubería en proveniente de ZAN.
- ✓ Todas las capas instaladas en la zanja serán también trabajadas a detalle ya sea con soldadura por cuña o soldadura por extrusión.
- ✓ Las capas serán un total de cuatros, capa de acondicionamiento conformada por Geotextil 8oz/yd², capa secundaria conformada por Geomembrana HDPE lisa 1.5 mm, capa de resistencia conformada por Geonet Triclinal y capa primaria conformada por Geomembrana HDPE lisa 2.0 mm.
- ✓ Las capas de geomembrana al estar sobre puestas actúan como una sola y son más volubles a desgarros o roturas por tensión interna o externa (Masa de agua) por lo que la capa de Geonet es fundamental entre estas ya que ayuda a tener un nivel de confianza más alto ya que sus características físicas dotan de espacios entre ambas capas evitando rotura paralela entre ambas capas; por lo que la hipótesis dos es herrada.
- ✓ La funcionalidad de cada capa en conjunto dará estabilidad constante al centro de acopio de aguas en exceso.

- ✓ La cantidad de material en capa de acondicionamiento cuenta con un total de 18988.00 m² a diferencia de las capas posteriores que exceden los 2000 m² ya que dicha capa es de tendido masivo sin conformación de detalle.
- ✓ La capa primaria tendida cubre también la tubería acondicionada para succión entre capas con un panel compacto solido procurando que la tubería este ubicada en la parte central.
- ✓ El costo de construcción varía entre las capas de acuerdo al material conformado siguiendo un parámetro de dificultad y peso. Observamos que la adquisición del material es de 467,189.208 US\$ contra el costeo bruto de 57.264.449 US\$ de instalación del material. Se considera costeo bruto ya que no interviene el costo de observación y monitoreo de control de calidad.
- ✓ La hipótesis uno es equivocada ya que el costo de instalación de geomembrana HDPE lisa 1.5 mm es de 17,214.737 US\$ solo de paneles ya que si adicionamos el costo de detalle de 3,415.764 US\$ por soldadura extruida aplicada en la capa secundaria nos da un total de 20,627.501 US\$ en cambio en la instalación de geomembrana HDPE lisa 2.0 mm tiene un costo de 19,895.60 US\$ solo de paneles ya que sumándole los 3,653.028 US\$ de soldadura extruida aplicada en capa primaria, tenemos una diferencia de 2,921.13 US\$ a favor de la capa primaria.
- ✓ De las pruebas de corte realizadas en soldaduras por fusión capa secundaria se observa que los valores obtenidos entre uno y otro testeo en la misma probeta analizada tienden a ser paralelos.
- ✓ De la temperatura ambiente observa y analizada tanto en capa primaria como secundaria encontramos solo un grupo de datos distintos ya que en capa secundaria

no se tiene testeos a 10 °C de temperatura ambiente y en capa primaria no se encuentra testeos a 9°C temperatura ambiente.

- ✓ En capa secundaria a 9°C temperatura ambiente en soldadura extruida encontramos un cambio de temperatura entre zona de aire caliente y zona de extruido en dos de las cuatro pruebas, un incremento de 20 °C en el testeo número 59 y 95 arrojando valores de resistencia en prueba de corte promedio de 71 Kg/Pulg en comparación a los testeos 94 y 97 con un incremento de 10 °C que arrojan en la misma prueba un promedio de 64 Kg/Pulg. En prueba de desgarro la resistencia promedio de los testeos con diferencia de 20°C es de 93 Kg/Pulg y los testeos con diferencia de 10°C tiene una resistencia promedio de 103 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 10°C temperatura ambiente la soldadura extruida tiene una mayor cantidad de calor en pistola de aire caliente en testeos 1,6 y 10 que representa 10°C, arrojando valores de resistencia en corte promedio de 63 Kg/Pulg a comparación del promedio con diferencia de calor de 15°C (testeo 22) entre los componentes de soldado que arrojan un promedio de 60 Kg/Pulg en la misma prueba. En prueba de desgarro sin embargo se invierte el panorama ya que el testeo 22 promedio 111 Kg/Pulg y los testeos 1,6 y 10 contemplan una resistencia promedio de 106 Kg/Pulg.
- ✓ En capa secundaria a 11°C temperatura ambiente en soldadura extruida encontramos un cambio de temperatura entre zona de aire caliente y zona de extruido de 10°C en todos los testeos realizados alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 52.35 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 82.8 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 11°C temperatura ambiente en soldadura extruida encontramos un cambio de temperatura entre zona de aire caliente y zona de extruido de 5°C en testeos 5 y 24 con un valor promedio en prueba de corte de 68 Kg/Pulg y en prueba de

desgarro de 121 Kg/Pulg, un cambio de 10°C en testeo 29 con valores promedio en prueba de corte de 85 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 124 Kg/Pulg y un cambio de 20°C en testeo 18 con valor promedio en prueba de corte de 72 Kg/Pulg y en prueba de desgarro de 128 Kg/Pulg.

- ✓ En capa secundaria a 12°C temperatura ambiente en soldadura extruida encontramos un cambio de temperatura entre zona de aire caliente y zona de extruido de 10°C en todos los testeos realizados alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 56.25 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 85.25 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 12°C temperatura ambiente la soldadura extruida tiene una mayor cantidad de calor en pistola de aire caliente en testeos 3, 4 y 7 que representa 10°C, arrojando valores de resistencia en corte promedio de 63 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 110 Kg Pulg; a comparación del promedio con diferencia de calor de 5°C (testeo 2) entre los componentes de soldado que arrojan un promedio de 57 Kg/Pulg en prueba de corte y 110 Kg Pulg en prueba de desgarro.
- ✓ En capa secundaria a 13°C temperatura ambiente en soldadura extruida encontramos un cambio de temperatura entre zona de aire caliente y zona de extruido de 10°C en todos los testeos realizados alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 51.95 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 79.2 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 13°C temperatura ambiente la soldadura extruida tiene una mayor cantidad de calor en pistola de aire caliente en testeos 12, 19 y 28 que representa 5°C, arrojando valores de resistencia en corte promedio de 64 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 112 Kg Pulg; a comparación del promedio con diferencia de calor de 10°C (testeo 15) entre los componentes de soldado que arrojan un promedio de 46 Kg/Pulg en prueba de corte y 83 Kg Pulg en prueba de desgarro.

- ✓ En capa secundaria a 14°C temperatura ambiente en soldadura extruida encontramos un cambio de temperatura entre zona de aire caliente y zona de extruido de 10°C en todos los testeos realizados alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 52.45 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 88.2 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 14°C temperatura ambiente en soldadura extruida encontramos un cambio de temperatura entre zona de aire caliente y zona de extruido de 5°C en testeo 33 con un valor promedio en prueba de corte de 63 Kg/Pulg y en prueba de desgarro de 90 Kg/Pulg, un cambio de 10°C en testeo 11 con la salvedad que el aumento es en la zona de aire caliente, encontramos valores promedio en prueba de corte de 56 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 106 Kg/Pulg además un cambio de 20°C en testeos 16 y 21 con valor promedio en prueba de corte de 55 Kg/Pulg y en prueba de desgarro de 101 Kg/Pulg.
- ✓ En capa secundaria a 9°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 1.8 m/min en los testeos 3, 33 y Df-24 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 55.57 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 78.07 Kg/Pulg además una velocidad de 2.0 m/min en testeo Df-12 con un valor promedio de 66.8 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 84.4 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 10°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 1.5 m/min en los testeos 32, 33 y 35 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 84.05 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 122.63 Kg/Pulg además una velocidad de 2.0 m/min en testeo 45 con un valor promedio de 106.49 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 127.47 Kg/Pulg.

- ✓ En capa secundaria a 11°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 1.8 m/min en los testeos 1, 5 y 47 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 55.57 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 77.13 Kg/Pulg además una velocidad de 2.0 m/min en testeo 49 con un valor promedio de 54.01 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 77.10 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 11°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 1.8 m/min el testeo 25 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 70.8 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 122.60 Kg/Pulg además una velocidad de 1.5 m/min en testeo 49 con un valor promedio de 82.61 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 131.83 Kg/Pulg por ultimo una de velocidad de soldador de 1.4 m/min el los testeos 15 y 25 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 63.20 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 119.20 Kg/Pulg.
- ✓ En capa secundaria a 12°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 2.5 m/min en los testeos 24, 26 y 35 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 62.27 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 96.53 Kg/Pulg además una velocidad de 1.8 m/min en testeo 30 con un valor promedio de 55.50 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 106.40 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 12°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 1.8 m/min en los testeos 1 y 10 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 70.55 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 111 Kg/Pulg además una velocidad

de 1.4 m/min en testeos 3 y 16 con un valor promedio de 62.95 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 108.20 Kg/Pulg.

- ✓ En capa secundaria a 13°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 2.5 m/min en testeo 21 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 53.90 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 71.60 Kg/Pulg además una velocidad de 1.8 m/min en testeos 6, 22 y 25 con un valor promedio de 54.87 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 78.47 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 13°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 1.8 m/min en los testeos 2, 8 y 19 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 70.07 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 109.60 Kg/Pulg además una velocidad de 1.4 m/min en testeo 8 con un valor promedio de 65.40 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 105 Kg/Pulg.
- ✓ En capa secundaria a 14°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 2.5 m/min en los testeos 8, 9 y 23 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 56.60 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 81.80 Kg/Pulg además una velocidad de 1.8 m/min en teste 8 con un valor promedio de 53.80 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 79 Kg/Pulg.
- ✓ En capa primaria a 14°C temperatura ambiente en soldadura por termofusión de 450 °C en temperatura maquina encontramos una de velocidad de soldador de 1.8 m/min en los testeos 13, 18 y 27 alcanzando en pruebas de corte un valor promedio de 66.57 Kg/Pulg y en prueba de desgarro un promedio de 110.67 Kg/Pulg además una

velocidad de 1.3 m/min en testeo 39 con un valor promedio de 63.09 Kg/Pulg y en prueba de desgarró un promedio de 86.75 Kg/Pulg.

- ✓ La hipótesis número tres es equivocada ya que en todos los testeos realizados en esta tesis no se encontró ni un valor igual entre pistola de aire caliente y zona de extruido.
- ✓ La soldadura por termofusión al tener los componentes de soldadura dentro de una coraza de metal propia de las características del equipo no tiene una relación directa con la temperatura ambiente ya que a mayor temperatura no siempre hay mayor velocidad de soldado por cuña caliente.

Conclusiones

1. Concluimos que el diseño de la poza de aguas en exceso en una empresa minera a tajo abierto en Cajamarca- Perú tiene una conformación de cuatro capas de geomembrana acondicionada al entorno con detalles en zonas de mayor cambio de diseño estructural, como son las zonas de zanjas de anclaje, zona de revestimiento compacto a tubería de alimentación, ZAN de succión y poza de bombas las cuales son conformadas por soldadura extruida haciendo colocación de línea de cobre para garantizar la ejecución de pruebas de control de calidad las cuales tiene el fin de eliminar cualquier tipo de fallas en la estructura recubierta (Capa Secundaria y Primaria). **ANEXOS 6-7-8-9**
2. Capas aplicadas
 - ✓ Capa de acondicionamiento con Geotextil 8oz/yd²
 - Capa inicial con la que se busca brindar un paso armonioso desde la superficie hacia la conformación con geomembrana, sirve principalmente para tener una capa no rugosa para recibir a la capa secundaria de geomembrana.
 - ✓ Capa secundaria con Geomembrana HDPE 1.5 mm Lisa
 - Primera capa impermeable con Geomembrana en la cual se inician trabajos de control de calidad tanto en pruebas destructivas como pruebas post soldaduras.
 - ✓ Capa de resistencia: Geonet Triclinal
 - Cumple la función de separación entre capa y capa de geomembrana con el fin de distribuir fuerza recibida de masa de agua a resistir la posa evitando presión excesiva entre ambas capas de geomembrana.

- ✓ Capa Primaria Geomembrana HDPE 2.0 mm Lisa
 - Capa más expuesta a la masa de agua a recibir, se recubre con geomembrana más gruesa y cumple la función de resistencia primaria.
- 3. En el revestimiento propiamente dicho concluimos que en la capa de acondicionamiento se utilizó 18988m² las cuales representan una cantidad de 142 paneles por lo que se requirió un total de 48 rollos de Geotextil de 8oz/yd² sobrando 212 m² de material, en la capa secundaria se utilizó 20493.74m² las cuales representan una cantidad de 90 paneles por lo que se requirió un total de 14 rollos de Geomembrana HDPE Lisa 1.5 mm sobrando 86.27 m² de material y 806.80 ml de soldadura extruida, en la capa de resistencia se utilizó 20610 m² las cuales representan una cantidad de 122 paneles por lo que se requirió un total de 29 rollos de Geonet Triclinar sobrando 270 m² de material, en la capa primaria se utilizó 21393.12 m² las cuales representan una cantidad de 91 paneles por lo que se requirió un total de 15 rollos de Geomembrana HDPE Lisa 2.0 mm sobrando 656.88 m² de material y 863.60 ml de soldadura extruida, finalmente entre capa primaria y secundaria sobro 75.610 ml de cordón soldadura extruida HDPE 5 mm.
- 4. En conclusión, se obtiene que de acuerdo a cada capa de material utilizado el costo cambia ya que el valor unitario tanto de instalación como de obtención de material es diferente, encontrando una cantidad de inversión mayor en la instalación de Geomembrana HDPE Lisa 2.0 mm puesto que el costo de adquisición e instalación es superior. Finalmente teniendo un total bruto de 524,453.66 US\$ para la conformación con geomembrana con todas las capas mencionadas anteriormente de los cuales solo el 10.92% representa la cantidad invertida para la instalación.

5. Pruebas de corte y desgarro capa secundaria
- ✓ Las pruebas de corte en soldadura por extrusión en capa secundaria en geomembrana HDPE lisa 1.5 mm con maquina MAK-58D (0070407) a temperatura ambiente de 9°C encontramos una resistencia promedio de 67.49 Kg/Pulg con picos de 80 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 52Kg/Pulg con picos de 59Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos una resistencia promedio de 56Kg/Pulg con picos de 66Kg/Pulg , a temperatura ambiente de 13°C encontramos una resistencia promedio de 52Kg/Pulg con picos de 60Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 52Kg/Pulg con picos de 59Kg/Pulg.
 - ✓ En pruebas de desgarro en soldadura por extrusión en capa secundaria de geomembrana HDPE lisa 1.5 mm con maquina MAK-58D (0070407) a temperatura ambiente de 9°C encontramos una resistencia promedio de 98 Kg/Pulg con picos de 112 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 83Kg/Pulg con picos de 89Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos una resistencia promedio de 85Kg/Pulg con picos de 93Kg/Pulg , a temperatura ambiente de 13°C encontramos una resistencia promedio de 88Kg/Pulg con picos de 94Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 88Kg/Pulg con picos de 118Kg/Pulg.
 - ✓ Las pruebas de corte en soldadura por termofusión en capa secundaria en geomembrana HDPE lisa 1.5 mm con maquina CW-002-12T a temperatura ambiente de 9°C encontramos una resistencia promedio de 58.4 Kg/Pulg con picos de 72 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 55.3Kg/Pulg con picos de 62Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos

una resistencia promedio de 60.6Kg/Pulg con picos de 81Kg/Pulg , a temperatura ambiente de 13°C encontramos una resistencia promedio de 54.6Kg/Pulg con picos de 63Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 55.9Kg/Pulg con picos de 59Kg/Pulg.

- ✓ En pruebas de desgarro en soldadura por termofusión en capa secundaria de geomembrana HDPE lisa 1.5 mm con maquina CW-002-12T a temperatura ambiente de 9°C encontramos una resistencia promedio de 79.7 Kg/Pulg con picos de 91 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 77.1Kg/Pulg con picos de 90Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos una resistencia promedio de 99Kg/Pulg con picos de 117Kg/Pulg , a temperatura ambiente de 13°C encontramos una resistencia promedio de 76.8Kg/Pulg con picos de 88Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 81.1Kg/Pulg con picos de 86Kg/Pulg.

6. Pruebas de corte y desgarro capa primaria.

- ✓ Las pruebas de corte en soldadura por extrusión en capa primaria en geomembrana HDPE lisa 2.0 mm con maquina MAK-58D (0070407) a temperatura ambiente de 10°C encontramos una resistencia promedio de 62 Kg/Pulg con picos de 71 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 72.94 Kg/Pulg con picos de 90 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos una resistencia promedio de 57.95 Kg/Pulg con picos de 67 Kg/Pulg , a temperatura ambiente de 13°C encontramos una resistencia promedio de 59.28 Kg/Pulg con picos de 88 Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 57.16 Kg/Pulg con picos de 76 Kg/Pulg.

- ✓ En pruebas de desgarro en soldadura por extrusión en capa primaria de geomembrana HDPE lisa 2.0 mm con maquina MAK-58D (0070407) a temperatura ambiente de 10°C encontramos una resistencia promedio de 107.50 Kg/Pulg con picos de 123 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 123.36 Kg/Pulg con picos de 139 Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos una resistencia promedio de 110.15 Kg/Pulg con picos de 120 Kg/Pulg , a temperatura ambiente de 13°C encontramos una resistencia promedio de 104.93 Kg/Pulg con picos de 138 Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 99.49 Kg/Pulg con picos de 125Kg/Pulg.
- ✓ Las pruebas de corte en soldadura por termofusión en capa primaria en geomembrana HDPE lisa 2.0 mm con maquina CW-002-12T a temperatura ambiente de 10°C encontramos una resistencia promedio de 89.7 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 70 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos una resistencia promedio de 66.8 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg , a temperatura ambiente de 13°C encontramos una resistencia promedio de 68.9 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 65.7 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg.
- ✓ En pruebas de desgarro en soldadura por termofusión en capa primaria de geomembrana HDPE lisa 2.0 mm con maquina CW-002-12T a temperatura ambiente de 10°C encontramos una resistencia promedio de 124 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 11°C encontramos una resistencia promedio de 121 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg, a temperatura ambiente de 12°C encontramos una resistencia promedio de 110 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg , a temperatura ambiente

de 13°C encontramos una resistencia promedio de 108 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg y a temperatura ambiente de 14°C encontramos una resistencia promedio de 105 Kg/Pulg con picos de Kg/Pulg.

7. Parámetro óptimo soldaduras en Geomembrana HDPE Lisa 1.5 mm.

- Para soldadura por extrusión a 9°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 270/280 °C generando 88% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 99.6% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarró, a 11°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 275/285 °C generando 58.02% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 61.48% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarró, a 12°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 275/285°C generando 75% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 66 % de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarró, a 13°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 260/270 °C generando 54% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 50% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarró y a 14°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 260/270 °C generando un 53% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 72% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarró.
- Para soldadura por termofusión en Geomembrana HDPE lisa 1.5 mm a 9°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.8 m/min generando 22 % de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 52 % de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarró, a 11°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.8 m/min generando 22 % de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 50 % de resistencia sobre el

parámetro mínimo de desgarro, a 12°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 2.5 m/min generando 36% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 88% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro, a 13°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.8 m/min generando 20% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 53 % de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro y a 14°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 2.5 m/min generando 24% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 59% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro.

8. Parámetro óptimo soldaduras en Geomembrana HDPE Lisa 2.0 mm.

- Para soldadura por extrusión a 10°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 280/295 °C generando 31% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 61% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro, a 11°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 285/295 °C generando 85% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 81% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro, a 12°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 270/275°C generando 24% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 61 % de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro, a 13°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 285/290 °C generando 68% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 49% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro y a 14°C temperatura ambiente el parámetro óptimo es de 285/290 °C generando un 37% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 31% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro.

- Para soldadura por termofusión en Geomembrana HDPE lisa 2.0 mm a 10°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.5 m/min generando 38% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 79% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro, a 11°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.4 m/min generando 35% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 92% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro, a 12°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.8 m/min generando 16% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 62% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro, a 13°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.8 m/min generando 15% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 60% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro y a 14°C de temperatura ambiente el parámetro óptimo de soldadura es de 1.8 m/min generando 9% de resistencia sobre el parámetro mínimo en prueba de corte y 26% de resistencia sobre el parámetro mínimo de desgarro.

REFERENCIAS

- Norambuena Contrera, J., Zamora Barraza, D., Castro Fresno, D., & Vega Zamanillo, Á. (2019). Análisi térmico de geosintéticos utilizados en la rehabilitación de pavimentos. *Revista chilena de ingeniería*, 95-100.
- Alibaba. (2 de Marzo de 2020). *Alibaba*. Obtenido de Alibaba : <https://spanish.alibaba.com/g/hdpe-black-rolls-geomembrane.html>
- Aquiapruf S.A. (2015). *Manual de instalación Geomembranas de polietileno HDPE*. Medellín Colombia: Construction Quality Assurance.
- ASTM D 6392 – 99. (2008). Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods. United States:: Copyright © ASTM International.
- Augusto, M. R. (2018). Plan de aseguramiento y control de calidad para geosintéticos aplicado al sector minero. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa – Perú.
- Bacas, A. B. (2009). Comportamiento resistente al deslizamiento. *Tesis Doctoral*. Universidad De Cantabria, Santander- España.
- Bathurst, R. J. (2007). Funciones de los Geosintéticos. *International Geosynthetic Society – IGS*. Universidad de Brasilia, Brasil.
- Bathurst, R. J. (2016). Funciones de los Geosintéticos. *IGS*, <https://www.geosyntheticssociety.org/wp-content/plugins/resources/documents/Functions/English.pdf>.
- Breitenbach, A., & Smith, M. (2007). La Historia de las Geomembranas en la Industria Minera. *Minería & Medio Ambiente*, 8-11.
- Chavez, I. (2018). *Bases teóricas para métodos de control de calidad aplicados a los geosintéticos en la plataforma Carachugo 10B para el tratamiento de solución cianurada, La Encañada-Cajamarca 2018*. Universidad Privada De Trujillo: Trujillo-Perú.
- Chavez, R. J. (Noviembre de 2015). Control de Calidad en Instalación de Geosintéticos Geomembrana HDPE. Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Cidelsa . (15 de Enero de 2020). *Cidelsa una nueva visión del mundo* . Obtenido de Cidelsa: https://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Pag_GCL.pdf
- Cidelsa. (15 de Enero de 2020). <https://www.cidelsa.com/>. Obtenido de Cidelsa: https://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Brochure_geoceldas_Set_-_2015.pdf
- Fausto, V. H. (2014). El efecto de la alta temperatura y baja velocidad de avance de las uniones soldadas por termofusión (cuña caliente) en láminas de geomembrana HDPE de 2.0 mm. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa- Perú.
- Geosistemas Pavco de Mexichem. (2013). Funciones y Aplicaciones Geodrén PLANAR Y VIAL. *Geosoft Pavco*, 12.
- Herraplas. (24 de Enero de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.mx: <http://herraplas.mx/producto/equipo-de-termofusion-con-cuna-caliente-wedge-it/>

- Herraplas. (24 de Enero de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.mx: <http://herraplas.mx/producto/extrusora-manual-mak-58-d-2/>
- Herraplas. (24 de Enero de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.com: <http://herraplas.mx/producto/equipos-para-pruebas-destructivas-tensiometro-accura-lite/>
- Herraplas. (27 de 01 de 2020). *Herraplas*. Obtenido de Herraplas.mx: <http://herraplas.mx/producto/equipos-para-pruebas-destructivas-cuponera/>
- Instituto Nacional de Educación Tecnológica. (2011). *Polímeros*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación.
- Llanos Chuquiruna, E. J., & Llanos Chuquiruna, N. A. (2019). Resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE. *Tesis de Titulación*. Universidad Privada Del Norte, Cajamarca- Perú.
- Mamani, J. C. (2017). Control de Calidad en la Impermeabilización de pad de lixiviación mina Lagunas Norte – La Libertad, 2016. *Tesis de Titulación*. Universidad Cesas Vallejo, Lima- Perú.
- Marieco SRL. (2006). *Manual de control de calidad & seguridad cualitativa para instalación de geomembranas*. Santa Cruz Bolivia: International Association of Geosynthetic Installers.
- Merey. (2017). Plan de control de calidad para la instalación de geosintéticos. *PM-101 Calidad Geosintéticos.02*, 1-46.
- Pacheco, P. C. (2013). Diseño aplicación de geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de aguas residuales. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo- Perú.
- Pinto, W. C. (2014). Control de calisas en contrucción de pad de lixiviación. *Tesis de Titulación*. Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa- Perú.
- Rumbo Minero. (2016). Geosintéticos: Soluciones que impermeabilizan y protegen. *RUMBO MINERO*, <https://www.rumbominero.com/revista/informes/geosinteticos-soluciones-que-impermeabilizan-y-protegen/>.
- Salazar, B. M. (2018). Comportamiento de las geomembranas sintéticas poliméricas utilizadas en la impermeabilización del embalse de Buen Paso. *Tesis Doctoral*. Universidad Complutense De Madrid, Madrid- España.
- Salazar, J. L. (2014). Aseguramiento de calidad en la construcción usando polietileno de alta densidad (HDPE). *Titulo de Titulación*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca-Perú.
- Segepsaj, P. S. (2019). *Dossier control de calidad de geosintéticos- Capas primaria y Secundaria Revisión 0 -Tomo 1 - Proyecto "Poza Morales"*. Cajamarca: Segepsaj S.R.L.
- Sotraf. (2013). Exhibición Internacional de la Industria Minera. *Impermeabilización de Obras en Minería*.
- Tecnifluidos SAC. (2013). *Precedimeinto de Instalacion de Geosintéticos. 03*.

ANEXOS

ANEXOS n. °1. FOTOGRAFIAS

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”



Imagen 33 Soldadura por termofusión en paneles



Imagen 34 Equipo de cuña caliente en ejecución



Imagen 35 Instalación de cobre previo a soldadura por extrusión



Imagen 36 Soldadura por extrusión (Instalación de parche)



Imagen 37 Probetas testeadas



Imagen 38 Tensiómetro por ser aprobado Munsch

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

12.07.19 - UNIONES 1-5

Poza drenaje

U-8	U-9	U-10	U-11	U-12	U-13	U-14
29.02	30.02	40-01	37-01	36-01	36-01	35-01
L-1.00	4.20	3.00	1.30	2.00	2.40	3.00
11.06	11.07	11.30	11.43	11.46	12.0	11.59
12T	12T	12T	12T	12T	12T	12T
450-1.4	450-1.4	450-1.4	450-1.4	450-1.4	450-1.4	450-1.4
12.3.19	12.3.19	12.3.19	12.3.19	12.3.19	12.3.19	12.3.19
E.T.	E.T.	E.T.	E.T.	E.T.	E.T.	E.T.

U-15	U-16
30.03	30.40
10.40	10.40
12.30	12.50
12T	12T
450-1.4	450-1.4
E.T.	12.3.19

Geomembrana 12.03.19 1-5 HOPE

Poza drenaje

P03	P01
12.00	130.670
L-11x2.	115.785
12.01	120.760
12.19	120.715
	115.745
	115.745

07.3.19
 11.14.12
 HOPE-1.5
 S/T
 CAPA PROTECTORA

Imagen 39 Toma de datos en campo



Imagen 40 Conformación de sangría en tubería de ZAN

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”



Imagen 41 Tendido capa secundaria

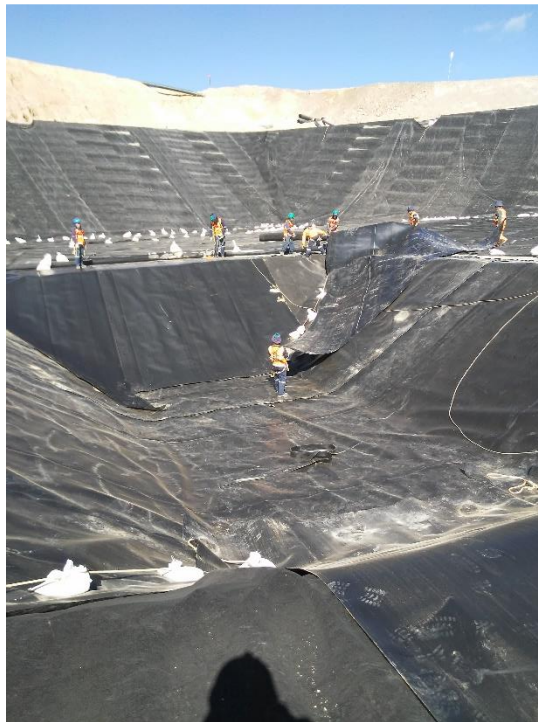


Imagen 42 Tendido capa secundaria poza de bombas



Imagen 43 Despliegue de capa secundaria desde zona acceso de mantenimiento.

ANEXOS n. °2.

**PERMISO DE USO DE DATOS POR EMPRESA PURUAY SAN JOSÉ S.R.L
(SEGEPSAJ)**



SERVICIOS GENERALES PURUAY SAN JOSE SRL
Jr. Las Ciencias 248. Tel 506417-Cajamarca.
Ruc:20453754554

Cajamarca, 15 de Diciembre del 2019

Señor:

JORGE RAFAEL QUISPE ORTIZ

DNI: 72516585

Presente:

Estimado señor.

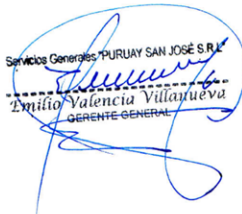
*Por medio del presente lo saludo cordialmente, al mismo tiempo autorizo la utilización y análisis de los datos consignados en **DOSSIER CONTROL DE CALIDAD DE GEOSINTÉTICOS- CAPAS PRIMARIA Y SECUENDARIA REVISIÓN 0 – TOMO 1- PROYECTO “POZA MORALES”**, con la finalidad de ser utilizados con propósitos de estudio.*

Por este fin se brinda una copia completa de la base de datos obtenida en dicho documento.

Al mismo tiempo doy fe que los datos aquí encontrados son analizados por equipos y supervisión especializada.

Sin otro particular, me despido de usted.

Atentamente.


Servicios Generales PURUAY SAN JOSE S.R.L.
Equipo Valencia Villanueva
GERENTE GENERAL

ANEXOS n. °3.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE TENSÍOMETRO PWT 2501440



"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

Aseguramiento Metrológico

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
LF-0116-2016

O.T. : 0812-G1908

Fecha de emisión : 2016 - 09 - 16

Página 1 de 2

SOLICITANTE : GEOS INGENIEROS SRL

Dirección : AV. SAN MARTIN DE PORRES NRO 854 BAR. ARANJUEZ, CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TENSIOMETRO

Marca : PWT
Modelo : 2501440
N° Serie : E0822
N° de parte : NO INDICA
Intervalo de indicación : 0 kp a 500 lb
Resolución : 1 lb
Procedencia : U.S.A.
Identificación : NO INDICA
Ubicación : NO INDICA
Fecha de Calibración : 2016 - 09 - 16

TEST & CONTROL S.A.C es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025

TEST & CONTROL S.A.C brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de TEST CONTROL S.A.C.

METODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa con patrones de masa calibrados.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	20,4°C	20,4°C
HUMEDAD RELATIVA	66%	66%

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.


Lic. Nicolás Ramos Páucar
Gerente Técnico
C.F.P. N° 0316





Aseguramiento Metrológico

“Año de la Consolidación del Mar de Grau”

Certificado LF-0116-2016
Página 2 de 2

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Pesas 20 kg (Clase de exactitud M1) DM INACAL	Pesas 20 kg (Clase de exactitud M1)	LM-059-2016
Pesas 10 kg (Clase de exactitud M1) DM INACAL	Pesas 10 kg (Clase de exactitud M1)	LM-054-2016

RESULTADOS DE MEDICIÓN

INDICACIÓN DEL EQUIPO A CALIBRAR lb	CORRECCIÓN lb	LECTURA PATRON CONVENCIONALMENTE VERDADERA lb	INCERTIDUMBRE lb
10	1	11	0,36
30	1	31	0,36
79	-1	78	0,36
85	0	85	0,35
120	0	120	0,35
140	0	140	0,35
250	0	250	0,35
352	-2	350	0,52
372	-2	370	0,52
437	-2	435	0,52

Lectura Convencionalmente Verdadera = Indicación del Equipo a calibrar + Corrección

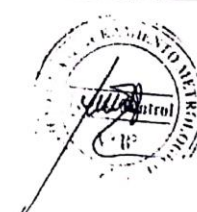
OBSERVACIONES.

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde. Verificar la indicación de cero del instrumento antes de cada medición. Se deja a criterio del usuario el adecuado uso del equipo de acuerdo a los resultados adjuntos.

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO



ANEXOS n. °4.

NORMAS DE GEOSINTÉTICOS D 6392 - 08



Designation: D 6392 – 99 (Reapproved 2006)

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 (JPP)*.

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:*²

D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics

D 882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting

D 4439 Terminology for Geosynthetics

D 5199 Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics

D 5994 Test Method for Measuring Core Thickness of Textured Geomembrane

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 seams³

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *geomembrane, n*—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 Jan. 1, 2006. Published June 2006. Originally approved in 1999. Last previous edition approved in 1999 as D 6392-99.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from the Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, DC 20402.

 D 6392 – 99 (2006)

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

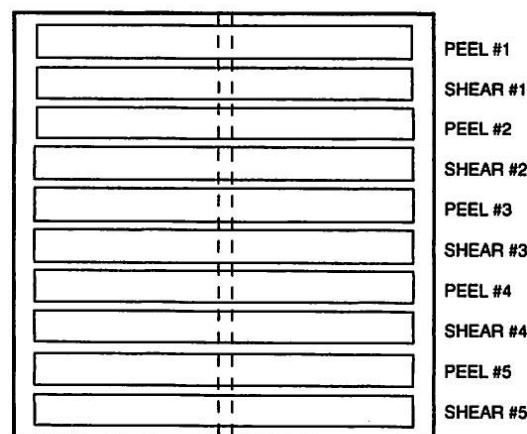


FIG. 1 Seam Sample

ASTM D 6392 – 99 (2006)

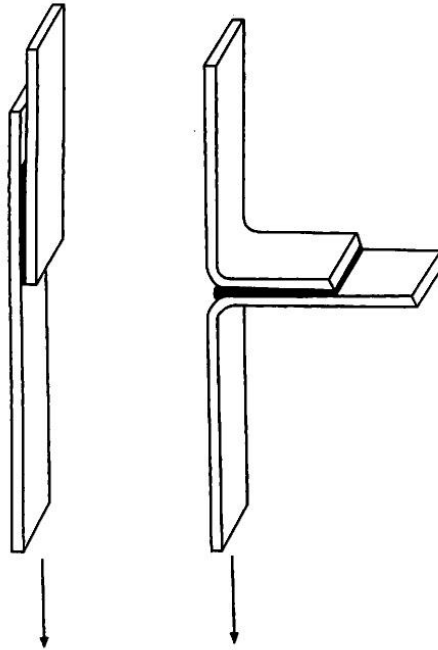


FIG. 2 Shear and T-Peel Specimens

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

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

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

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

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

here:

- = extension at test end, and
- = original gauge length.

NOTE 4—The intent of measuring elongation using this test method is
identify relatively large reductions in typical break elongation values of
m samples. Length is defined as the distance from one grip to the seam
e. 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.

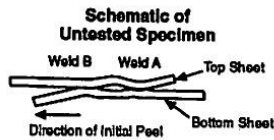
9.1.2 Report the cross head speed used during peel and
shear testing.

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.

D 6392 – 99 (2006)



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.

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

 **D 6392 – 99 (2006)**

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).

ANEXOS n. °5.
NORMAS DE GEOSINTÉTICOS GM – 19

Geosynthetic Institute

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



Original: February 28, 2002
Revision 9: July 28, 2017
Revision schedule is on pg. 13

GRI -GM19a Standard Specification*

Standard Specification for

**“Seam Strength and Related Properties
of Thermally Bonded Homogeneous Polyolefin Geomembranes/Barriers”SM**

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 homogeneous, i.e., nonreinforced, polyolefin geomembranes. Included herein are high density polyethylene (HDPE), linear low density polyethylene (LLDPE) and flexible polypropylene (fPP).

Note 1: See GRI Standard GM19b for reinforced geomembrane seams of all types including scrim reinforced LLDPE-R and fPP-R.

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

Note 2: This specification does not address the test method details or specific testing procedures. It refers to the relevant ASTM test methods where applicable.

*This GRI standard specification is developed by the Geosynthetic Research Institute through consultation and review by the member organizations. This specification will be reviewed at least every 5-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 and it is kept current on the Institute’s Website <<geosynthetic-institute.org>>.

Copyright © 2017 Geosynthetic Institute - All Rights Reserved

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

Note 3: 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 does not suggest a specific distance between destructive seam samples to be taken in the field, i.e., the sampling interval. Two separate GRI Standard Practices are focused on this issue, see GRI-GM14 and GRI-GM20.
- 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

- D6392 Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods
- D7747 Standard Test Method for Determining Integrity of Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods for Reinforced Geomembranes by the Strip Tensile Method

2.2 EPA Standards

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

2.3 GRI Standards

- GM13 Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes
- GM14 Guide for Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using the Method of Attributes
- GM17 Test Properties and Testing Frequency for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Smooth and Textured Geomembranes
- GM18 Test Properties and Testing Frequency for Flexible Polypropylene (fPP and fPP-R) Geomembranes
- GM20 Guide for Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using Control Charts

GM25 Test Property and Testing Frequency for Scrim Reinforced Linear Low Density Polyethylene 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.

Note 4: This specification addresses homogeneous, or nonreinforced, geomembranes. GRI-GM19b addresses scrim, or fabric, reinforced geomembranes.

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 depreciated 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 homogeneous, or nonreinforced, 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. Separate GRI standards, GM14 and GM20, provide guidance as to the spacing that destructive samples should be taken in typical field installation projects.

5. Sample and Specimen Preparation

- 5.1 The spacings for taking field seam samples for destructive testing can be a fixed, or variable, interval or can be statistically related as provided in GRI-GM14 and GRI-GM20. These statistical processes describe a progression from the most restrictive interval of 1 per 500 feet (1 per 150 m) to the complete use and reliance of the electrical leak location survey (ELLS) method. Intermediate between these extremes are variations depending upon the installers experience and performance.

Note 5: The job-specific spacing is decided upon the design engineer or CQA organization.

- 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 iPP. 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 all five 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). In addition, all five specimens should meet the shear percent elongation, calculated as follows, and exceed the values given in Tables 1(a) and 1(b):

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

where

E = elongation (%)

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

L₀ = original average length (usually 1.0 in. or 25 mm)

Note 6: 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 all five 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).

In addition, the peel separation (or incursion) should not exceed the values given in Tables 1(a) and 1(b) for all five out of five specimens. 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 7: 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.

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

Exception: AD-WLD (unless strength is achieved)

Note 8: Separation-in-plane (SIP) is a locus-of-break where the failure surface propagates within one of the seamed sheets during destructive testing (usually in the peel mode). It is not merely a surface skin effect producing a few ductile fibrils (sometimes called ductile drawdown). SIP is acceptable if the required strength, shear elongation and peel separation criteria are met.

In this regard, five out of five specimens shall result in acceptable break patterns.

6.2 LLDPE seams – For LLDPE seams (both smooth and textured), the strength all five out of five 1.0 in. (25 mm) wide strip specimens in shear should meet or exceed the values given in Tables 2(a) through 2(d). Note that the unreinforced specimens are 1.0 in. (25 mm) wide strips. In addition, the shear percent elongation, calculated as follows, should exceed the values given in Tables 2(a) through 2(d). All five specimens should meet the shear elongation requirement.

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

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 6 (Repeated): 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 (smooth, textured and scrim reinforced), the strength of all five 1.0 in. (25 mm) wide strip specimens tested in peel should meet or exceed the values given in Tables 2(a) through 2(d).

In addition, the peel separation (or incursion) should not exceed the values given in Tables 2(a) through 2(d). All five out of five specimens shall meet the peel separation value. 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 6 (Repeated): 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.

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

Exception: AD-WLD (unless strength is achieved)

Note 8 (Repeated): Separation-in-plane (SIP) is a locus-of-break where the failure surface propagates within one of the seamed sheets during destructive testing (usually in the peel mode). It is not merely a surface skin effect producing a few ductile fibrils (sometimes called ductile drawdown). SIP is acceptable if the required strength, shear elongation and peel separation criteria are met.

In this regard, all five specimens shall result in acceptable break patterns.

- 6.3 fPP Seams – For fPP seams, the strength all five out of five specimens in shear should meet or exceed the values given in Tables 3(a) and 3(b). Note that the specimens are 1.0 in. (25 mm) wide strips. In addition, the shear percent elongation on the specimens, calculated as follows, should exceed the values given in Tables 3(a) and 3(b). All five out of five specimens should meet the shear elongation requirement.

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

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 (Repeated): 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 fPP seams, the strength of all five out of five specimens in peel should meet or exceed the values given in Tables 3(a) and 3(b). Note that the unreinforced specimens are 1.0 in. (25 mm) wide strips. In addition, the peel percent separation (or incursion) should not exceed the values given in Tables 3(a) and 3(b). All five out of five specimens should meet the peel separation value. 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 7 (Repeated): 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.

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

Exception: AD-WLD (unless strength is achieved)

Note 8 (Repeated): Separation-in-plane (SIP) is a locus-of-break where the failure surface propagates within one of the seamed sheets during destructive testing (usually in the peel mode). It is not merely a surface skin effect producing a few ductile fibrils (sometimes called ductile drawdown). SIP is acceptable if the required strength, shear elongation and peel separation criteria are met.

In this regard, five out of five specimens shall result in acceptable break patterns.

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, lb/in.	57	80	100	120	160	240
	shear elongation at break ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50
	peel strength, lb/in.	45	60	76	91	121	151
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams	shear strength, lb/in.	57	80	100	120	160	200
	shear elongation at break ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50
	peel strength, lb/in.	39	52	65	78	104	130
	peel separation, %	25	25	25	25	25	25

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

1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods
2. 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, N/25 mm.	250	350	438	525	701	876
	shear elongation at break ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50
	peel strength, N/25 mm	197	263	333	398	530	661
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
Extrusion Fillet Seams	shear strength, N/25 mm	250	350	438	525	701	876
	shear elongation at break ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50
	peel strength, N/25 mm	170	225	285	340	455	570
	peel separation, %	25	25	25	25	25	25

“Diseño y conformación del revestimiento con geosintéticos de una poza para almacenamiento de aguas en exceso en una empresa a tajo abierto en Cajamarca”

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, lb/in.	30	45	60	75	90	120	180
	shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
	peel strength, lb/in.	25	38	50	63	75	100	150
Extrusion Fillet Seams	peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
	shear strength, lb/in.	30	45	60	75	90	120	180
	shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength, lb/in.	22	34	44	57	66	88	114	136
	peel separation, %	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. 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, N/25 mm	131	197	263	328	394	525	788
	shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
	peel strength, N/25 mm	109	166	219	276	328	438	657
Extrusion Fillet Seams	peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
	shear strength, N/25 mm	131	197	263	328	394	525	788
	shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength, N/25 mm	95	150	190	250	290	385	500	595
	peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

Table 3(a) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Homogeneous Flexible Polypropylene (FPP) Geomembranes (English Units)

Geomembrane Nominal Thickness	30 mil	40 mil
Hot Wedge Seams ⁽¹⁾		
shear strength, lb/in.	25	30
shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50
peel strength, lb/in.	20	25
peel separation, %	25	25
Extrusion Fillet Seams		
shear strength, lb/in.	25	30
shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50
peel strength, lb/in.	20	25
peel separation, %	25	25

1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods

2. Elongation measurements should be omitted for field testing

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

Geomembrane Nominal Thickness	0.75 mm	1.0 mm
Hot Wedge Seams ⁽¹⁾		
shear strength, N/25 mm	110	130
shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50
peel strength, N/25 mm	85	110
peel separation, %	25	25
Extrusion Fillet Seams		
shear strength, N/25 mm	110	130
shear elongation ⁽²⁾ , %	50	50
peel strength, N/25 mm	85	110
peel separation, %	25	25

1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods

2. Elongation measurements should be omitted for field testing

**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	no change
			95% yield	95% yield	no change
HDPE	Peel	Hot Wedge Extrusion	62% yield	72% yield	16% increase
			62% yield	62% yield	no change
LLDPE	Shear	Hot Wedge Extrusion	1300 psi break	1500 psi break	15% increase
			1300 psi break	1500 psi break	15% increase
LLDPE	Peel	Hot Wedge Extrusion	1100 psi break	1250 psi break	14% increase
			1100 psi break	1100 psi break	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.

Revision 3: June 4, 2010; Removed Note 6 on peel incursion since ASTM D6392 (2008) now uses area of incursion whereas previously they used linear length of incursion. Thus ASTM is now in agreement with GM19 in this regard.

Revision 4: November 15, 2010; Added Note 6 (in three locations) stating what separation-in-plane (SIP) is, and is not, and that it is acceptable if the required strength, shear elongation and peel separation criteria are met.

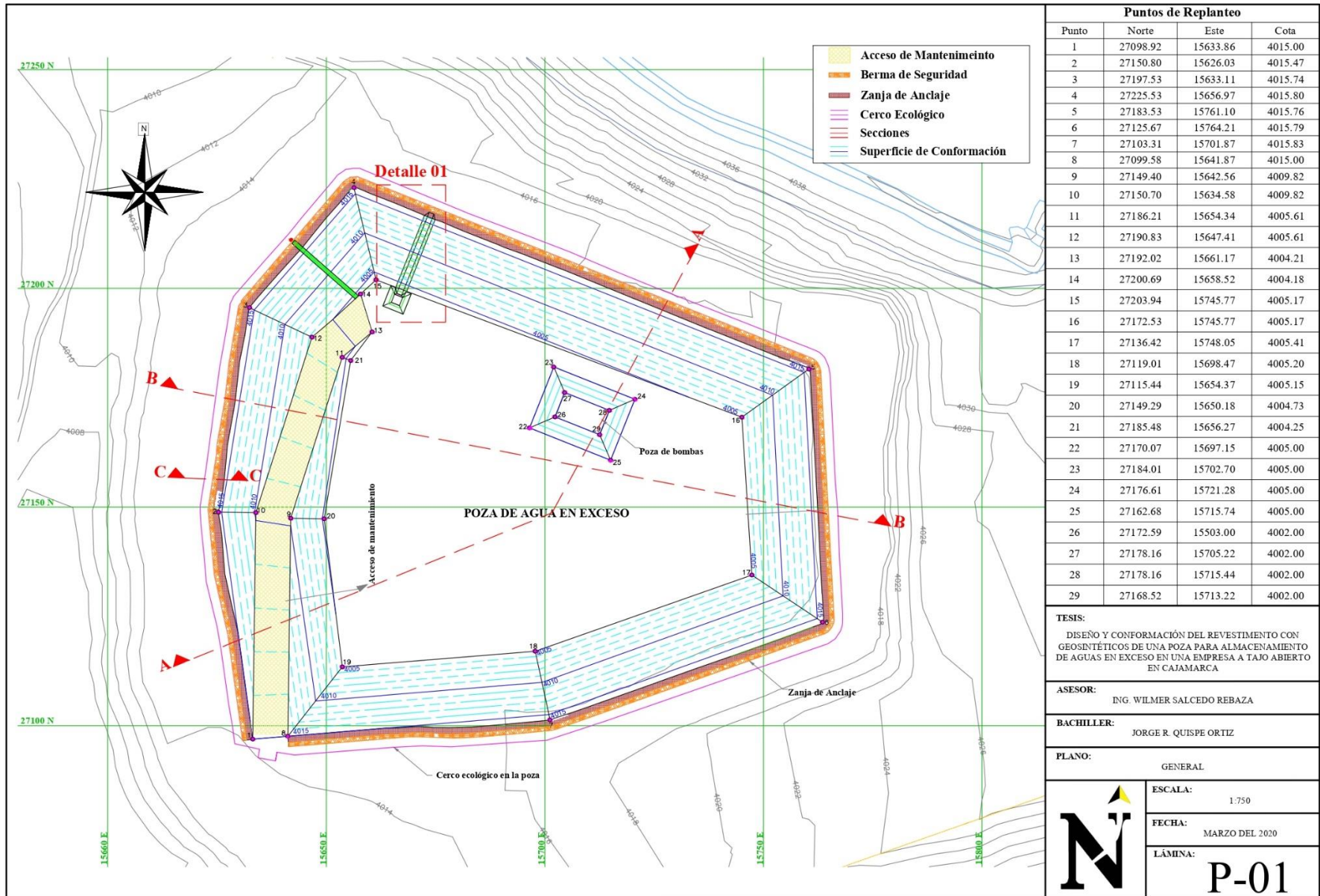
Revision 5: July 12, 2011; AD1 and AD2 breaks are now unacceptable even if strength is achieved.

Revision 6: October 3, 2011; Added LLDPE-R to the various geomembrane types, in particular, Tables 2(c) and 2(d) and made editorial changes.

Revision 7: November 3, 2013; clarified issues of 4 out of 5 passing strength and 5 out of 5 passing locus-of-break, shear elongation and peel separation.

Revision 8: February 12, 2015; upgraded standards and terminology

ANEXOS n. °6.
PLANO GENERAL
LAMINA: P-01

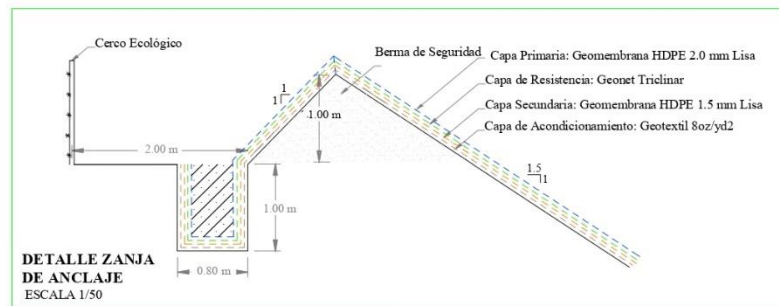
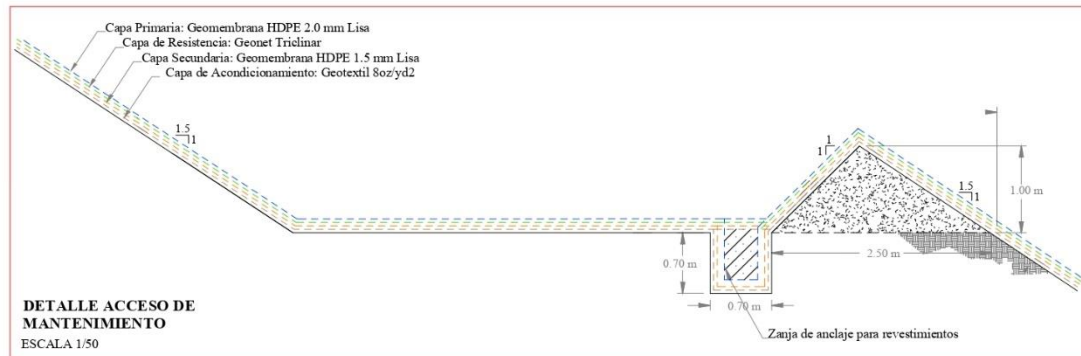
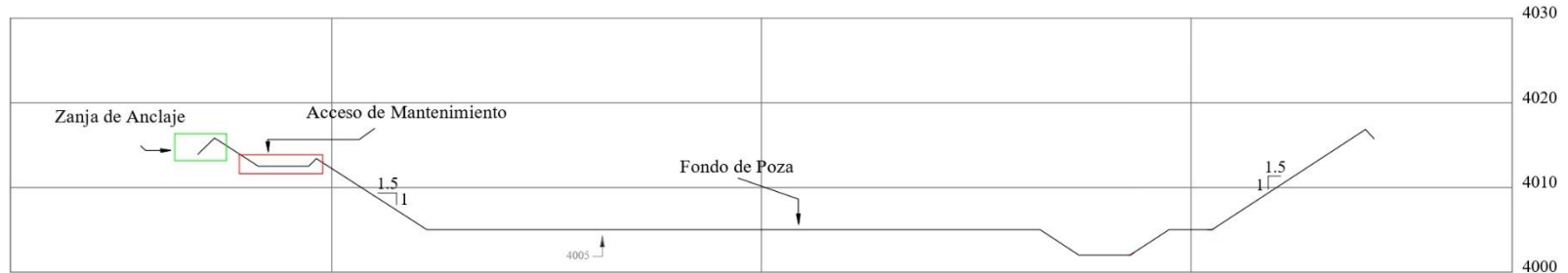


ANEXOS n. °7.

**SECCION A-A Y DETALLE CONFORMACIÓN PISO
Y TALUDES**

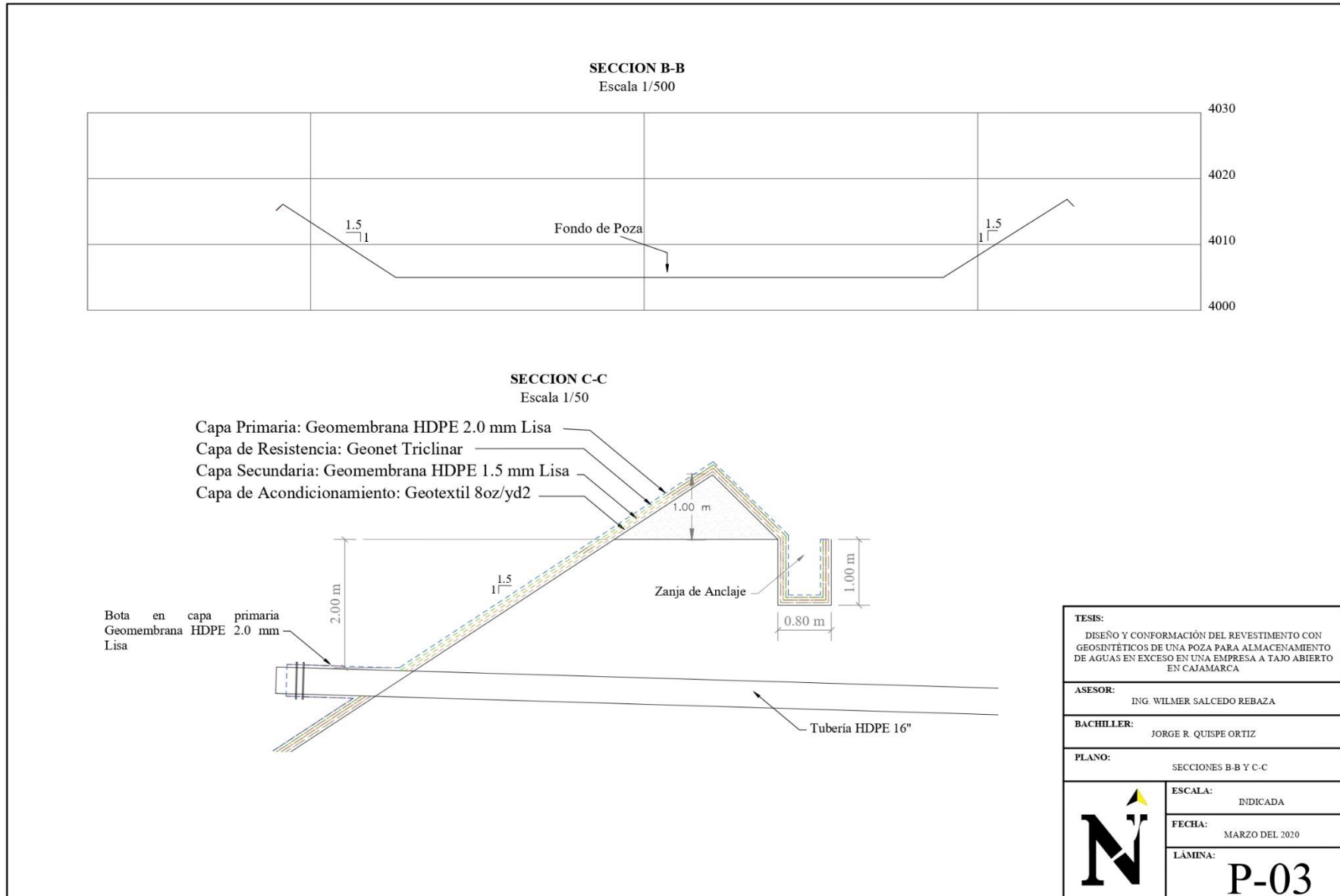
LAMINA: P-02

SECCION A-A
Escala 1/500



TESIS: DISEÑO Y CONFORMACIÓN DEL REVESTIMIENTO CON GEOSINTÉTICOS DE UNA POZA PARA ALMACENAMIENTO DE AGUAS EN EXCESO EN UNA EMPRESA A TAJO ABIERTO EN CAJAMARCA	
ASESOR: ING. WILMER SALCEDO REBAZA	
BACHILLER: JORGE R. QUISPE ORTIZ	
PLANO: SECCION A-A Y DETALLE CONFORMACIÓN PISO Y TALUDES	
	ESCALA: INDICADA
	FECHA: MARZO DEL 2020
	LÁMINA: P-02

ANEXOS n. °8.
SECCIONES B-B y C- C
LAMINA: P-03



ANEXOS n. °9.
DETALLE 01 TUEBRÍA DE SUB DRENADO (ZAN)
LAMINA: P-04

