



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**CONTROL DE CALIDAD EN LA SOLDADURA POR FUSIÓN Y
EXTRUSIÓN DE LA GEOMEMBRANA HDPE DEL RESERVORIO
DE AGUA EN EL SECTOR DE LLANCCACCAHUA, MELGAR-
PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JUAN MANUEL TACCA MARAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

CONTROL DE CALIDAD EN LA SOLDADURA POR FUSIÓN Y EXTRUSIÓN DE LA MEMBRANA HDPE DEL RESERVORIO DE AGUA EN EL SECTOR DE LLANCCACHA, MELGAR- PUNO

AUTOR

JUAN MANUEL TACCA MARAZA

RECuento DE PALABRAS

18032 Words

RECuento DE CARACTERES

96201 Characters

RECuento DE PÁGINAS

96 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.5MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 19, 2023 11:07 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 19, 2023 11:09 AM GMT-5

● 19% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)




MSc. Percy Arturo Ginez Choque
DIRECTOR DE ESCUELA
INGENIERIA AGRICOLA - UNAP

Resumen



DEDICATORIA

*A Nuestro creador por haberme
regalado la vida y permitirme ejecutar
este momento trascendental de mi
formación académica profesional.*

*A mis adorados padres Manuel y Regina, por su
amor, comprensión, apoyo incondicional y
paciencia constante en los estupendos y feos
oportunidades por darme fuerza como el
personaje que soy en estos instantes; mis
objetivos se quedan en deuda gracias a ellos.*

*A mi gran amor y amiga Milagros por su
apoyo incondicional. Finalmente, a mis
compañeros y amigos en especial a mis
amigos Bill, William, Carlos y Clinio por su
apoyo y amistad.*

Juan Tacca.



AGRADECIMIENTOS

A Nuestro creador, por enseñarme mi via, endurecer mi corazón y por haberme mostrado en mi camino que me han alimentado ayuda y compañía en todo la gestión de estudio académico.

A mi Honorable Alma Mater, la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional y de esta manera permitirme desarrollarme académica y personalmente para ser un profesional ético al servicio de la sociedad, en especial a la Facultad de Ingeniería Agrícola, a los docentes por compartir sus enseñanzas, estrategias, experiencias y orientación en mi formación académica.

A los excelentísimos miembros del jurado calificador: Dr. Edilberto Huaquisto Ramos, M.Sc. Hector Calderon Montalico y M.Sc. Hector Alfredo Huaman Gutierrez. por sus consejos y sugerencias en el proceso de investigación.

Con mucha gratitud y respeto a mi Asesor: M. Sc. Ing. Percy Arturo Ginez Choque por la dedicación, orientación en el desarrollo para la finalización de la presente investigación.

A los profesionales del Programa Regional de Riego y Drenaje (PRORRIDRE) por brindarme su tiempo y facilidades para la realización del presente trabajo de investigación.

Juan Tacca.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1.1. Pregunta general	17
1.1.2. Preguntas específicas.....	17
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	18
1.3.1. Hipótesis general	18
1.3.2. Hipótesis específicas.....	18
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos específicos	19
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20



2.1.1. A nivel Internacional	20
2.1.2. A nivel Nacional	22
2.2. MARCO TEÓRICO.....	26
2.2.1. Calidad.....	26
2.2.2. Control de calidad.....	26
2.2.3. Geosintéticos	26
2.2.4. Geomembrana.....	27
2.3. GEOMEMBRANA (HDPE).....	27
2.4. TIPOS DE GEOMEMBRANA DE (HDPE).....	28
2.5. PROPIEDADES DE LA GEOMEMBRANA (HDPE) LISA.....	29
2.6. APLICACIONES DE LA GEOMEMBRANA DE (HDPE).....	30
2.6.1. Instalación de geomembrana HDPE.....	32
2.6.2. Tipos de soldadura para geomembranas de HDPE.	33
2.7. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD	35
2.7.1. Ensayos no destructivos	35
2.7.2. Ensayos Destructivos.....	38
2.7.3. Reparaciones en geomembrana	42
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO	45
3.1.1. Ubicación política.....	45
3.1.2. Ubicación geográfica.....	45
3.1.3. Accesibilidad	48
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	48
3.2.1. Materiales:	48



3.2.2. Equipos	49
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	50
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA	50
3.5.1. Población	50
3.5.2. Muestra	50
3.6. PROCESO METODOLÓGICO	51
3.6.1. Fase de campo	51
3.6.1.1. Inspección.....	51
3.6.1.2. Ejecución	53
3.6.2. Pruebas de calidad de la soldadura	54

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIDAD DE SOLDADURA POR FUSIÓN DE LA GEOMEMBRANA HDPE E=1.5 MM MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS POR DESGARRO (PEEL) Y CORTE (SHEAR) EN EL SECTOR DE LLANCCACCAHUA MELGAR-PUNO.....	62
4.2. CALIDAD DE SOLDADURA POR EXTRUSION DE LA GEOMEMBRANA HDPE E=1.5 MM MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS SOMETIDOS AL DESGARRO Y CORTE EN EL RESERVORIO DE AGUA EN EL SECTOR DE LLANCCACCAHUA MELGAR-PUNO.....	67
4.3. CONTROL DE LA SOLDADURA POR EXTRUSIÓN MEDIANTE LA CAJA DE VACIO (VACUM TEST) Y CHISPA ELÉCTRICA (SPARK TEST).	72
4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS	74



V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES	81
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	87

Área : Ingeniería y Tecnología.

Tema : Control de Calidad en Soldadura de Geomembrana

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 de julio de 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de geomembranas (texturizada y lisa)	28
Figura 2. Valores minimos de resistencia al corte y desgarro según norma ASTM, GRI GM19.....	30
Figura 3. Ubicación de la zona de estudio	47
Figura 4. Vista general del reservorio con instalación de la geomembrana.	91
Figura 5. Se observa la soldadura por fusion de la geomembran.	91
Figura 6. Se observa la soldadura por extrusión de la geomembrana.....	92
Figura 7. Se observa los testigos ensayados por destructivo en el tensiómetro	92
Figura 8. Toma de muestra para los ensayos no destructivos prueba de aire.	93
Figura 9. Toma de muestra para los ensayos no destructivos prueba de caja de vacío.	93
Figura 10. Toma de muestra para los ensayos no destructivos chispa eléctrica.	94
Figura 11. Testigos destructivos por fusión y extrusión donde se aprecia el desgarro (peel) y el corte (Shear).	94



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Longitudes al área del proyecto.	48
Tabla 2. Criterios de aceptación de destructivos.....	56
Tabla 3. Criterios de aceptación de destructivos.....	57
Tabla 4. Valores para prueba de aire.....	58
Tabla 5. Ejemplo práctico de datos de prueba de aire	59
Tabla 6. Calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno (primera muestra)	62
Tabla 7. Calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno (segunda muestra)	63
Tabla 8. Calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno (tercera muestra).....	65
Tabla 9. Resumen de calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno	66
Tabla 10. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno (primer muestreo).....	67
Tabla 11. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno (segundo muestreo)	69
Tabla 12. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno (tercer muestreo)	70
Tabla 13. Resumen calidad de soldadura por extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno.....	71



Tabla 14. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), por prueba de caja de vacío (Vacuum test), sector de Llanccacchahua Melgar-Puno	72
Tabla 15. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), por prueba de caja de chispa (Spark test), sector de Llanccacchahua Melgar-Puno	73



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

HDPE: Polietileno de alta densidad.

Lb/pulg.: Libras por pulgada

PSI: Libras por pulgada cuadrada



RESUMEN

El presente estudio tuvo por objetivo evaluar la calidad en la soldadura por fusión y extrusión de la geomembrana HDPE del reservorio de agua para riego en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno. La metodología consistió en realizar los procedimientos de extracción de muestras para evaluar el control de calidad de la soldadura por fusión y extrusión, sometidos a unos ensayos destructivos de desgarro (Peel) y corte (Shear) con la ayuda de un tensiómetro y ensayos no destructivos sometidos a una prueba de caja de vacío (Vacum test) y chispa eléctrica (Spark test). Los resultados fueron: se determinó que la soldadura de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos destructivos de soldadura por fusión en el sector de Llanccacahua Melgar, presenta la calidad requerida con una media de máxima tracción en el lado **a** de 133.77 lb/pulg y en el lado **b** de 135.53 lb/pulg para el ensayo de desgarro (Peel) y de 162.4 lb/pulg de máxima tracción con 100% de tensión para el ensayo de corte (Shear). Se determinó que la soldadura de la geomembrana mediante ensayos destructivos por soldadura de extrusión presenta la calidad requerida con una máxima tracción media de 126.27 lb/pulg para el ensayo de desgarro (Peel) y máxima tracción media de 160.43 lb/pulg y 100% de tensión para el ensayo de corte (Shear). Se determinó que para el control de la soldadura por extrusión mediante caja de vacío (Vacuum test), se obtuvo un 100% de muestras que pasaron este control y para la prueba de chispa (Spark test) también el 100% de muestras pasaron este control. Se concluye que la calidad de la soldadura de la geomembrana en el reservorio de Llanccacahua presenta la calidad requerida.

Palabras Clave: Geomembrana, control de calidad, fusión y extrusión.



ABSTRACT

In the Puno region, climate change is causing variations in the hydrological cycle, generating extreme droughts in dry seasons that cause a shortage of water for the agricultural sector, thus causing economic losses and even directly affecting livestock feed such as case of the community of Llanccacahua. The objective of this study was to evaluate the quality of the fusion welding and extrusion of the HDPE geomembrane of the water reservoir in the Llanccacahua Melgar-Puno sector. The methodology consisted in evaluating the welding quality of the HDPE geomembrane $e = 1.5$ mm, through fusion or hot wedge tests, extrusion, vacuum box test (Vacuum test) and spark test (Spark test). The results were: it was determined that the welding of the HDPE geomembrane $e = 1.5$ mm by means of fusion or hot wedge tests in the Llanccacahua Melgar sector, presents the required quality with a mean maximum traction on side a of 133.77 lb / in. and on the b side of 135.53 lb / in for the tear test (Peel) and 162.4 lb / in of maximum tension with 100% tension for the shear test (Shear). It was determined that the weld of the geomembrane by extrusion tests presents the required quality with a maximum mean tension of 126.27 lb / in for the tear test (Peel) and maximum mean tension of 160.43 lb / in and 100% tension for the Shear test. It was determined that for the control of extrusion welding by means of a vacuum box (Vacuum test), 100% of samples were obtained that passed this control and for the spark test (Spark test) also 100% of samples passed this control. It is concluded that the quality of the welding of the geomembrane in the Llanccacahua reservoir presents the required quality.

Keywords: Geomembrane, quality control, fusion and extrusion.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El uso de geomembrana de HDPE se ha extendido por todo el mundo por las múltiples bondades que brinda para impermeabilizar diversas estructuras, pues tiene la capacidad de contener líquidos de manera eficiente y por periodos de tiempo considerables, lo que la hace recomendable para obras hidráulicas que requieran contener agua como es el caso de reservorios.

Si bien la geomembrana HDPE tiene características físico - químicas adecuadas para implementar barreras de contención de agua, sin embargo, para que estas barreras sean efectivas se debe realizar uniones que cumplan estándares de calidad específicos, para ello se tiene implementado testigos de calidad antes y después de la unión soldada de los paneles en campo, de tal manera que se garantice la estanqueidad de la sustancia contenida.

En las técnicas de soldadura se tiene la unión de soldadura por extrusión (aporte de material) y soldadura por termofusión (cuña caliente), en ambos casos la calidad de las uniones depende de factores como la presión de los rodillos, la temperatura y la velocidad de avance, de cometer errores en el proceso se pueden producir filtraciones que perjudicarían el funcionamiento de la geomembrana y pérdida de eficiencia de contención.

Bajo esta perspectiva, el presente estudio evaluar la calidad en la soldadura por fusión y extrusión de la geomembrana HDPE del reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, este reservorio tiene como función el de proveer agua para riego a la población beneficiaria del proyecto, por lo que se requiere que la geomembrana



utilizada cumpla de manera eficiente la contención del agua que posteriormente será utilizada en el riego de los cultivos de la zona.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde los años 1980, las geomallas, georedes y geotextiles, que representan la segunda generación de geosintéticos, se han desarrollado para satisfacer las necesidades específicas de los proyectos en ejecución. A nivel mundial, los geosintéticos han mostrado una participación importante en las obras de ingeniería, ya que se utilizan en obras de impermeabilización, trabajos de hidráulicos, refuerzo de caminos y taludes, separación, sistemas de filtración, estructuras de drenaje, etc.

En Nuestro país de igual manera se ha venido usando estos productos principalmente en obras, como taludes y muros de tierra, terraplenes en suelos blandos, control de erosión, almacenamientos, cortinas de presas, canales, vías de comunicación, sistemas de filtración y drenaje, y en la disposición de residuos líquidos y sólidos (Romero Borda, 2000).

Las geomembranas son materiales que necesitan una aplicación singular durante la instalación en la obra, para de esa manera asegurar la calidad y su óptimo funcionamiento ya que al no controlar la calidad en la soldadura se presentaría fallas en la unión de las láminas de geomembranas por falta de calibración de la temperatura al momento de soldar , puesto que llevaría a una infiltración al cuerpo del reservorio y por consecuencia se ocasionarían pérdidas económicas en su reparación; Por lo tanto, a menos que se aplique un estricto sistema de control de calidad en el sitio, particularmente para los geosintéticos, existe el riesgo de que se realicen trabajos que no cumplan con los objetivos operativos previstos.



Considerando lo mencionado se plantea las siguientes interrogantes de investigación:

1.1.1. Pregunta general

¿Cuál es el procedimiento que se debe aplicar para obtener la calidad en la soldadura por fusión y extrusión de la geomembrana HDPE del reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno?

1.1.2. Preguntas específicas

- ¿Cuál es la calidad de soldadura por fusión o cuña caliente de la geomembrana HDPE $e=1.5\text{mm}$. mediante ensayos destructivos en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno?
- ¿Cuál es la calidad de soldadura por extrusión de la geomembrana HDPE $e=1.5\text{mm}$. mediante ensayos destructivos en el reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno?
- ¿Cuál es la calidad de soldadura por extrusión mediante ensayos no destructivos por Caja de Vacío y Chispa Eléctrica en el reservorio de agua para riego en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Con el control de calidad se pretende reducir las pérdidas económicas, garantizar el rendimiento hidráulico de la obra, y los riesgos ambientales del proyecto; en la instalación la geomembrana lisa HDPE; Por lo tanto lograr aplicar un control de calidad para responder a las necesidades de la obra, en términos de objetivos de rendimiento, de costos y de gestión de riesgo, implica la presencia en la obra de ingenieros y técnicos de manera que permita garantizar la aplicación eficaz y rigurosa del control de calidad (Quino Ordoñez, 2006).



Es por ello que surge la motivación de abordar este tema que conlleva a la necesidad del estudio ya que no existe un trabajo de investigación de este tema en nuestra región que pudiera responder a un modelo guía en el sector agrario donde se pueda reducir el tiempo y costo de construcción, e impermeabilizar las áreas en contacto con el suelo, evitar altas pérdidas por penetración y/o infiltración para asegurar el mejor desempeño del revestimiento, además que la presente investigación contribuirá como documento de referencia para futuras investigaciones.

En el aspecto social la investigación contribuye al desarrollo de una obra hidráulica de calidad, garantizando que cumpla el objetivo del proyecto, el cual es de proveer agua para riego de cultivos, de esta forma los pobladores de la zona de impacto del proyecto se verán beneficiadas en el sector de Llanccacahua.

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La soldadura por fusión y extrusión de la geomembrana HDPE del reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, cumple con el estándar de calidad de instalación.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La soldadura por fusión o cuña de geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos destructivos en el reservorio de agua del sector de Llanccacahua Melgar-Puno, satisface con el estándar de calidad de instalación.
- La soldadura por extrusión de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos destructivos en el reservorio de agua del sector de Llanccacahua Melgar-Puno, concretiza con el estándar de calidad de instalación.



- La soldadura por extrusión mediante la Prueba de Caja de Vacío y Chispa Eléctrica, presenta con el estándar de calidad de instalación en el reservorio de agua para riego.

1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar la calidad en la soldadura por fusión y extrusión de la geomembrana HDPE del reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad de soldadura por fusión de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos destructivos sometidos al desgarró y corte.
- Determinar la calidad de soldadura por extrusión de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos destructivos sometidos al desgarró y corte.
- Evaluar el control de la soldadura por extrusión mediante ensayos no destructivos de pruebas de Caja de Vacío y Chispa Eléctrica del reservorio de agua para riego.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. A nivel Internacional

En México un estudio titulado “Aspectos Geotecnicos en Comportamiento de la IV etapa del Relleno Sanitario Bordo Poniente”, con el objetivo de analizar el comportamiento estático de un relleno sanitario de residuos sólidos municipales que está provisto de un sistema de impermeabilización con geomembrana de polietileno de alta densidad HDPE. Para comprender el fenómeno físico y definir las condiciones de borde se emplearon técnicas simples y se recurrió a la caracterización en laboratorio del comportamiento esfuerzo deformación del material geosintético. Los resultados de la prueba de carga se replicaron mediante modelos en elemento finito bidimensional y tridimensional. En los análisis se consideró la construcción del relleno de residuos, la presencia de la geomembrana, las etapas de construcción del terraplén de prueba, los procesos de consolidación intermedios y diferentes modelos constitutivos para describir el comportamiento del suelo lacustre. Los resultados de esta investigación se detectaron problemas en la construcción y manejo de los rellenos sanitarios mexicanos y de otros países. También se identificaron aspectos geotécnicos del diseño y construcción de rellenos sanitarios sobres suelos blandos con los cuales se propone una metodología para el análisis y control de este tipo de rellenos que representa un aporte para la ingeniería geoambiental (Parra Piedrahita, 2012).



En Chile se realizó un estudio titulado “Estudio Experimental de Punzonamiento en Geomembranas en Interfaces de Depósitos de Minerales las geomembranas de polietileno lineal de alta densidad (HDPE)” con el objetivo de Para determinar su resistencia, se realizaron ensayos hidrostáticos para evaluar el comportamiento de geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) 2 de 1.0 y 1.5 [mm] de espesor, cuyos resultados se correlacionan con las características del material depositado inmediatamente sobre ella, en particular, con el tamaño máximo y geometría de las partículas de materiales drenantes comúnmente utilizados en la práctica . Se utilizo un equipo que trabaja hasta una presión máxima de 100 [psi]. En la presente investigación se requiere alcanzar presiones mayores, por lo que se desarrollaron modificaciones en el sistema de control del equipo existente, logrando alcanzar presiones de hasta 250 [psi]. Se concluyo en que la utilización de geotextiles disminuye en gran medida los parámetros de resistencia al corte en la base del depósito, ya que el ángulo de fricción en la interface —geomembrana-geotextill (11° a 13°) es menor que en el caso —geomembrana-material drenantell (24° a 26°). Así para un mismo diseño geométrico de la pila, con la utilización de geotextiles se tendrán menores factores de seguridad ante los eventuales deslizamientos en bloque, tanto para la condición estática como pseudo-estática (Godoy Barbieri, 2011).

En Chile se realizó una investigación titulado “Análisis Global de una Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de Proyecto de Ingeniería en Magallanes” con el objetivo es estudiar el comportamiento de una Geomembrana de Polietileno de Alta densidad frente a diversos factores físicos, químicos, mecánicos y biológico, así como también sus costos y rendimientos. Se utilizo proyectos realizados en



Magallanes en el área de minería de petróleo y gas en donde se aplican revestimientos de Geomembrana de Alta densidad también se realizó una comparación de propiedades de geomembranas de polietileno y PVC. Como resultado se obtuvo que la utilización de la Geomembrana de Polietileno de alta densidad ha resultado ser una opción muy económica y duradera para proyectos de la industria petrolera y gasífera, debido a la alta resistencia que ellos presentan a la degradación que se puede generar por reacciones químicas y exposición a los rayos UV, adicionalmente se adoptan muy bien a los requerimientos necesarios para la contención de líquidos o fluidos a que cada día se hacen mayor énfasis en la protección del medio ambiente (Valencia Garcia, 2010).

2.1.2. A nivel Nacional

En Lima se realizó un estudio titulado “Impermeabilización de Reservorios de Agua con Geomembranas “Procedimientos Constructivos, Costos y Presupuestos” en donde se muestra cómo se deben de realizar los procedimientos constructivos para construir un Reservoirio de Agua utilizando como elemento impermeable la Geomembrana. Se construyó un reservorio; el cual tiene una capacidad aproximada de 20 m^3 , el cual mediante una electrobomba impulsara el líquido hacia otro reservorio en la parte superior del Cerro Arrastre. Este Reservoirio posee las siguientes características geométricas, una base $4.0 \times 2.0 \text{ m}$, una profundidad neta de 1.0 m y con un talud $H 2 : V 1$. En el reservorio, considera una impermeabilización con geomembrana del tipo HDPE de 1.0 mm para evitar la percolación de las aguas que contiene, además dadas las características del suelo se instaló un geotextil No Tejido clase. Se concluyó en que la incidencia que se presenta con el uso de los geosintéticos en la construcción específica del Reservoirio es del 25% del costo de Reservoirio, siendo estos materiales



(geotextil y geomembrana) importante antes en la función de impermeabilizar el líquido que contendrá el reservorio y que la geomembrana debe casi siempre trabajar con un geotextil de amortiguamiento, cuya función es de proteger a la geomembrana del punzonamiento debido al mal estado del terreno o una mala manipulación durante la instalación. Asegurando así una correcta impermeabilización del reservorio (Quino Ordoñez, 2006).

En Arequipa se realizó un estudio titulado “Plan de Aseguramiento y Control de Calidad para Geosintéticos aplicado al Sector Minero” con el objetivo de la elaboración de un plan de aseguramiento y control de calidad para geosintéticos, brindando una guía práctica y de fácil entendimiento para público en general y cumpliendo con las exigencias del Sector Minero; siendo aplicable para el Sector Industrial, Sector Agrario y Construcción. Su hipótesis fue que si el Plan de Calidad en el sector minero, responden a las necesidades entonces los profesionales y técnicos podrán emplear dichos conocimientos y aplicarlos. De lo contrario, no responde a las expectativas y a las necesidades de los profesionales, técnicos del sector minero, será muy difícil en cuanto al entendimiento de un proceso óptimo. En la metodología se basó en un proceso claro y directo que permita definir el problema, analizarlo, diagnosticar y proponer una solución. Se concluyó en que, para un buen sistema de gestión de calidad, se tendrá que cumplir una serie de actividades como planear, controlar y mejorar para lograr la calidad de los productos y servicios que se ofrecen al cliente (Medina Rojas, 2018).

En Arequipa se realizó un estudio titulado “Propiedades Mecánicas y el Deterioro de la Microestructura de las uniones soldadas por termofusión a diferente temperatura y velocidad en Geomembranas HDPE de 2.0mm” con el objetivo de evaluar las propiedades mecánicas y el deterioro de la microestructura



de las uniones soldadas por termofusión a diferente temperatura y velocidad de avance en láminas de geomembrana HDPE de 2.0 mm. Para ello se realizaron 4 muestras que fueron soldadas a diferente temperatura y velocidad de avance: muestra A (430 °C, 2.0 m/s), muestra B (430 °C, 2.5 m/s), muestra C (450 °C, 2.0 m/s) y muestra D (450 °C, 2.5 m/s.), que fueron sometidas a ensayos de resistencia mecánica de pelado y de corte, y del resultado de las probetas de resistencia al pelado fueron sometidas a evaluaciones morfológicas. Los resultados indicaron que la muestra "C" posee mayor resistencia mecánica siendo para el ensayo de pelado $=754.6 \text{ N/25mm}$ y el ensayo de corte $= 1221.08 \text{ N/25mm.}$, en cuya caracterización Microestructural presenta un 0% de peladura en la unión soldada. El trabajo realizado permite demostrar a que valores de temperatura y velocidad de avance se pueden lograr obtener mejores valores de resistencias mecánicas y sin presencia de peladura en la unión soldada, de tal manera garantizar la estanqueidad de la sustancia a contener (Villasante Huahuacondori, 2014).

En Trujillo se realizó un estudio titulado "Efecto del Calibre del Alambre de Cobre y Temperatura de Extruido en los parametros que indican la Calidad de la Soldadura por Extrusión de Geomembrana HDPE" con el objetivo general de analizar diferentes calibres de hilo de cobre y rangos de temperaturas de extruido que al momento de realizar las pruebas de control de calidad no den como resultado una falla en la soldadura por extrusión de geomembrana HDPE. Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los equipos de la empresa Tecnología de Materiales S. A. los mismo que vienen ejecutando el proyecto Mantenimiento Correctivo del Reservoirio San José en MINERA YANACOCKA. Como resultados se obtuvieron que en Pruebas No Destructivas de Prueba de Vacuum



Test que Al realizar las pruebas de vacuum test a los diferentes cordones de los ensayos, se observa que en ninguna de ellas hay presencia de fugas, dando como resultado en cada prueba 0% de falla. Se concluyo en que Al realizar las pruebas de Vacuum Test a los diferentes cordones de los ensayos, dan como resultado 0% de falla, de lo que se infiere que el calibre del hilo de cobre y las temperaturas de extruido no generan ningún tipo daño que afecten la hermeticidad de los cordones, Al realizar las pruebas de Spark Test, a los diferentes cordones de los ensayos; para los calibres de hilo de cobre de $\phi=0.14$, $\phi=0.16$ y $\phi=0.18$, y temperaturas de extruido (235°C , 240°C , 245°C , 250°C), no se escucha ningún cambio de sonido, de lo que se infiere que para dichos valores no se generan agrietamientos de los cordones de soldadura por extrusión, causadas por el pandeo del hilo de cobre y que el daño más común generado por el hilo de cobre, es el corte o agrietamiento del cordón de soldadura, el mismo que puede ser controlado, disminuyendo el calibre del hilo de cobre (Ugarte Lopez, 2016).

En Cajamarca se realizó un estudio titulado “Aseguramiento de la Calidad en la Construcción usando Polietileno de Alta Densidad HDPE” con el objetivo de verificar el grado de cumplimiento de los parámetros del Aseguramiento de la Calidad en la Construcción, usando Polietileno de Alta Densidad (HDPE), bajo los parámetros de la norma ISO 9001 :2000 de Minera Yanacocha- Cajamarca, durante la construcción de la Poza Cajamarquina, De acuerdo a las características de la investigación, los ensayos y la recopilación de datos, se realizaron durante la construcción de la poza, observando lo estipulado en la Norma ASTM; para la colocación de la geomembrana de polietileno, consistentes en doce protocolos: croquis para área de entrega, registro de recepción y



almacenamiento de geomembrana, inspección visual en campo, despliegue de geomembrana, prueba inicial de soldadura por fusión en geomembrana, prueba inicial de soldadura por extrusión en geomembrana, uniones por fusión, soldadura por fusión, soldadura de extrusión, ensayos destructivos por fusión, ensayos destructivos por extrusión, aceptación de panel y unión de geomembrana. Del análisis de resultados se concluye que la utilización de estos protocolos, permiten verificar el cumplimiento de los parámetros del Aseguramiento de la Calidad en la Construcción usando polietileno de alta densidad, de acuerdo a Estándares de la Calidad y bajo los parámetros de la ISO 9001:2000 (Merino Salazar, 2014).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Calidad

Según la Real Academia Española, la calidad es el conjunto de propiedades de una obra, un producto, o servicio de una entidad u organización que le adjudican para satisfacer necesidades (Real Academia Española, s. f.).

2.2.2. Control de calidad

Es la primera etapa que se caracteriza por la realización de inspecciones y ensayos para así, verificar si una determinada materia prima, un producto terminado o semielaborado, cumple con las especificaciones ya establecidas actualmente (Merino Salazar, 2014).

2.2.3. Geosintéticos

Según la Norma Estándar ATSM 12553/1999, los geosintéticos son productos donde por lo menos, uno de sus elementos es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, lamina o una estructura



tridimensional , utilizada en contacto con el suelo o con otros materiales en el campo de la geotecnia (Chancasanampa Pacheco, 2013; Zuñiga Rivas, 2011; Alfaro, 2016).

2.2.4. Geomembrana

De acuerdo a la Norma Estándar ASTM D4439, Una geomembrana es una barrera o cubierta sintética de permeabilidad extremadamente baja que se utiliza con cualquier tipo de material en una aplicación o ingeniería geotécnica para controlar la escorrentía de fluidos de una estructura, proyecto o sistema.

La geomembrana es un tipo de geo sintético, elaborado con polietileno, polipropileno, poli cloruro de vinilo, entre otros materiales, se usa en pilas de lixiviación, piscinas en procesos mineros, lagunas artificiales, edificaciones, depósitos de residuos industriales , entre otros; donde su función reside en impermeabilizar un determinado sector o estructura (Godoy Barbieri, 2011; Koerner, 2005; Shukla, 2017).

2.3. GEOMEMBRANA (HDPE)

El polietileno de alta densidad (HDPE), es un polimero de la familia de los de los polietilenos, el cual es un polímero termoplástico conformadas por unidades de etileno; se designa como HDPE debido sus siglas High Density Polyethylene, este material es el más usado para el revestimiento en rellenos, depósitos de desechos mineros, y demás aplicaciones de contención de líquidos debido a que es más rígido y resistente mecánicamente.

El polietileno de alta densidad, es un polímetro de estructura lineal, de pocas ramificaciones y se obtiene a través de la polimerización del etileno parcialmente bajas por el proceso de Phillips, no obstante existe por medio de los catalizadores Metalocenos

que son utilizados únicamente para adquirir polietileno de ultra masa molecular (Merino Salazar, 2014; Bustillo, 2021).

2.4. TIPOS DE GEOMEMBRANA DE (HDPE)

La geomembrana HDPE o polietileno de alta densidad, es fabricado con resinas vírgenes de polietileno aproximadamente en un 97.5 % y 2 – 3 % de carbón, antioxidantes y estabilizadores de calor, concediendo alta resistencia a los de rayos ultravioleta, con un coeficiente de expansión del 700%, lo que la hace magnánima para aplicaciones expuestas, garantizando una larga duración. No contiene aditivos que puedan evaporarse y que causen deterioro en el tiempo y su superficie puede ser de texturas o lisa en una o dos caras como se aprecia en las siguientes imágenes:

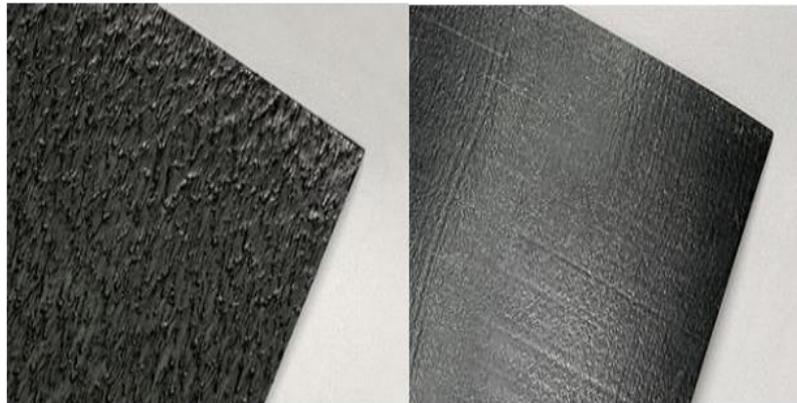


Figura 1.Tipos de geomembranas (texturizada y lisa)

Los espesores varían entre los 0.5 y 5 mm. Las geomembranas texturizadas suministran una excelente resistencia a la fricción generada en el momento que el suelo de los taludes a recubrir tiene pendientes importantes o para la instalación de capas de suelo de cobertura sobre ellas (Valencia Garcia, 2010).

- a) Lisa: Es una lámina impermeable suave y estirada que es el estándar para revestimientos industriales.



- b) Texturada: Tiene una o dos superficies rugosas para aumentar el coeficiente de fricción entre la geomembrana y el material del lecho y/o base.
- c) Blanca: Fabricado con capas coextruidas blancas. La extensión blanca refleja la luz solar, lo que reduce la expansión y/o contracción térmica para facilitar la inspección visual después o durante la instalación. mantiene su resistencia a la radiación UV.
- d) Conductiva: Es una geomembrana con una superficie muy fina de carbono conductivo extendido o coextruido que permite controlar la colocación del pozo mediante un arco eléctrico.
- e) Especial: STUDLINER, Es una geomembrana básicamente diseñada para preservar la integridad estructural del hormigón ante agresiones químicas o deterioro mecánico (Villasante Huahuacondori, 2014).

2.5. PROPIEDADES DE LA GEOMEMBRANA (HDPE) LISA

Las geomembranas de polietileno de alta densidad son unida solo mediante la soldadura por termofusión o por extrusión y en ocasiones a través de ultrasonidos.

Las geomembranas HDPE, están constituidas por la polimerización de compuestos que contienen una unión no saturada entre dos átomos de carbón, que dan como resultado una alta cristalinidad, lo que las hace resistentes a una extensa gama de productos químicos, sales, alcoholes, aceites, hidrocarburos; ya sea concentrados o diluidos a diferentes temperaturas donde se les utiliza como revestimiento impermeable para la contención de los sólidos o soluciones ya mencionadas (Valencia Garcia, 2010).

De acuerdo a la norma ASTM en la siguiente tabla se muestra las propiedades mecánicas y físicas de la geomembrana HDPE lisa (Huahuacondori Villasante, 2014).

Espesor nominal de la geomembrana	30 mils	40 mils	50 mils	60 mils	80 mils	100 mils	120 mils
Soldaduras de cuña caliente (1)							
resistencia al corte, lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
elongación en la rotura por corte (2),%	50	50	50	50	50	50	50
resistencia de la adhesión, lb/in.	45	60	76	91	121	151	181
desprendimiento, %	25	25	25	25	25	25	25
Soldaduras de aporte por extrusión							
resistencia al corte, lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
elongación en la rotura por corte (2),%	50	50	50	50	50	50	50
resistencia de la adhesión, lb/in.	39	52	65	78	104	130	156
desprendimiento, %	25	25	25	25	25	25	25

Figura 2. Valores mínimos de resistencia al corte y desgarro según norma ASTM, GRI GM19.

- (1) Los valores promedios para ensayos en la dirección de fabricación (MD), y en la dirección perpendicular al de fabricación (XMD) deben ser sobre la base de 5 muestras en cada dirección.
- (2) El fabricante tiene la opción de seleccionar cualquiera de los métodos OIT listados para evaluar el contenido de antioxidante en la geomembrana
- (3) . La condición del ensaye debe ser en un ciclo de 20 horas expuesto a los rayos UV a 75 °C, seguido por 4 horas de condensación a 60 °C.
- (4) No recomendado, ya que la alta temperatura del ensaye con OIT estándar produce un resultado irreal para algunos de los antioxidantes en muestras expuestas a los rayos UV.

Con respecto a sus propiedades químicas las Geomembranas HDPE – LLDPE - VLDPE presentan alta resistencia a:

- Ácidos orgánicos e inorgánicos.
- Alcalis orgánicos e inorgánicos.
- Aceites y combustibles.
- Hidrocarburos (Aromáticos, Alifáticos, Halógenos)

2.6. APLICACIONES DE LA GEOMEMBRANA DE (HDPE)

La impermeabilidad de las geomembranas es bastante alta comparada con los geotextiles o suelos, aun con suelos arcillosos; valores normales de permeabilidad para



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

El sellado de estas geomembranas se realiza dentro y/o fuera de la obra, utilizando una máquina de cuña caliente y una máquina extrusora de resina de HDPE. Se utilizan con éxito para el aislamiento de terrenos con filtraciones, y en una amplia gama de proyectos y soluciones de geotecnia tales como piscinas para almacenamiento, conservación y tratamientos de aguas, piscinas de recolección de lodos petroleros, impermeabilización de diques, aislamientos de terrenos donde funcionarán rellenos sanitarios, etc. sobre muy diferentes sustratos, que pueden ser tierra, arena, concreto o acero (Valencia, 2009).

Aplicaciones en obras tipo ambiental

- Lodos petroleros: Los lodos de perforación, compuestos por bentonita, trazas de petróleo y agua, forman un líquido viscoso y muy contaminante por lo que debe ser tratado en lagunas impermeabilizadas con Geomembranas antes de su disposición final (Valencia, 2009).
- Lagunas de oxidación: Con las Geomembranas se evita que la filtración de las aguas residuales, a través del suelo, pueda contaminar fuentes de agua subterránea (Valencia, 2009).



- Rellenos sanitarios: Por su flexibilidad y gran resistencia química y bacteriológica, la impermeabilización del Relleno Sanitario con geomembranas evita que el lixiviado generado de la composición de la basura, contamine el suelo y las fuentes de agua subterránea (Valencia, 2009).
- Recubrimientos de celda: En el recubrimiento de suelos en rellenos sanitarios, se ha venido generalizando el uso de geosintéticos dentro de los diseños, presentando en obra un gran beneficio ambiental, con el mínimo de tiempo en su instalación (Valencia, 2009).
- Deposito lixiviado: El lixiviado recolectado del relleno (como se muestra en la figura 4) se almacena en depósitos impermeabilizados para su posterior tratamiento. La lámina de estos depósitos esta generalmente expuesta a la intemperie, Los sistemas de impermeabilización en polietileno de alta densidad presentan el más alto grado de durabilidad bajo las condiciones atmosféricas más extremas, tales como radiación solar, o congelamiento (Valencia, 2009).

2.6.1. Instalación de geomembrana HDPE

La instalación de geosintéticos consiste en colocarlo sobre un sustrato adecuado (libre de cuerpos extraños que puedan dañar la geomembrana), lo que presenta riesgos de manipulación, por lo general está expuesto a fenómenos ambientales como ráfagas de viento, lluvias o condiciones de terreno que hacen difícil la maniobrabilidad del material a desplegar.

En la secuencia de Instalación de paneles se debe tener en cuenta lo siguiente para evitar accidente tanto en las personas como en los equipos:

- Dirección y velocidad del viento.
- Las condiciones de la superficie de apoyo.



- Condiciones climáticas.
- La accesibilidad de terreno.
- El anclaje temporal (sacos con arena o de similar granulometría).
- Orientación del traslape entre paneles.
- El equipo utilizado en el despliegue no dañe la superficie de terreno.
- No fumar sobre los geosintéticos.
- Los zapatos no ocasionen daños a los geosintéticos.

El despliegue de la geomembrana deberá realizarse mediante barras de despliegue con apoyo de un camión grúa o excavadora de manera que faciliten el desenrollado y eviten o minimicen el contacto de la geomembrana con el suelo, ver fig. N° 25 y 26, luego se desenrollará de acuerdo a la longitud a instalar, posteriormente se colocara en la cresta de la zanja, previo al corte de la lámina se colocarán lastres (sacos rellenos con material) sobre la geomembrana en la zanja y parte lateral de la lámina espaciados cada metro (López, 2012).

Según el tipo de material utilizado para el revestimiento e indicado en el plano de control de calidad (150 mm), el traslape entre los diferentes paneles a soldar es suficiente.

Todos los geosintéticos colocados en un día debían ser soldados, anclados correctamente y asegurados con sacos de lastre. Es decir, el panel de instalación es el mismo que el panel de soldadura.

2.6.2. Tipos de soldadura para geomembranas de HDPE.

Por extrusión.

Soldadura por extrusión de material de aporte. Unión por termofusión con aporte de material de las partes a unir. La soldadura se ejecuta mediante una



soldadora guiada manualmente, provista de una cámara de fusión de material de aporte, una boquilla para la extrusión del aporte y una boquilla de precalentado de la superficie que recibirá el material de aporte o extruido (Valencia, 2009).

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

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

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

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

Con ambas máquinas se realizan pruebas antes de ser utilizadas por el personal técnico comprobando su soldadura a través de un tensiómetro. Las



pruebas se denominan comprobación de las soldaduras por fusión y extrusión y comprobación a la tensión y resistencia del material (Valencia, 2009).

Por fusión o termofusión

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

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

2.7. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

2.7.1. Ensayos no destructivos

El objetivo de los ensayos no destructivos es comprobar el sellado hidráulico de juntas extruidas o termosoldadas.



Para soldaduras extrusionadas, el ensayo no destructivo adecuado es el Ensayo de Vacío, y en casos especiales de trabajos delicados o de difícil acceso, el ensayo se realizará mediante el Ensayo de Chispa.

En caso de soldaduras por Termofusión (Cuña Caliente), el Ensayo No Destructivo correspondiente es 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 (Koerner, 1999).

a. Ensayos para soldadura por extrusión

Prueba de vacío (Vaccum Test, ASTM D5641)

Las costuras de extrusión, los cordones y los cordones a menudo se prueban al vacío. El dispositivo consta de un casete de material adecuado con tapa transparente, un vacuómetro, una bomba de succión y una solución jabonosa.

Antes de realizar el ensayo se debe limpiar la superficie pues esta debe estar exenta de polvo y libre de restos de geomembrana u otro material que pudiera alterar el ensayo, luego aplicar solución de agua y jabón líquido a través de una escobilla, colocar la caja de vacío y aplicar una determinada fuerza sobre la caja e inmediatamente se acciona la bomba de vacío para generar un sello entre la espuma de la caja con el revestimiento de tal manera que succione con un presión en negativo de 5 psi durante un lapso de 15 seg., en caso de existir fugas, serán detectadas a través de burbujas sobre la lámina estas serán marcadas y reparadas y se volverá a hacer su re prueba hasta no encontrar burbujas (Mentzer, 2005).



Prueba de chispa eléctrica (Spark Test, ASTM 6365)

La prueba de Chispa eléctrica o Spark Test, se realizan a menudo en soldaduras extruidas con alambre de cobre desnudo y son una alternativa a las pruebas de vacío.

Básicamente, este ensayo está orientado a ser efectuado en lugares de difícil accesibilidad o parte de caja de vacío o donde ella definitivamente no se pueda ocupar. No obstante, lo anterior, su gran campo está en determinados materiales geosintéticos donde, por sus características, el ensayo de vacío no es aplicable. Referido principalmente a geomembranas gruesas (de 3 mm hacia arriba) (Valencia, 2011).

El equipo consta de una fuente de 35 KV y escobilla metálica. Una vez colocado el alambre de cobre entre la unión de las dos láminas de geomembrana la cual fue soldada por extrusión, se aplica una diferencia de potencial entre 20 a 35 KV sobre dicho cordón. En caso de que la soldadura se encuentre defectuosa (existencia de poros profundos, mala adherencia, sectores delgados), se producirá un cortocircuito entre la punta del equipo (escobilla sólida) y el alambre de cobre, generando una chispa eléctrica que será visible al inspector. Adicionalmente, y producto del corto circuito, se oirá un ruido (chasquido) (Llanos & Llanos, (2019).

b. Ensayos para soldadura por fusión

Prueba de presión de aire (Air Test ASTM D5820)

La prueba de presión de aire es ejecutada sobre juntas soldadas por fusión. Para ello, la soldadura por cuña caliente dejara un canal de aire en donde se aplicó la prueba. El equipo consta de un bombín manual con capacidad de 50 psi, set de



prueba de aire (aguja hueca, manómetro por encima de 35 psi y accesorios), pistola de aire caliente (Azañero, 2007).

Se sella ambos extremos el canal de aire de la junta a ser probada a través de una pistola de aire caliente, luego se inserta la aguja dentro del canal por uno de los extremos de la junta, se procede a inyectar aire a presión a través del bombín hasta alcanzar una presión de 35 psi., se deja un lapso de 2 min., para su estabilización, terminado el tiempo se toma una lectura inicial de presión y se espera un lapso de 5 min., y se toma una lectura final de presión, cuya diferencia de presiones debe ser igual o menor a 3 psi (Azañero, 2007).

Transcurrido el tiempo y no habiéndose observado fuga de aire se verifica si la prueba de aire ha considerado la totalidad del cordón.

Para ello se deberá cortar la unión en el extremo opuesto al que se encuentra la aguja y verificar si el aire utilizado sale en su totalidad luego de hacer el corte en la unión y el manómetro debe bajar a cero. Si el aire no sale, es señal que el canal de aire se encuentra bloqueado en alguna parte de la unión por lo que deberá ser localizada, reparada y la prueba deberá rehacerse (Saldaña, 2017).

2.7.2. Ensayos Destructivos

a. Destructivos de Fusión y Extrusión (ASTM D6392)

A diferencia de las pruebas no destructivas, estas pruebas determinan las propiedades mecánicas de las uniones soldadas. Las pruebas de resistencia al desgarro y al corte de acuerdo con la norma ASTM D 6392 deben incluirse en la prueba destructiva de la muestra.



El Ingeniero observará todo muestreo destructivo. Para costuras de fusión y extrusión, la frecuencia de las pruebas destructivas debe ser cada 150 metros lineales.

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 (Saldaña, 2017).

Para las pruebas destructivas, las láminas de geomembrana se cortarán en la unión entre los dos paneles, lo que se hace en el sitio. El largo y ancho mínimo de estas hojas será de 1000 mm y 300 mm respectivamente. La muestra debe cortarse en 3 piezas (2 piezas de 300 mm y 1 pieza de 400 mm). El instalador verifica la parte de 400 mm, mientras que el cliente es responsable de la parte de 300 mm. El resto se entrega a un consultor de control de calidad designado por el cliente.

Se van a cortar diez especímenes de 1" de ancho y 6" de largo de la lámina de 400 mm, 5 de los cuales se probarán para detectar grietas (desprendimiento) y 5 para pruebas de corte. Las muestras extraídas se probarán con un tensiómetro a una velocidad de prueba de 2 pulgadas/min para HDPE y 20 pulgadas/min para LLDPE.

Ensayo de Tensión al Corte (Shear)

Inspección visual (porosidad, adherencia, amoladura, limpieza, etc.).

- 5 probetas que correspondan a la resistencia mínima determinada en la especificación del proyecto, la cual vendrá dada por la especificación técnica del material geosintético, por el fabricante o según instrucciones del cliente.



- La resistencia mínima requerida se calcula como el 90% de la resistencia del material base.

Ensayo de Tensión al Desgarro (Peel)

5 tubos de ensayo cumplan con el valor mínimo de resistencia especificado en la especificación técnica especificada en la especificación técnica de geosintéticos, el fabricante o 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 (Trinidad, 2012).
- La longitud lineal de pelado debe ser $< 10 \%$ para el HDPE.
- La longitud lineal de pelado debe ser $< 25 \%$ para el LLDPE y sus combinaciones de Geomembrana.

Las pruebas destructivas se consideran aprobadas si cumplen con los criterios de aceptación. Si una o más tiras reactivas no cumplen con las especificaciones, la prueba se considera defectuosa.

En caso de no cumplir con los criterios de aceptación, se deberá efectuar el siguiente procedimiento (Trinidad, 2012):

- Se deberán extraer muestras adicionales del mismo tamaño a una distancia no mayor de 3 m. de la muestra sacada en ambas direcciones.
- Estas nuevas muestras deberán ser ensayadas de la misma manera que la muestra original y verificar su aceptación o rechazo.



- En caso que estas muestras sean aceptadas de acuerdo al criterio de aceptación, se reparará la unión entre estas 2 muestras mediante un cordón de soldadura por extrusión y parches en la zona de toma de muestras.
- En caso de fallar, se deberá repetir el procedimiento hasta obtener un resultado satisfactorio.

Ensayo de Elongación

El ensayo denominado Strain Test (Prueba de Deformación), permite determinar el porcentaje de deformación de la lámina de HDPE y se efectúa en forma simultánea con el ensayo de corte (Shear) de las pruebas destructivas (Huertas, 2015).

El procedimiento a seguir es el siguiente:

La velocidad del ensayo debe ser 2 Pulg/min.

- Medir y registrar la distancia de 25 mm., desde un grip (sujetador) al límite de la soldadura (medida inicial).
- Iniciar el ensayo a corte (Shear) a la velocidad iniciada y esperar a que suceda cualquiera de las siguientes situaciones:
 - Ruptura de la probeta de ensayo (testigo).
 - Elongación de la probeta hasta igualar la capacidad de desplazamiento del tensiómetro.

En el momento que se cumpla cualquiera de las condiciones descritas, se mide y registra la distancia en el lado tomado como referencia (grip-límite de soldadura), esta es la medida final (Huertas, 2015).

El porcentaje de elongación está dado por:



$$\text{Elongación} = \frac{L}{L_0} \times 100$$

Dónde:

L = Medida Final de la longitud (al final de la prueba).

Lo = Medida original de la Longitud.

Este enfoque significa que toda la extensión está solo en un lado de la soldadura, por lo que conocer la extensión en el otro lado o la soldadura en sí es irrelevante si este no es el caso. El valor resultante se registrará en un formato de prueba destructiva de calidad con un valor mínimo del 100%.

2.7.3. Reparaciones en geomembrana

Se inspeccionarán todas las costuras y áreas expuestas del sistema de revestimiento de polietileno para detectar defectos. La identificación de los defectos o las reparaciones deben ser marcadas sobre el recubrimiento con un marcador visible e indeleble (López, 2012).

Procedimiento de reparación

Según el tipo o las características de la restauración de la geomembrana, se pueden considerar los siguientes métodos.

a. Parches

Se utilizan para reparar la geomembrana base la cual presenta roturas. Estas roturas pueden ser perforaciones de cualquier tipo, desgarros, defectos de la geomembrana, presencia de material extraño, etc. Un defecto a ser reparado deberá ser previamente acondicionado esto es, redondeo de las aristas y puntas



rectas, eliminación del material extraño, relleno y/o retiro de material en exceso, interrumpir rasgaduras con agujeros, etc (Koerner, 1999).

Para la preparación del parche se recomienda especialmente lo siguiente:

- El material del parche debe tener el mismo espesor y propiedades que el material base.
- Deben ser redondos y ovalados, sin ángulos rectos ni roturas.
- El tamaño del parche debe ser de al menos 150 mm (15 cm).
- Siempre se debe raspar la interfaz entre el perímetro del parche y la restauración con una lima de cartón.
- Evitar el exceso de esmerilado a fin de no debilitar la geomembrana.
- Bajo ninguna circunstancia se debe utilizar un paño húmedo para enfriar la soldadura extruida.

b. Huinchas (Caps)

Se utilizan para reparaciones importantes en las que es necesario reemplazar una parte importante de la geomembrana de cimentación. Este es el caso cuando se reparan costuras dañadas, grandes arrugas, trampolines, etc. Por lo general, estas correas están soldadas por fusión térmica (cuña caliente) y están selladas con orejetas en los extremos.

Las huinchas deben tener al menos 600 mm (60 cm) de ancho y deben tener espacio entre los eslabones para evitar el sobrecalentamiento del material.

c. Aporte de extruido directamente sobre la geomembrana

Este tipo de reparaciones se utiliza en aquellos puntos en donde la geomembrana base ha sufrido alguna deformación provocada ya sea por un mal



almacenamiento, o presencia de objetos indeseables en la superficie de apoyo que ha dañado la geomembrana (Azañero, 2007).

Antes de repararlo, la superficie debe limpiarse con esmerilado mecánico y repararse con soldadura por extrusión directamente sobre el material

d. Verificación de reparaciones

Todas las reparaciones sin excepción deberán ser verificadas utilizando Ensayos no Destructivos.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO

El área de estudio está ubicada en la comunidad de Llanccacahua, distrito de Umachiri, Provincia de Melgar, Region Puno que abarca el Proyecto “MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA PARA EL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO LLANCCACCAHUA-SORA, EN LOS SECTORES DE LLANCCACCAHUA, TREBOL, SORA Y HUANACOMARCA, DISTRITO DE UMACHIRI, PROVINCIA DE MELGAR, REGIÓN PUNO”; se encuentra a una altitud media de 4104 a 3946 m.s.n.m.

3.1.1. Ubicación política

- Comunidad : Llanccacahua
- Micro Cuenca : Llanccacahua
- Distrito : Umachiri
- Provincia : Melgar.
- Región : Puno.

3.1.2. Ubicación geográfica

El ámbito de Proyecto de investigación se encuentra ubicada geográficamente del reservorio de agua, según el siguiente detalle:

- Región natural : Sierra (Altiplano de Puno)
- Altitud : 3946 msnm.
- Este : 305,988 a 382,872 UTM
- Norte : 8'343,628 a 8'350,261 UTM



- Cuenca : Llallimayo
- Sub cuenca : Llanccacahua
- Sistema integral hidrico : Chuquibambilla
- Región natural : Altiplano
- Ubicación hidrográfica : Titicaca

Los límites colindantes del Reservorio de agua para el Sistema de Riego por Aspersión Llanccacahua y Sora, se mencionan de acuerdo al siguiente detalle:

- Por el Este : Comité de Regantes Huanacomarca
- Por el Oeste : Distrito de Llalli
- Por el Norte : Línea de torres de alta tensión Puno-Cusco
- Por el Sur : Sector Yuraccancha-Llanccacahua

UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL

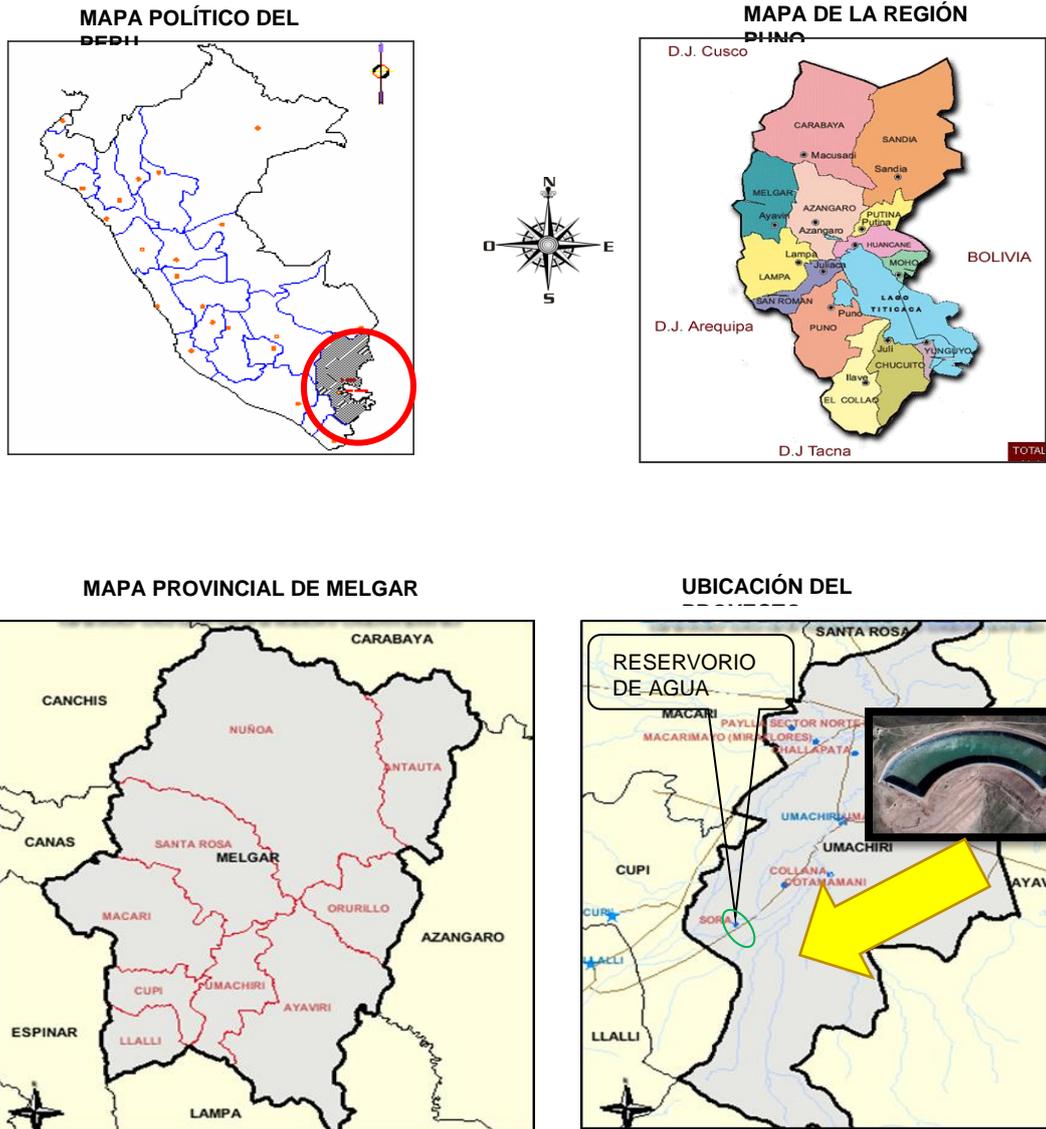


Figura 3. Ubicación de la zona de estudio

3.1.3. Accesibilidad

Desde la capital de la región se puede llegar al área del proyecto por caminos pavimentados que pasan por las localidades de Juliaca, Ayaviri, Umachiri, etc.; Consulte la tabla a continuación para conocer la disponibilidad del área del proyecto:

Tabla 1. Longitudes al área del proyecto.

N°	TRAMO	LONGITUD (Km.)	TIEMPO (min.)	TIPO DE VIA	VIA PRINCIPAL
1	Puno-Juliaca	45	45	Asfaltada	Puno – Arequipa
2	Juliaca-Ayaviri	93	90	Asfaltada	Juliaca - Cusco
3	Ayaviri-Umachiri	19	30	Afirmada	Ayaviri - Umachiri
4	Umachiri - Reservorio	18	30	Afirmada	Umachiri - Llalli

Fuente: Realizado en Base a Información de Campo 2020.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Se utilizó diferentes materiales y equipos para esta investigación de campo:

3.2.1. Materiales:

- Geomembrana HDPE e=1.5 mm.
- Papel bond A4, A3, A2.
- Memoria USB.
- Tinta de impresora (marca canon serie G2000).
- Cuaderno de anote.
- Corrector blanco.
- Computadora o laptop (marca TOSHIBA core i5)
- Plotter.
- Fotografías Digitalizadas.
- Bibliografía necesaria



3.2.2. Equipos

- Manómetro de deformación elástica
- Nanómetro
- Vacuómetro de deformación elástica
- Tensiómetro de indicación digital
- Probador de chispa – spark tester
- Vernier de indicación digital pie de rey
- Maquina Extrusora
- Maquina cuña
- Caja de vacío – vacuum test
- Inflador
- Wincha
- Cámara fotográfica
- Formatos de anote
- 01 GPS

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Hernández (2016), la presente investigación es descriptiva con enfoque cuantitativo y cualitativo, ya que la muestra de las soldaduras por fusión y extrusión se analiza por dos formas y estos análisis son mediante pruebas que conllevan a una interpretación y una descripción final. La recolección de datos de control de calidad en la soldadura es medida en campo, realizándose dos tipos de pruebas: destructivos (40 testigos mediante soldadura por cuña) y no destructivos (prueba del vacío, prueba de aire y prueba de la chispa).



3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En el presente estudio, dado que no hubo variables manipuladas, se utilizó un diseño no experimental, sino que se observó el fenómeno en un escenario natural, que luego pudo ser analizado y arrojar resultados significativos para la sociedad.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1. Población

La población para este tipo de investigación, es la superficie ocupada extendida por la geomembrana HDPE del reservorio de agua llanccacahua que está conformada por unidades en metros cuadrados y metros lineales por rollo en donde se va desarrollar las soldaduras y luego los controles de calidad que se necesiten para los ensayos a la geomembrana de acuerdo a la regla establecida.

3.5.2. Muestra

Se realizaron dos tipos de soldaduras:

A) Soldadura por fusión: se realizaron dos tipos de pruebas:

- Destructivos:

Se realizaron 30 testigos analizados en 3 muestreos.

- No destructivos

30 pruebas de aire.

B) Soldadura por extrusión:

- No destructivos

Se realizaron 60 muestras para la prueba de caja de vacío

Se realizaron 10 muestras para la prueba de chispa eléctrica

- Destructivos:

Se realizaron 60 testigos analizados en 3 muestreos.



3.6. PROCESO METODOLÓGICO

3.6.1. Fase de campo

Una vez que se completa la entrega del sitio (debido a un excelente movimiento de tierras), continuamos verificando que la geomembrana requerida esté disponible en el sitio, la encontramos en el área de almacenamiento iniciada y nos aseguramos de que esté en buenas condiciones (sanas).

3.6.1.1. Inspección

a) Inspección de la entrega de área a colocar geomembrana

Corresponde a la empresa seleccionada al efecto, la cual certificará el estado de la superficie en contacto con la geomembrana en identidad del instalador, la cual deberá estar libre de irregularidades, desniveles, vegetación, agua estancada, piedras, material suelto, superficie lisa, etc., condiciones de la superficie que pueden causar daños a la geomembrana debido a su composición. Antes de comenzar a pavimentar, el instalador, el control de calidad y el cliente confirmarán su aceptación y firmarán el formulario de aprobación del terreno (Acuerdo - JMS/REGT-001-13) sujeto a la inspección de las áreas aprobadas y aceptación de responsabilidad.

b) Inspección de la materia prima

Las propiedades de las materias primas son comprobadas por Quality Assurance 1 Quality Control (QA/QC) en base al certificado enviado por el proveedor. Verifique las propiedades de acuerdo al protocolo para esta operación (Protocolo-JMS/REGT-001-13).

c) Inspección de rollos

Luego de la recepción del material, el supervisor, proporcionó al Aseguramiento de calidad 1 Control de Calidad (QA /QC), un certificado de



Control de Calidad para cada dos rollos de Geomembrana proporcionados por el fabricante y se detallaron en los protocolos correspondientes (Protocolo - JMS/REGT-001-13).

d) Inspección de recepción y almacenamiento

Todos los materiales que llegan al sitio son recibidos por el personal de control de calidad (QC) que es responsable de documentar la recepción del material en un formato apropiado que indique el estado general del material. Al descargar el material, el control de calidad (QC) aseguró que los procedimientos de descarga estuvieran en el sitio de acuerdo con el equipo disponible y el modo de transporte del origen de la geomembrana, de modo que el área de descarga planificada no fuera perturbada (norma ISO 9000 :2000).

e) Inspección visual

Un ingeniero de control de calidad (QC) inspecciona visualmente la superficie del rollo desenrollado a menos que se sospeche de daños o defectos internos. La geomembrana se revisa en busca de agujeros, cortes, pliegues, grietas y cualquier materia extraña adherida permanentemente.

Cada rollo de geomembrana ha sido verificado para tener una etiqueta de identificación con el número y tamaño correcto al salir de fábrica. Además, cada rollo de geomembrana debe contar con dos eslingas para su manipulación. Estos arneses son parte del producto, no accesorios.

f) Despliegue de geomembranas

Una vez que la materia prima ha sido verificada y aceptada, se verificó en campo que el terreno este de acuerdo a los planos, para poder iniciar con el despliegue de los rollos (Protocolo -JMS/REGT-002-13).



La instalación de los geosintéticos fue coordinada por el jefe de producción de tierra con los instaladores y se colocó cuidando de no dañar la geomembrana. Los técnicos de control de calidad identifican cada panel marcando la siguiente información con un marcador (marcador blanco):

- N° de Panel
- N° de Rollo
- Fecha y hora de despliegue
- Temperatura ambiental
- Dimensión del panel

3.6.1.2. Ejecución

Después de colocar la geomembrana, comenzamos a soldar de acuerdo con los planos disponibles y luego comenzamos las pruebas correspondientes para cumplir con los estándares especificados. Estas pruebas son destructivas y no destructivas. Se realizan ensayos destructivos en dos tipos de soldaduras, las cuales son de alta calidad, descritas y registradas en el protocolo de control.

A continuación, se muestra el procedimiento y metodología aplicada en campo de ambas soldaduras por termofusión y extrusión, con sus respectivas pruebas Destructivas y No Destructivas.

Procedimiento de soldadura por termofusión con cuña.

- **Prueba inicial**

Al comienzo de cada día de trabajo, se realizan muestras de prueba para la máquina de soldar y los resultados de la prueba se documentan en el formato original de prueba de fusión de soldadura de geomembrana. Las muestras de prueba se prepararon en la parte inferior de la pieza de trabajo en las mismas



condiciones que para el recubrimiento de costuras. La muestra debe tener 1.2 m de largo y 0.30 m de ancho con el centro de la costura en dirección longitudinal.

- **Procedimiento**

Las áreas de superposición de los paneles se conectan por fusión térmica con una máquina autopropulsada equipada con dos rodillos, entre los cuales se instala la parte de superposición de la geomembrana de conexión.

La aplicación de temperatura se realiza antes de los rodillos a través de cuñas calefactoras que comprimen las piezas calentadas por las cuñas a medida que avanza el soldador bajo el avance de los rodillos, produciéndose dos líneas de soldadura paralelas separadas por una zona libre que forman el so. llamado "vía aérea". La temperatura y la presión de contacto de la geomembrana, así como la velocidad del tambor, están reguladas por controles independientes de la soldadora.

La elección de los parámetros de soldadura la realiza el operador en base a variables como el tipo de polímeros que componen la geomembrana y las condiciones ambientales, así como el espesor de las placas a unir.

3.6.2. Pruebas de calidad de la soldadura

a. Metodología de Pruebas Destructivas

- **Control de calidad en soldadura por fusión.**

Las pruebas destructivas de costuras de soldaduras de fusión se realizaron en tensiómetros aprobados. La muestra extraída de la costura de campo fue ensayada por el técnico del tensiómetro autorizado, él fue el responsable de la ejecución de los resultados de la prueba y registrados por el tesista para ser evaluado el Control de Calidad de los resultados.



A la muestra extraída se cortó en 10 probetas (testigos) de 1” de ancho y 6” de largo; de las cuales: las primeras 5 probetas fueron sometidas a ensayo de tracción desgarre (peel) que en este caso de probetas como es de soldadura por fusión, el ensayo se efectuará por ambos lados de la probeta denominando lado “a” y lado “b”. Las restantes 5 probetas, serán sometidas al ensayo de tracción corte (shear).

Las muestras destructivas se deberán registrar, detallando la siguiente información:

- Muestra destructiva o prueba inicial
- MD Nombre del proyecto y número
- MD Fecha en que la muestra se soldó
- MD Grosor de la membrana.
- MD Número de la muestra o de la costura
- MD Nombre del soldador
- MD Número de la máquina de soldar
- MD Temperatura de la máquina
- MD Velocidad de la máquina
- MD Temperatura ambiente

Las probetas extraídas fueron ensayadas por el técnico del tensiómetro utilizando un tensiómetro que cumpla con las especificaciones técnicas del proyecto (velocidad de ensayo: 2” /min en geomembrana de HDPE). Los criterios de aceptación de resultados de ensayos a las probetas para esfuerzo de corte son:

Tabla 2. Criterios de aceptación de destructivos.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA EL ENSAYO AL CORTE (shear)	
Tipo de rotura	Separación del plano de lamina
Inspección	Visual
Probetas	Silas 5 probetas cumplen con la resistencia mínima según norma ASTM D6392 La resistencia mínima esta definido de acuerdo a lo que indique la norma GRI GM19. La elongación deberá ser >50% durante el ensayo.
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA EL ENSAYO AL DESGARRO (Peel)	
Tipo de rotura	Separación del plano de lamina
Inspección	Visual
Probetas	Silas 5 probetas cumplen con la resistencia mínima según especificaciones y ASTM Longitud lineal de despegue debe ser <25% para HDPE y sus combinaciones de geomembrana según tipo de rotura aceptables e indicadas por la norma ASTM D6392.

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos destructivos se consideraron aprobados ya que cumplieron con los criterios mínimos de aceptación.

- **Control de calidad en soldadura por extrusion.**

Las pruebas destructivas de soldaduras por extrusión, se realizo con tensiómetros aprobados. La muestra extraída de los cordones de extrusión (parches), de campo fueron ensayadas por el técnico del tensiómetro autorizado, él fue el responsable de la ejecución de los resultados de la prueba de control de calidad de los resultados.

A la muestra extraída se cortaron 10 probetas (testigos) de 1" de ancho y 6" de largo; de los cuales: las primeras 5 probetas fueron sometidos a ensayo ensayo de tracción al desgarro. En este caso de probetas de soldadura por extrusión, este ensayo se efectuará por un solo lado de la probeta. Las restantes 5 probetas, fueron sometidas al ensayo de tracción corte.

Las probetas que se extrajeron fueron ensayadas por el técnico del tensiómetro utilizando un tensiómetro que cumpla con las especificaciones técnicas del proyecto (velocidad de ensayo: 2” /min en geomembrana de HDPE) y registrados por el tesista.

Tabla 3. Criterios de aceptación de destructivos.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA EL ENSAYO AL CORTE (shear)	
Tipo de rotura	Separación del plano de lamina
Inspección	Visual
Probetas	Silas 5 probetas cumplen con la resistencia mínima según norma ASTM D6392 La resistencia mínima está definido de acuerdo a lo que indique la norma GRI GM19. La elongación deberá ser >50% durante el ensayo.
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA EL ENSAYO AL DESGARRO (Peel)	
Tipo de rotura	Separación del plano de lamina
Inspección	Visual
Probetas	Silas 5 probetas cumplen con la resistencia mínima según especificaciones y ASTM Longitud lineal de despegue debe ser <25% para HDPE y sus combinaciones de geomembrana según tipo de rotura aceptables e indicadas por la norma ASTM D6392.

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos destructivos se consideran aprobados y si cumplen con los criterios de aceptación.

b. Metodología de Pruebas No Destructivas

Control de calidad en Costuras Soldadas por Fusión – Prueba de aire

Procedimiento de la prueba

Selle ambos extremos de la costura, luego inserte una aguja hueca puntiaguda en el espacio de aire entre las costuras de fusión. Inyecte aire en el espacio de aire conectando la manguera de goma unida al compresor al adaptador de la aguja hueca y comprimiendo el espacio de aire a 35 psi o equivalente. Las presiones a utilizar son las mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 4. Valores para prueba de aire

Espesor de lámina HDPE		Rango de Presión		Valor admisible de presión después de 5 min.
		Mínima	Máxima	
mils	mm	Psi	Psi	Psi
60	1.5	28	35	3

Fuente: Elaboración propia en base a norma ASTM D4437, ASTM D5828 Y GRI GM7.

Cerrar la válvula, la presión y se esperó 2 minutos como tiempo de relajación para que el aire alcance la temperatura ambiente del cobertor, antes de iniciar el tiempo de prueba. Se mantiene entre la presión inicial y final una diferencia de no más de 3 Psi menos que la del inicio, por el tiempo que dura la prueba que es 5 minutos.

Si la presión no se puede mantener, localizar el área defectuosa, marcarla y repararla, y probar nuevamente toda la costura observada. Finalizada la prueba se libera el aire del extremo opuesto de la costura del lugar de la prueba aplicada, verificando la salida violenta del aire comprimido, lo que demuestra la continuidad de costura y prueba.

Caso contrario demuestra la existencia de una obstrucción del canal en alguna parte de la soldadura. Se procederá, en este caso, a eliminar todo el cordón de soldadura ó segmentar en intervalos sucesivos. Y a cada intervalo se le aplicara una prueba independiente, hasta encontrar la fuga.

La información que se deberá registrar al pie de la obra, será la siguiente:

Tabla 5. Ejemplo práctico de datos de prueba de aire

DATOS DE LA COSTURA	
N° de Prueba	10
Ubicación	1.5
Fecha soldadura	P-1/P-2
Técnico soldador	
DATOS DE LA PRUEBA DE AIRE	
PSI	HORA
35	10:20
34	10:25
AT	PASA

Fuente: Elaboración propia.

Control de calidad en soldadura por extrusión - Prueba de Caja de Vacío (Vacum test)

Procedimiento de la Prueba

- Prepare una solución de agua y una solución de jabón líquido que forme espuma.
- Humedad aprox. Costuras de 0.90 m con solución de espuma.
- Comprimir la caja de vacío sobre el área humedecida.
- La activación de la bomba de vacío crea una presión negativa dentro de la caja y se formará un sello alrededor del borde inferior de la caja de vacío.
- Examinar la costura, verificando que no se generen burbujas, movidas por el aire a través de la soldadura por el tiempo suficientemente necesario de aseguramiento de no existencia de falla de soldadura (10-15 segundos aproximadamente).
- Si no se detectan los agujeros, libere el vacío y pase a la siguiente parte de la costura, manteniendo al menos 0,15 cm de superposición con el área inspeccionada anteriormente.



- Si se detectan orificios, deberán ser ubicados, marcados, registrados, reparados y, luego, probados nuevamente.
- La información que se deberá registrar al pie de la obra, será la siguiente:

Prueba de Vacío (VT) / OK

Fecha / OPERADOR CC (OP, iniciales)

Control de calidad en soldadura por extrusión - Prueba de Chispa eléctrica (Spark test)

Procedimiento de la Prueba

La prueba de chispa eléctrica se ejecutará sobre todas las soldaduras de extrusión que lleven alambre de cobre.

Básicamente, este ensayo está orientado a ser efectuado en lugares de difícil accesibilidad por parte de caja de vacío. No obstante, lo anterior, su campo de trabajo determinado a materiales.

El equipo consta de una fuente de 35 KV y escobilla metálica. Una vez colocado el alambre de cobre entre la unión de las dos láminas de geomembrana la cual fue soldada por extrusión, se aplica una diferencia de potencial entre 20 a 35 KV sobre dicho cordón. En caso de que la soldadura se encuentre defectuosa (existencia de poros profundos, mala adherencia, sectores delgados), se producirá un cortocircuito entre la punta del equipo (escobilla sólida) y el alambre de cobre, generando una chispa eléctrica que será visible al inspector. Adicionalmente, y producto del corto circuito, se oirá un ruido (chasquido).

El técnico de control de calidad deberá revisar el sector defectuoso y será marcado para su reparación. La reparación consiste en esmerilar la zona



defectuosa sobre el cordón y luego colocar un nuevo cordón de extrusión sobre el existente. Este procedimiento se aplicará por única vez, en caso de mantenerse la falla del mismo sector, se deberá reemplazar el cordón o parche. No se permitirá efectuar varias soldaduras una sobre otra. Si la magnitud de la falla es importante, se recomienda levantar el cordón defectuoso y volver a soldar. Los resultados se registran en el formato establecido en el plan de calidad.

Se debe tener la precaución de que, al momento de colocar el alambre de cobre, este quede exactamente en la unión entre las dos geomembranas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIDAD DE SOLDADURA POR FUSIÓN DE LA GEOMEMBRANA HDPE E=1.5 MM MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS POR DESGARRO (PEEL) Y CORTE (SHEAR) EN EL SECTOR DE LLANCCACCAHUA MELGAR-PUNO.

Tabla 6. Calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacchahua Melgar-Puno (primera muestra)

Muestreo 1	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Máxima tracción (lb/pulg) lado a	Máxima tracción (lb/pulg) lado b	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
1	142	154	169	100
2	141	137	187	100
3	123	131	160	100
4	147	139	182	100
5	118	149	182	100
6	170	150	171	100
7	153	136	167	100
8	135	141	172	100
9	126	137	182	100
10	152	139	178	100
Mínimo	118	131	160	100
Máximo	170	150	187	100
Media	140.70	141.30	175.00	100.00
D.E.	15.83	7.29	8.50	0.00

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura de cuña: 450 °C, Velocidad de avance: 5.0 m/min

En la Tabla 6, se muestra los resultados de la calidad de soldadura de fusión de geomembrana HDPE en el primer muestreo, para el ensayo de desgarro (Peel) la máxima tracción en el lado a tuvo un valor mínimo de 118 y máximo de 170 lb/pulg, con una media de 140.70 y desviación estándar de 15.83 lb/pulg, del mismo modo en el lado b se obtuvo un mínimo de 131 y máximo de 150 lb/pulg, con media de 141.30 y desviación estándar de 7 lb/pulg, Considerando que el valor crítico es de 91 lb/pulg, se determinó

que todas las muestras para este primer muestreo presentaron valores por encima del mismo, por lo que la totalidad de muestras pasaron el control de calidad.

Para el ensayo de corte (Shear) para la prueba de máxima tracción se tiene un valor mínimo de 160 y máximo de 187 lb/pulg, con media de 175 y desviación estándar de 8.50 lb/pulg, mientras que para el porcentaje de tensión (Strain) todas las muestras presentaron un 100%. Considerando que el valor límite es de 120 lb/pulg, se determinó que todas las muestras de este primer muestreo pasaron la prueba de control de calidad.

Como lo indica Valencia García (2010), la utilización de la geomembrana de polietileno de alta densidad resultó ser una opción técnica y económica para proyectos de contención de líquidos, lo cual queda comprobado con los resultados de la calidad de las soldaduras, puesto que se demuestra la idoneidad de este material en el proyecto de reservorio desarrollado.

Tabla 7. Calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacchua Melgar-Puno (segunda muestra)

Muestreo 2	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Máxima tracción (lb/pulg) lado a	Máxima tracción (lb/pulg) lado b	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
1	125	149	167	100
2	135	132	166	100
3	124	135	168	100
4	131	131	156	100
5	132	138	166	100
6	153	132	172	100
7	128	140	182	100
8	134	129	167	100
9	121	128	134	100
10	137	111	132	100
Mínimo	121	111	132	100
Máximo	153	140	182	100
Media	132.00	132.50	161.00	100.00
D.E.	9.01	9.79	16.08	0.00

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura de cuña: 450 °C, Velocidad de avance: 5.0 m/min



En la Tabla 7, se muestra los resultados de la calidad de soldadura de fusión de geomembrana HDPE en el segundo muestreo, para el ensayo de desgarro (Peel) la máxima tracción en el lado a tuvo un valor mínimo de 121 y máximo de 153 lb/pulg, con una media de 132.00 y desviación estándar de 9.01 lb/pulg, del mismo modo en el lado b se obtuvo un mínimo de 111 y máximo de 140 lb/pulg, con media de 132.5 y desviación estándar de 9.79 lb/pulg, Considerando que el valor crítico es de 91 lb/pulg, se determinó que todas las muestras para este segundo muestreo presentaron valores por encima del mismo, por lo que la totalidad de muestras pasaron el control de calidad.

Para el ensayo de corte (Shear) para la prueba de máxima tracción se tiene un valor mínimo de 132 y máximo de 182 lb/pulg, con media de 161.00 y desviación estándar de 16.08 lb/pulg, mientras que para el porcentaje de tensión (Strain) todas las muestras presentaron un 100%. Considerando que el valor límite es de 120 lb/pulg, se determinó que todas las muestras de este segundo muestreo pasaron la prueba de control de calidad.

Así también Quino Ordoñez (2006), señala que el uso de los geosintéticos en la construcción específica de reservorios, es una opción técnica viable, es así que los resultados del presente estudio corroboran lo señalado, al demostrar que la soldadura de la geomembrana muestra la calidad requerida para la contención de líquidos, como es el caso del reservorio de Llanccacahua.

Tabla 8. Calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacchua Melgar-Puno (tercera muestra)

Muestra 3	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Máxima tracción (lb/pulg) lado a	Máxima tracción (lb/pulg) lado b	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
1	132	122	136	100
2	134	145	156	100
3	138	134	156	100
4	119	145	152	100
5	133	135	162	100
6	127	131	160	100
7	131	128	135	100
8	127	134	154	100
9	124	140	141	100
10	121	114	160	100
Mínimo	119	114	135	100
Máximo	138	145	162	100
Media	128.60	132.80	151.20	100.00
D.E.	6.06	9.74	10.13	0.00

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura de cuña: 450 °C, Velocidad de avance: 5.0 m/min

En la Tabla 8, se muestra los resultados de la calidad de soldadura de fusión de geomembrana HDPE en el tercer muestreo, para el ensayo de desgarro (Peel) la máxima tracción en el lado a tuvo un valor mínimo de 119 y máximo de 138 lb/pulg, con una media de 128.60 y desviación estándar de 6.06 lb/pulg, del mismo modo en el lado b se obtuvo un mínimo de 114 y máximo de 145 lb/pulg, con media de 132.80 y desviación estándar de 9.74 lb/pulg, Considerando que el valor crítico es de 91 lb/pulg, se determinó que todas las muestras para este tercer muestreo presentaron valores por encima del mismo, por lo que la totalidad de muestras pasaron el control de calidad.

Para el ensayo de corte (Shear) para la prueba de máxima tracción se tiene un valor mínimo de 135 y máximo de 162 lb/pulg, con media de 151.20 y desviación estándar de 10.13 lb/pulg, mientras que para el porcentaje de tensión (Strain) todas las muestras presentaron un 100%. Considerando que el valor límite es de 120 lb/pulg, se determinó que todas las muestras de este tercer muestreo pasaron la prueba de control de calidad.

Al respecto Medina Rojas (2018), señala que la gestión de calidad debe incorporar ensayos específicos para el montaje de geomembranas en todas las etapas del proyecto, pero con particular énfasis en el momento de instalación de la misma, lo cual se realizó en el presente estudio donde reportamos que en el proceso de soldadura de uniones se presenta una calidad adecuada para el reservorio.

Tabla 9. Resumen de calidad de soldadura de fusión o cuña caliente para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno

Muestra	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Máxima tracción (lb/pulg) lado a	Máxima tracción (lb/pulg) lado b	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
Primer muestreo	140.7	141.3	175	100
Segundo muestreo	132	132.5	161	100
Tercer muestreo	128.6	132.8	151.2	100
Media	133.77	135.53	162.4	100

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura de cuña: 450 °C, Velocidad de avance: 5.0 m/min

En la Tabla 9, se muestra el resumen de los resultados de los tres muestreos realizados, en general se obtuvo para el ensayo de desgarro una máxima tracción en el lado a una media de 133.77 lb/pulg, así mismo en el lado b la media fue 135.53 lb/pulg. Para el ensayo de corte se obtuvo una máxima tracción de 162.4 lb/pulg como media y todas las muestras presentaron un 100% de tensión (strain).

De los resultados en general, se obtuvo que superan el valor crítico que es de 91 lb/pulg, por tanto, pasaron satisfactoriamente el control de calidad, es decir la soldadura de la geomembrana HDPE presenta la calidad exigida en la obra del sector de Llanccacahua Melgar-Puno.

Al respecto Villasante Huahuacondori (2014), indica que la soldadura de uniones de geomembranas es un punto crítico dentro de la calidad de un proyecto, enfatiza que la temperatura y velocidad de avance inciden en la calidad de la soldadura, lo que se traduce

en mejores valores de resistencia mecánica y sin presencia de peladura en la unión soldada, los resultados del estudio corroboran este aspecto, puesto que se utilizó los parámetros señalados según la norma técnica, con lo que se obtuvo resultados óptimos de calidad.

4.2. CALIDAD DE SOLDADURA POR EXTRUSION DE LA GEOMEMBRANA HDPE E=1.5 MM MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS SOMETIDOS AL DESGARRO Y CORTE EN EL RESERVORIO DE AGUA EN EL SECTOR DE LLANCCACCAHUA MELGAR-PUNO.

Tabla 10. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacchua Melgar-Puno (primer muestreo)

Primer muestreo	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Muestra	Máxima tracción (lb/pulg)	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
	1	126	147	100
	2	116	161	100
	3	120	155	100
	4	104	166	100
	5	127	164	100
	6	113	162	100
	7	123	136	100
	8	112	142	100
	9	118	136	100
	10	130	177	100
	11	142	158	100
	12	134	159	100
	13	128	166	100
	14	109	163	100
	15	126	163	100
	16	133	154	100
	17	129	167	100
	18	141	161	100
	19	138	150	100
	20	122	145	100
	Mínimo	104	136	100
	Máximo	142	177	100
	Media	124.55	156.60	100.00
	D.E.	10.49	10.89	0.00

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura extrusora: 240/260 °C

En la Tabla 10, se exponen los resultados de la calidad de soldadura por extrusión de la geomembrana HDPE, para el ensayo de desgarro Peel se obtuvo la medida de la



máxima tracción, un valor mínimo de 104 y máximo de 142 lb/pulg, con una media de 124.55 lb/pulg, con una desviación estándar de 10.49 lb/pulg. Para el ensayo de corte (Shear) al someterla a la máxima tracción, se obtuvo un valor mínimo de 136 y máximo de 177 lb/pulg, con una media de 156.60 y desviación estándar de 10.89 lb/pulg, mientras que el porcentaje de tensión fue del 100% para todas las muestras este primer muestreo.

Como los valores obtenidos para el ensayo de desgarro (Peel), son mayores al valor recomendado de 78 lb/pulg, se establece que la geomembrana instalada en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, según resultados del primer muestreo, tienen la calidad recomendada para la misma. Del mismo modo para el ensayo de corte (Shear) todos los análisis son mayores al valor de referencia de 120 lb/pulg, se establece que la misma presenta la calidad requerida para la obra ejecutada.

Al respecto Ugarte Lopez (2016), señala que para las soldaduras por extrusión de geomembrana HDPE, se reporta que en ninguna de las muestras existe presencia de fugas, dando como resultado en cada prueba 0% de falla, estos resultados fueron similares a los del presente estudio, donde hallamos que todas las muestras presentaron la calidad requerida según norma técnica.

Tabla 11. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacchua Melgar-Puno (segundo muestreo)

Segundo muestreo	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Muestra	Máxima tracción (lb/pulg)	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
	1	139	147	100
	2	136	168	100
	3	140	165	100
	4	140	160	100
	5	121	163	100
	6	134	166	100
	7	134	167	100
	8	144	179	100
	9	118	176	100
	10	117	186	100
	11	140	178	100
	12	113	187	100
	13	120	144	100
	14	127	165	100
	15	116	163	100
	16	123	161	100
	17	138	162	100
	18	143	178	100
	19	132	159	100
	20	146	156	100
	Mínimo	113	144	100
	Máximo	146	187	100
	Media	131.05	166.50	100.00
	D.E.	10.64	11.45	0.00

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura extrusora: 240/260 °C

En la Tabla 11, se exponen los resultados de la calidad de soldadura por extrusión de la geomembrana HDPE, para el ensayo de desgarro Peel se obtuvo la medida de la máxima tracción, un valor mínimo de 113 y máximo de 146 lb/pulg, con una media de 131.05 lb/pulg, con una desviación estándar de 10.64 lb/pulg. Para el ensayo de corte (Shear) al someterla a la máxima tracción, se obtuvo un valor mínimo de 144 y máximo de 187 lb/pulg, con una media de 166.50 y desviación estándar de 11.45 lb/pulg, mientras que el porcentaje de tensión fue del 100% para todas las muestras este segundo muestreo.

Como los valores obtenidos para el ensayo de desgarro (Peel), son mayores al valor recomendado de 78 lb/pulg, se establece que la geomembrana instalada en el sector de Llanccacchua Melgar-Puno, según resultados del segundo muestreo, tienen la calidad

recomendada para la misma. Del mismo modo para el ensayo de corte (Shear) todos los análisis son mayores al valor de referencia de 120 lb/pulg, se establece que la misma presenta la calidad requerida para la obra ejecutada.

Ugarte Lopez (2016), indican como sus resultados que para las soldaduras por extrusión de geomembrana HDPE, se reporta que en ninguna de las muestras existe presencia de fugas de líquido, demostrando una eficiencia del 100% de muestras para la contención, cuyos resultados se corresponden también para el presente estudio.

Tabla 12. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno (tercer muestreo)

Tercer muestreo	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Muestra	Máxima tracción (lb/pulg)	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
	1	127	158	100
	2	112	161	100
	3	132	151	100
	4	125	157	100
	5	126	168	100
	6	130	165	100
	7	119	164	100
	8	107	167	100
	9	126	143	100
	10	141	146	100
	11	139	150	100
	12	121	170	100
	13	128	164	100
	14	120	167	100
	15	104	163	100
	16	127	164	100
	17	113	162	100
	18	126	149	100
	19	121	142	100
	20	120	153	100
	Mínimo	104	142	100
	Máximo	141	170	100
	Media	123.20	158.20	100.00
	D.E.	9.40	8.76	0.00

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura extrusora: 240/260 °C

En la Tabla 12, se exponen los resultados de la calidad de soldadura por extrusión de la geomembrana HDPE, para el ensayo de desgarro Peel se obtuvo la medida de la máxima tracción, un valor mínimo de 104 y máximo de 141 lb/pulg, con una media de

123.20 lb/pulg, con una desviación estándar de 9.40 lb/pulg. Para el ensayo de corte (Shear) al someterla a la máxima tracción, se obtuvo un valor mínimo de 142 y máximo de 170 lb/pulg, con una media de 158.20 y desviación estándar de 8.76 lb/pulg, mientras que el porcentaje de tensión fue del 100% para todas las muestras este tercer muestreo.

Como los valores obtenidos para el ensayo de desgarro (Peel), son mayores al valor recomendado de 78 lb/pulg, se establece que la geomembrana instalada en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, según resultados del tercer muestreo, tienen la calidad recomendada para la misma. Del mismo modo para el ensayo de corte (Shear) todos los análisis son mayores al valor de referencia de 120 lb/pulg, se establece que la misma presenta la calidad requerida para la obra ejecutada.

Respecto a este punto Merino Salazar (2014) indica que la prueba inicial de soldadura por extrusión en geomembrana, concluye que la utilización de estos protocolos, permiten verificar el cumplimiento de los parámetros del aseguramiento de la calidad en la construcción usando polietileno de alta densidad, lo cual es también concordante con los resultados del presente estudio, al obtener que la totalidad de las muestras la calidad aceptable en su instalación.

Tabla 13. Resumen calidad de soldadura por extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), sector de Llanccacahua Melgar-Puno

Muestra	Ensayo de desgarro (Peel)		Ensayo de corte (Shear)	
	Máxima tracción (lb/pulg)	Máxima tracción (lb/pulg)	Máxima tracción (lb/pulg)	% Tensión (Strain)
Primer muestreo	124.55	156.6	156.6	100
Segundo muestreo	131.05	166.5	166.5	100
Tercer muestreo	123.2	158.2	158.2	100
Media	126.27	160.43	160.43	100.00

Temperatura ambiente: 13 °C, Temperatura extrusora: 240/260 °C



En la Tabla 13, se muestran los resultados de la calidad de soldadura por extrusión para la geomembrana HDPE, para el ensayo de desgarro (Peel) se obtuvo de las mediciones de máxima tracción una media de 126.27 lb/pulg, Para el ensayo de corte (Shear) se obtuvo para la máxima tracción una media de 160.43 lb/pulg, mientras que el porcentaje de tensión fue del 100% para todos los muestreos.

Se establece que en los tres muestreos se obtuvo que en el ensayo de desgarro (Peel) son mayores al límite establecido de 78 lb/pulg, así como para el ensayo de corte (Shear) también los valores superaron el límite de 120 lb/pulg, por tanto, presentan la calidad requerida para este tipo de obra.

Como lo indica Merino Salazar (2014) la prueba inicial de soldadura por extrusión en geomembrana presentó la calidad requerida para la contención de líquidos en una empresa minera, esta conclusión es también confirmada por los resultados del presente estudio donde reportamos un 100% de muestras que pasaron el control de calidad.

4.3. CONTROL DE LA SOLDADURA POR EXTRUSIÓN MEDIANTE LA CAJA DE VACIO (VACUM TEST) Y CHISPA ELÉCTRICA (SPARK TEST).

Tabla 14. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), por prueba de caja de vacío (Vacuum test), sector de Llanccacahua Melgar-Puno

Muestras	Prueba de caja de vacío (Vacuum test)			
	Pasa		Falla	
	N	%	N	%
60	60	100.00	0	0.00

Temperatura extrusora: 240/260 °C

En la Tabla 14, se exponen los resultados de evaluación de la calidad de la soldadura por extrusión para la prueba de caja de vacío (Vacuum test), todas las muestras

pasaron el control, por lo que se establece que la instalación de la geomembrana HDPE cumple con la calidad requerida para este tipo de obra.

Tabla 15. Calidad de soldadura de extrusión para geomembrana HDPE (1.5 mm), por prueba de caja de chispa (Spark test), sector de Llanccacahua Melgar-Puno

Muestras	Prueba de chispa (Spark test)			
	Pasa		Falla	
	N	%	N	%
10	10	100.00	0	0.00

Temperatura extrusora: 240/260 °C

En la Tabla 15, se exponen los resultados de evaluación de la calidad de la soldadura por extrusión para la prueba de caja de chispa (Spark test), todas las muestras pasaron el control, por lo que se establece que la instalación de la geomembrana HDPE cumple con la calidad requerida para este tipo de obra.

Al respecto Godoy Barbieri (2011) indican que la utilización de geotextiles disminuye en gran medida los parámetros de resistencia al corte en la base del depósito, esto corrobora los resultados puesto que se demostró que en las soldaduras no se produjo ninguna pérdida de presión en la prueba de caja de vacío.

También Ugarte López (2016) indica que al realizar las pruebas de vacuum test a los diferentes cordones de los ensayos, se observa que en ninguna de ellas hay presencia de fugas, esto también se obtuvo para la totalidad de muestras en el presente estudio, tanto para la prueba de vacío como para la prueba de chispa (Spark test).



4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

a. Prueba de hipótesis para primer objetivo

Planteamiento

Ha: La soldadura de geomembrana HDPE e=1.5 mm mediante ensayos de fusión o cuña caliente en el sector de Llanccacchua Melgar-Puno, cumple con el estándar de calidad de instalación.

Ho: La soldadura de geomembrana HDPE e=1.5 mm mediante ensayos de fusión o cuña caliente en el sector de Llanccacchua Melgar-Puno, no cumple con el estándar de calidad de instalación.

Nivel de significancia

Se trabajó con el nivel de 95% de confiabilidad ($\alpha = 0.05$).

Estadística de prueba

T de Student para una muestra: esta prueba permite comparar si una muestra presenta una media diferente a un valor establecido (limite permisible). La fórmula de cálculo es:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S / \sqrt{n}}$$

Donde:

\bar{X} = Media muestral

μ_0 = Limite permisible

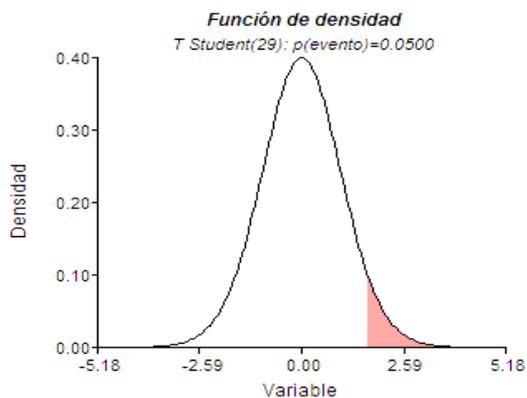
S= Desviación estándar corregida

N= Tamaño muestral

Cálculo del valor estadístico

Estadísticos	Valor
Diferencia	42.767
t (Valor observado)	19.711
t (Valor crítico)	1.699
GL	29
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Decisión



Como el valor calculado de T de Student 19.711 es mayor que el valor tabular 1.699, con una confiabilidad del 95% ($\alpha = 0.05$), se acepta la hipótesis alterna (H_a), es decir: La soldadura de geomembrana HDPE e=1.5 mm mediante ensayos de fusión o cuña caliente en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, cumple con el estándar de calidad de instalación.



b. Prueba de hipótesis para segundo objetivo

Planteamiento

Ha: La soldadura de la geomembrana HDPE e=1.5 mm mediante ensayos de extrusión en el reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, cumple con el estándar de calidad de instalación.

Ho: La soldadura de la geomembrana HDPE e=1.5 mm mediante ensayos de extrusión en el reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, no cumple con el estándar de calidad de instalación.

Nivel de significancia

Se trabajó con el nivel de 95% de confiabilidad ($\alpha = 0.05$).

Estadística de prueba

T de Student para una muestra: esta prueba permite comparar si una muestra presenta una media diferente a un valor establecido (limite permisible). La fórmula de cálculo es:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S / \sqrt{n}}$$

Donde:

\bar{X} = Media muestral

μ_0 = Limite permisible

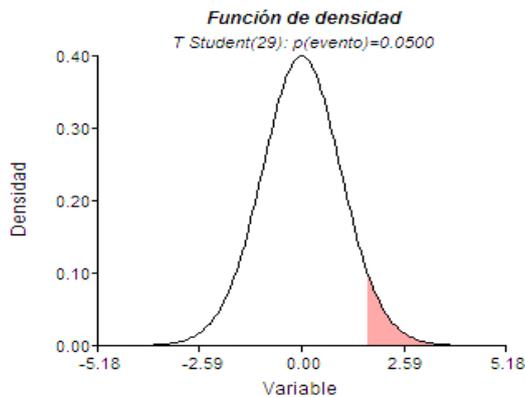
S= Desviación estándar corregida

N= Tamaño muestral

Cálculo del valor estadístico

Estadísticos	Valor
Diferencia	84.400
t (Valor observado)	30.271
t (Valor crítico)	1.699
GL	29
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Decisión



Como el valor calculado de T de Student 30.271 es mayor que el valor tabular 1.699, con una confiabilidad del 95% ($\alpha = 0.05$), se acepta la hipótesis alterna (H_a), es decir: La soldadura de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos de extrusión en el reservorio de agua en el sector de Llanccacahua Melgar-Puno, cumple con el estándar de calidad de instalación.

c. Prueba de hipótesis para tercer objetivo

Planteamiento

H_a : La soldadura por extrusión mediante el Spark test y caja de vacío, cumple con el estándar de calidad de instalación.



Ho: La soldadura por extrusión mediante el Spark test y caja de vacío, no cumple con el estándar de calidad de instalación.

Nivel de significancia

Se trabajó con el nivel de 95% de confiabilidad ($\alpha = 0.05$).

Estadística de prueba

T de Student para una muestra: esta prueba permite comparar si una muestra presenta una media diferente a un valor establecido (límite permisible). La fórmula de cálculo es:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S / \sqrt{n}}$$

Donde:

\bar{X} = Media muestral

μ_0 = Límite permisible

S = Desviación estándar corregida

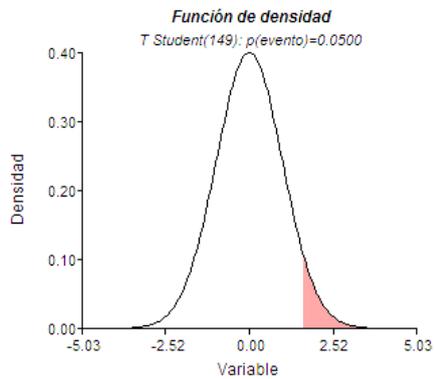
N = Tamaño muestral

Cálculo del valor estadístico

Estadísticos	Valor
Diferencia	4.940
t (Valor observado)	228.349
t (Valor crítico)	1.655
GL	149
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Nota: se consideró 30 como valor de comparación

Decisión



Como el valor calculado de T de Student 228.349 es mayor que el valor tabular 1.655, con una confiabilidad del 95% ($\alpha = 0.05$), se acepta la hipótesis alterna (H_a), es decir: La soldadura por extrusión mediante el Spark test y caja de vacío, cumple con el estándar de calidad de instalación.



V. CONCLUSIONES

- Se determinó que la soldadura por fusión de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos destructivos en el reservorio de agua del sector de Llanccacahua Melgar, presenta la calidad requerida con una media de máxima tracción en el lado de 133.77 lb/pulg y en el lado **b** de 135.53 lb/pulg para el ensayo de desgarro (Peel) y de 162.4 lb/pulg de máxima tracción con 100% de tensión para el ensayo de corte (Shear).
- Se determinó que la soldadura por extrusión de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm mediante ensayos destructivos en el reservorio de agua del sector de Llanccacahua, presenta la calidad requerida con una máxima tracción media de 126.27 lb/pulg para el ensayo de desgarro (Peel) y máxima tracción media de 160.43 lb/pulg y 100% de tensión para el ensayo de corte (Shear).
- Se determinó que para el control de la soldadura por extrusión mediante caja de vacío (Vacuum test), se obtuvo un 100% de muestras que pasaron este control y para la prueba de chispa (Spark test) también el 100% de muestrearon pasaron este control, demostrando que presentan la calidad requerida para el reservorio de agua para riego.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios posteriores, para verificar si la calidad de las soldaduras de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm, se mantienen en el reservorio del sector de Llanccacahua.
- Ejecutar estudios experimentales de soldadura de geomembrana HDPE $e=1.5$ mm, a diferentes temperaturas ambientales y de soldadura, para buscar un óptimo proceso de soldadura.
- Evitar realizar la soldadura de la geomembrana HDPE $e=1.5$ mm en condiciones de lluvia, por el riesgo de realizar uniones deficientes y provocar la quemadura de la resistencia de la cuña.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azañero, V. (2007). *Aplicación de geomembranas en pozas de almacenamiento de Agua*. Lima.
- Alfaro, R., & Espinoza, A. (2021). *Caracterización geotécnica de suelos mediante ensayos de laboratorio*. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Alfaro, R. (2016) *Aplicación de geocompuestos para el drenaje de obras de infraestructura vial y afines*.
- Bustillo Revuelta, M., & Bustillo Revuelta, M. (2021). Geosynthetics. *Construction Materials: Geology, Production and Applications*, 503-537.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4_17
- Chancasanampa Pacheco, P. (2013). *Diseño y aplicación de geotextiles y geomembranas en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Godoy Barbieri, C. A. (2011). *Estudio experimental de punzonamiento en geomembranas en interfaces de depósitos de minerales*. Universidad de Chile.
- Huertas, J. (2015). *Procedimiento constructivo y control de calidad para la instalación de geomembrana en plataformas de lixiviación - Proyecto lagunas norte fase 5*. Editorial, UNI.
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with geosynthetics (Vol. 796)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall.



- Koerner, R. (1999). *Diseño con Geosintéticos*. 4 ed. Editorial Prentice Hall. Perú. 122 p. Fecha de consulta 11/08/14. En línea. Consultado en <http://www.umag.cl/Geosintéticos/2010.pdf>.
- Lavoie, F. L., Kobelnik, M., Valentin, C. A., & Silva, J. L. D. (2020). Durability of HDPE geomembranes: An overview. *Química Nova*, 43, 656-667. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170540>
- Llanos, E. J., & Llanos, N. A. (2019). *Resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE* (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/21770>
- López, F. (2012). *Especificaciones de construcción con geosintéticos*. 2 ed. Costos de calidad. Fecha de Consulta C/03 1 07114. Documento en línea. Disponible en: http://www.monografias.com/trabajos_75/costos-calidadcalidad-gestion/costos-calidad-calidad-gestion2.shtml.
- Medina Rojas, J. A. (2018). *Plan de aseguramiento y control de calidad para geosintéticos aplicado al sector minero*. Universidad Nacional de San Agustín.
- Mentzer, CV. (2005). *Análisis global en la construcción con polietileno de alta densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería*. España. Valencia 112. p. Fecha de consulta 11/08/14. En línea. Consultado en <http://www.umag.clliblioteca/tesis/españa.mentzer.pdf>
- Merino Salazar, J. L. (2014). *Aseguramiento de la calidad en la construcción usando polietileno de alta densidad (HDPE)*. Universidad Nacional de Cajamarca.



- Müller, W. W., & Saathoff, F. (2015). Geosynthetics in geoenvironmental engineering. *Science and technology of advanced materials*.
<https://doi.org/10.1088/1468-6996/16/3/034605>
- Parra Piedrahita, N. del P. (2012). *Aspectos geotécnicos para evaluar el comportamiento de la IV etapa del relleno sanitario bordo poniente*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Quino Ordoñez, M. (2006). *Impermeabilización de reservorios de agua con geomembranas*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Real Academia Española. (s. f.). Definición de calidad - Diccionario. Recuperado 22 de octubre de 2020, de <https://dpej.rae.es/lema/calidad>
- Saldaña, D. (2017). *Diseño del revestimiento de un canal con geomembranas*. Consultado el 7 de abril de 2019, de <https://es.scribd.com/document/357533646/Proyecto-de-Tesis>.
- Silva, C. A. da, & Palmeira, E. M. (2015). Performance comparison of conventional biplanar and low-cost alternative geocomposites for drainage. *Geosynthetics International*, 20(3), 226–237. <https://doi.org/10.1680/GEIN.13.00013>
- Shukla, S. K. (2017). *An introduction to geosynthetic engineering*. CRC Press.
- Somiah, M. K., Brobbey, D., Danso, F. O., Honu, W. S., & Cudjoe, F. (2022). An assessment of the extent of application of geosynthetics to civil infrastructure projects in Ghana. *JGEESI*, 26(10), 38-48.
<https://doi.org/10.9734/JGEESI/2022/v26i10637>



- Trinidad, A. (2012). *Recubrimiento de Bordos de Captación de Agua con Geomembranas Plásticas para Minimizar las Perdidas por Infiltración, Saltillo, Coahuila.*
- Ugarte Lopez, E. A. (2016). Efecto del calibre del alambre de cobre temperatura de extruido en los parámetros que indican la calidad de la soldadura por extrusión de geomembrana HDPE. Universidad Nacional de Trujillo.
- Valencia Garcia, M. (2010). Análisis Global de una Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de Ingeniería en Magallanes. Universidad de Magallanes.
- Valencia, GM. (2011). Construcción de pozas con Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería. Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile 15. p. Fecha de consulta 11/08/14. En línea. Consultado en <http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/2010.pdf>.
- Huahuacandori Villasante, F. (2014). *Evaluar las propiedades mecánicas y el deterioro de la microestructura de las uniones soldadas por termofusión (cuña caliente) a diferente temperatura y velocidad de avance en Láminas de Geomembrana HDPE de 2.0 mm.* (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2930>.
- van Santvoort, G. P. T. M. (2017). Geosynthetics in civil engineering. *Geosynthetics in Civil Engineering*, 1–105. <https://doi.org/10.1201/9780203753378>



Zuñiga Rivas, J. J. (2011). *Impermeabilización de Reservorios de agua con geomembranas, Control de calidad para la instalación de geotextil, geomembrana y tubería HDPE*. Universidad Nacional de Ingeniería.



ANEXOS



Anexo 1. Matriz básica de datos de ensayo destructivos

N	Tipo Ensayo	a	b	a	b
1	Fusión	142	154	169	100
2	Fusión	141	137	187	100
3	Fusión	123	131	160	100
4	Fusión	147	139	182	100
5	Fusión	118	149	182	100
6	Fusión	170	150	171	100
7	Fusión	153	136	167	100
8	Fusión	135	141	172	100
9	Fusión	126	137	182	100
10	Fusión	152	139	178	100
11	Fusión	125	149	167	100
12	Fusión	135	132	166	100
13	Fusión	124	135	168	100
14	Fusión	131	131	156	100
15	Fusión	132	138	166	100
16	Fusión	153	132	172	100
17	Fusión	128	140	182	100
18	Fusión	134	129	167	100
19	Fusión	121	128	134	100
20	Fusión	137	111	132	100
21	Fusión	132	122	136	100
22	Fusión	134	145	156	100
23	Fusión	138	134	156	100
24	Fusión	119	145	152	100
25	Fusión	133	135	162	100
26	Fusión	127	131	160	100
27	Fusión	131	128	135	100
28	Fusión	127	134	154	100
29	Fusión	124	140	141	100
30	Fusión	121	114	160	100



N°	Tipo ensayo	a	b	c
1	Extrusión	126	147	100
2	Extrusión	116	161	100
3	Extrusión	120	155	100
4	Extrusión	104	166	100
5	Extrusión	127	164	100
6	Extrusión	113	162	100
7	Extrusión	123	136	100
8	Extrusión	112	142	100
9	Extrusión	118	136	100
10	Extrusión	130	177	100
11	Extrusión	142	158	100
12	Extrusión	134	159	100
13	Extrusión	128	166	100
14	Extrusión	109	163	100
15	Extrusión	126	163	100
16	Extrusión	133	154	100
17	Extrusión	129	167	100
18	Extrusión	141	161	100
19	Extrusión	138	150	100
20	Extrusión	122	145	100
21	Extrusión	139	147	100
22	Extrusión	136	168	100
23	Extrusión	140	165	100
24	Extrusión	140	160	100
25	Extrusión	121	163	100
26	Extrusión	134	166	100
27	Extrusión	134	167	100
28	Extrusión	144	179	100
29	Extrusión	118	176	100
30	Extrusión	117	186	100
31	Extrusión	140	178	100
32	Extrusión	113	187	100
33	Extrusión	120	144	100
34	Extrusión	127	165	100
35	Extrusión	116	163	100
36	Extrusión	123	161	100
37	Extrusión	138	162	100
38	Extrusión	143	178	100
39	Extrusión	132	159	100
40	Extrusión	146	156	100
41	Extrusión	127	158	100
42	Extrusión	112	161	100
43	Extrusión	132	151	100
44	Extrusión	125	157	100



45	Extrusión	126	168	100
46	Extrusión	130	165	100
47	Extrusión	119	164	100
48	Extrusión	107	167	100
49	Extrusión	126	143	100
50	Extrusión	141	146	100
51	Extrusión	139	150	100
52	Extrusión	121	170	100
53	Extrusión	128	164	100
54	Extrusión	120	167	100
55	Extrusión	104	163	100
56	Extrusión	127	164	100
57	Extrusión	113	162	100
58	Extrusión	126	149	100
59	Extrusión	121	142	100
60	Extrusión	120	153	100

Anexo 2. Fotografías



Figura 4. Vista general del reservorio con instalación de la geomembrana.



Figura 5. Se observa la soldadura por fusión de la geomembran.



Figura 6. Se observa la soldadura por extrusión de la geomembrana.



Figura 7. Se observa los testigos ensayados por destructivo en el tensiómetro .



Figura 8. Toma de muestra para los ensayos no destructivos prueba de aire.



Figura 9. Toma de muestra para los ensayos no destructivos prueba de caja de vacío.



Figura 10. Toma de muestra para los ensayos no destructivos chispa eléctrica.



Figura 11. Testigos destructivos por fusión y extrusión donde se aprecia el desgarro (peel) y el corte (Shear).



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JUAN MANUEL TACCA MORAZA,
identificado con DNI 71552713 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ CONTROL DE CALIDAD EN LA SOLDADURA POR FUSION Y EXTRUSION
DE LA GEOMEMBRAÑA HDPE DEL RESERVOIRIO DE AGUA EN EL SECTOR
DE LLONCCACCHUA, MELGAR - PUNO ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

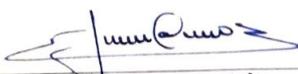
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

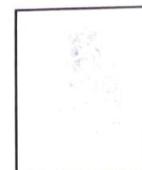
Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de Julio del 20 23


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JUAN MANUEL TACCA MARDZO,
identificado con DNI 71552713 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"CONTROL DE CALIDAD EN LA SOLDADURA POR FUSION Y EXTRUSION
DE LA GEOMEMBRANA HDPE DEL RESERVOIRIO DE AGUA EN EL SECTOR
DE LLANCCACCHUA, MELGAR-PUNO"

Es un tema original.

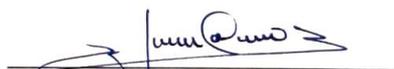
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de Julio del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella