UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

"CONTROL DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA HDPE EN TANQUE DE AGUA FRESCA N° 2 - MANTENIMIENTO PLANTA CONCENTRADORA"

PRESENTADO POR:

Bach. Hermógenes Wilson Cordova Peñaloza

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

"CONTROL DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA HDPE EN TANQUE DE AGUA FRESCA N° 2 - MANTENIMIENTO PLANTA CONCENTRADORA"

Examen Profesional aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N°505-2022-UNAM, de fecha 15 de julio de 2022.

ASESOR .....
MSc. Ing. Agapito Flores Justo

BACHILLER .....
Hermógenes Wilson Cordova Peñaloza

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FEDATARIO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 020

ACTA DE TITULACIÓN

I. Modalidad:

Examen Profesional

II. Documento de aprobación:

Resolución de Comisión Organizadora N° 505 - 2022 - UNAM

Fecha: 15 - 07 - 2022

III. Título de Informe de Examen Profesional:

"CONTROL DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA HDPE EN TANQUE DE AGUA FRESCA N°2 - MANTENIMIENTO PLANTA CONCENTRADORA"

Bachiller: Hermogenes Wilson, CORDOVA PEÑALOZA

Asesor Principal: Msc. Agapito, FLORES JUSTO

Co-Asesor :

IV. Se dictamina con las siguientes notas:

Examen Escrito: 16 Entrevista: 1 Promedio: 17

Promedio en letras: Diecisiete por lo que: Sí [x] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 08:30 horas, del 02 de septiembre del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado.

Dr. Marcos Luis, Ciriaco Pérez
Presidente del comité de grados y títulos
de Examen Profesional
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Dr. Arquímedes VARGAS LUQUE
Director
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Hermogenes W., CORDOVA PEÑALOZA
Bachiller

Msc. Agapito, FLORES JUSTO
Asesor
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

DEDICATORIA

A DIOS por guiarme por el camino correcto, porque nunca me ha abandonado, gracias por darme una familia maravillosa, por llenar mi corazón con la luz de tu espíritu y por darme fuerzas para lograr esta meta.

A mis PADRES por su apoyo incondicional, con sus consejos, sus valores, por su constante motivación, permitiéndome ser una persona humilde, responsable, pero sobre todo por su amor.

A mis HERMANOS que me alientan a seguir adelante cada día con su apoyo y cariño, además de saber que mis logros también son los suyos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo y mi luz. Por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad y permitirme alcanzar esta meta.

Agradezco a la Universidad Nacional de Moquegua por brindarme las enseñanzas durante este largo camino.

Agradezco a todos los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por ser partícipe de mi formación profesional y transmitirme todos sus conocimientos.

Agradecer a mi Familia, por ser siempre mis principales motivadores y los formadores de lo que ahora soy como persona, sin ustedes y sus consejos, su amor y su cariño yo no habría llegado hasta donde estoy, los quiero mucho.

RESUMEN

El objetivo del presente informe es establecer las herramientas y normas de control de calidad aplicados al proceso de instalación de geomembrana de polietileno alta densidad HDPE en el Tanque de Agua Fresca N° 2, tanto las propiedades de la geomembrana, así como los procesos de soldadura por fusión y extrusión y el control de calidad se encuentran normados de acuerdo a los estándares internacionales ASTM y las Especificaciones Técnicas del Proyecto. Teniendo en cuenta las características de la geomembrana, así como el tipo de soldadura por fusión y extrusión aplicado durante la instalación de la geomembrana. Se realizaron inspecciones periódicas antes y después de la impermeabilización de la base del tanque, obteniendo inicialmente muestras tomadas en campo de las uniones de soldadura; para comprobar la calidad de la soldadura en campo, se aplicó métodos de prueba destructivos y no destructivos, en las pruebas destructivas se comprobó que falle al material antes que la unión de soldadura y en las pruebas no destructivas se aplicaron pruebas de presión de aire y prueba de vacío a las uniones de soldadura, esto se realizó cumpliendo estrictamente los procedimientos de prueba y la normativa internacional vigente para geosintéticos.

Como parte concluyente, se logró ejecutar las pruebas adecuadas en este proceso de impermeabilización, con el respectivo registro documentado de cada prueba en los protocolos de calidad, se demostró también que el control de calidad permitió eliminar defectos en las uniones de soldadura. La aceptación en cada proceso de instalación y soldadura de la geomembrana permitió solucionar problemas de infiltración de líquidos percolados a través del suelo de baja permeabilidad y evitar la degradación de las aguas subterráneas.

Palabras clave: Control de Calidad, Geomembrana, Estándar, Especificaciones Técnicas, Soldadura, Fusión, Extrusión.

ABSTRACT

The objective of this report is to establish the quality control tools and standards applied to the installation process of the HDPE high-density polyethylene geomembrane in the Fresh Water Tank No. 2, both the properties of the geomembrane, as well as the welding processes. by melting and extrusion and quality control are regulated according to international standards ASTM and the Technical Specifications of the Project. Taking into account the characteristics of the geomembrane, as well as the type of fusion and extrusion welding applied during the installation of the geomembrane. Periodic inspections were carried out before and after the waterproofing of the tank base, initially obtaining samples taken in the field from the welding joints; To check the quality of the welding in the field, destructive and non-destructive testing methods were applied, in the destructive tests it was verified that the material failed before the welding joint and in the non-destructive tests air pressure tests were applied and vacuum test of the welding joints, this was carried out in strict compliance with the testing procedures and current international regulations for geosynthetics.

As a conclusive part, it was possible to execute the appropriate tests in this waterproofing process, with the respective documented record of each test in the quality protocols, it was also demonstrated that the quality control allowed to eliminate defects in the welding joints. The acceptance in each process of installation and welding of the geomembrane allowed to solve problems of infiltration of percolated liquids through the low permeability soil and to avoid the degradation of groundwater.

Keywords: Quality Control, Geomembrane, Standard, Technical Specifications, Welding, Fusion, Extrusion.

ÍNDICE

DEDICATORIA II
AGRADECIMIENTO III
RESUMEN IV
ABSTRACT V
ÍNDICE VI
ÍNDICE DE FIGURAS VIII
INDICE DE CUADROS IX
INDICE DE TABLAS X
LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS XI
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I 3
ASPECTOS GENERALES 3
1.1 Descripción de la Empresa 3
1.1.1 Ubicación 3
1.1.2 Accesibilidad 4
1.1.3 Visión y Misión de la Empresa 4
1.1.4 Historia 5
CAPÍTULO II 6
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INGENIERÍA 6
2.1 Descripción de la Realidad del Proyecto 6
2.1.1 Fases de Ejecución del Proyecto 6
2.2 Justificación del Proyecto 7
2.3 Fundamentos Teóricos 8
2.3.1 Geomembranas 8
2.3.2 Clasificación de las Geomembranas de Polietileno 9
2.3.2.1 Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE). 9
2.3.2.2 Geomembranas de Polietileno de Baja Densidad (LLDPE) 9
2.3.3 Soldadura de Geomembranas 10
2.3.3.1 Soldadura por Fusión o Cuña Caliente 10
2.3.3.2 Soldadura por Extrusión 11
2.3.4 Equipos para Soldadura de Geomembrana 12
2.3.4.1 Equipo de Fusión o Cuña Caliente 12
2.3.4.2 Equipo de Extrusión 13
2.3.5 Equipos para Control de Calidad de la Soldadura 14

2.4 Proceso de Ejecución en la Instalación de Geomembranas 16
2.4.1 Actividades Preliminares en el Proceso de Instalación de Geomembrana 16
2.4.2 Preparación de la Superficie para Colocación de Geomembrana. 16
2.4.3 Despliegue de Geomembrana 17
2.5 Control de Calidad en el Proceso de Instalación de la Geomembrana 18
2.5.1 Pruebas Destructivas Iniciales de Soldaduras por Fusión y Extrusión 18
2.5.2 Procedimientos de Control de Calidad para las Soldaduras en Campo 20
2.5.2.1 Pruebas No Destructivas de Soldaduras en Campo 21
2.5.2.1.1 Prueba de Presión de Aire “Air Test” 22
2.5.2.1.2 Prueba de Vacío “Vacuum Test” 24
2.5.2.2 Pruebas Destructivas de Soldaduras en Campo 27
2.5.2.2.1 Pruebas Destructivas en Soldaduras por Fusión 28
2.5.2.2.2 Pruebas Destructivas en Soldadura por Extrusión 30
2.5.3 Soldadura por Extrusión de Geomembrana a Perfil de Polietileno 33
2.5.4 Inspección Final y Aceptación del Área Instalada con Geomembrana 33
CAPÍTULO III 34
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS 34
3.1 Antecedentes de la investigación 34
3.1.1 Antecedentes Internacionales 34
3.1.2 Antecedentes Nacionales 35
3.2 Formulación de Objetivos 37
3.2.1 Objetivo General 37
3.2.2 Objetivos Específicos 37
CAPÍTULO VI 39
DISCUSIÓN 39
CONCLUSIONES 41
RECOMENDACIONES 42
BIBLIOGRAFÍA 43
ANEXOS 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación Geográfica	3
Figura 2	Sistema de soldadura per fusión o cuna caliente	11
Figura 3	Componentes de una Extrusora Manual	12
Figura 4	Proceso Soldadura de geomembrana con cuna caliente	13
Figura 5	Proceso Soldadura de geomembrana por Extrusión	14
Figura 6	Conjunto manómetro, aguja hueca y adaptador para prueba de aire	14
Figura 7	Conjunto manómetro, caja con cara superior transparente. manómetro de vacío y bomba de succión	15
Figura 8	Equipo de Prueba Tracción Destructiva	15
Figura 9	Superficie de Baja Permeabilidad Firme y Compacta donde se instaló la Geomembrana	17
Figura 10	Corte de 10 Especímenes para Pruebas Destructivas Iniciales	19
Figura 11	Espécimen o cupón de Corte (Izquierda) y Pelado (Derecha)	20
Figura 12	Ejemplo de registro en sitio de Prueba de Aire	24
Figura 13	Ejemplo de registro en sitio de Prueba de Vacío	27

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Accesibilidad a Unidad Minera	4
Cuadro 2	Fases de Ejecución del Proyecto	7
Cuadro 3	Detalle de Obras civiles	7

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rango de presiones para prueba de aire de acuerdo al espesor de la lamina 23

Tabla 2 Rango de presiones para prueba de vacío de acuerdo al espesor de la lamina 26

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

HDPE: High Density Polyethylene o Polietileno de Alta Densidad

LLDPE: Linear low-density polyethylene o Polietileno Baja Densidad Lineal

ASTM: American Society for Testing and Materials

ASME: American Society of Mechanical Engineers

ISO: International Organization for Standardization

INACAL: Instituto Nacional de Calidad

S.A.C.: Sociedad Anónima Cerrada

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

SPCC: Southern Peru Copper Corporation

PVC: Polyvinyl Chloride o Policloruro de Vinilo

FTB: Film Tearing Bond

GRI: Geosynthetic Research Institute

CQA: Construction Quality Assurance

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las principales actividades que se desarrollan en nuestro país, cada actividad operacional en minería utiliza agua para contribuir a la eficiencia de sus procesos productivos, la mayor demanda ocurre en los procesos metalúrgicos, como en la flotación, y la de menor consumo se da en la lixiviación en pilas, los servicios de protección contra incendios del área de molienda y los servicios de supresión de polvo del área de chancado.

Por tanto, en toda unidad minera es necesario contar con tanques de almacenamiento de agua para abastecer a los procesos productivos. En la unidad minera de Toquepala no se contaba con el suficiente abastecimiento de agua para las unidades de servicios de protección contra incendios del área de molienda y los servicios de supresión de polvo en chancado, debido a eso fue necesario la instalación de un nuevo tanque para almacenamiento de 1 500 000 galones de agua, con el fin de proteger las instalaciones ante un eventual incendio y mitigar el material particulado en la zona de chancado.

La importancia del presente informe, radica en el control de calidad aplicado al cumplimiento de la normativa internacional para geosintéticos y las especificaciones técnicas del proyecto, durante el proceso de impermeabilización con geomembranas de polietileno de alta densidad HDPE en la base del tanque de almacenamiento de agua N°2. La instalación de geomembranas de polietileno en infraestructuras mineras se realiza con mucho cuidado, ya estas geomembranas sirven como barreras de contención de líquidos, ayudando a mitigar la infiltración de líquidos percolados a través del suelo, pero para hacer efectivo este sistema de contención, estas geomembranas deben estas unidas por métodos de soldadura adecuadas, cuyas uniones de soldadura fueron sometidas a pruebas de control de calidad en campo antes y después de la instalación, de tal modo que se garantice la estanqueidad del líquido contenido.

Para una mejor comprensión, este informe está desarrollado de la siguiente manera:

En el Capítulo I. Comprende los aspectos generales de la Empresa, resaltando su historia, su misión y visión.

En el Capítulo II. En este capítulo se describe las pruebas de control de calidad utilizados en las soldaduras por fusión y extrusión, también se detalla la correcta ejecución de las soldaduras y se describe los equipos utilizados.

En el Capítulo III. Se presentan los antecedentes que son los resultados de otras investigaciones que tienen relación con el control de calidad aplicado a uniones de soldadura en láminas de geomembrana de polietileno.

En el Capítulo IV. Se analiza la discusión de resultados de otras investigaciones desarrolladas para encontrar diferencias o similitudes en las conclusiones.

Y finalmente, se ubican las conclusiones y recomendaciones; también se muestra las referencias bibliográficas consultadas y los anexos.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

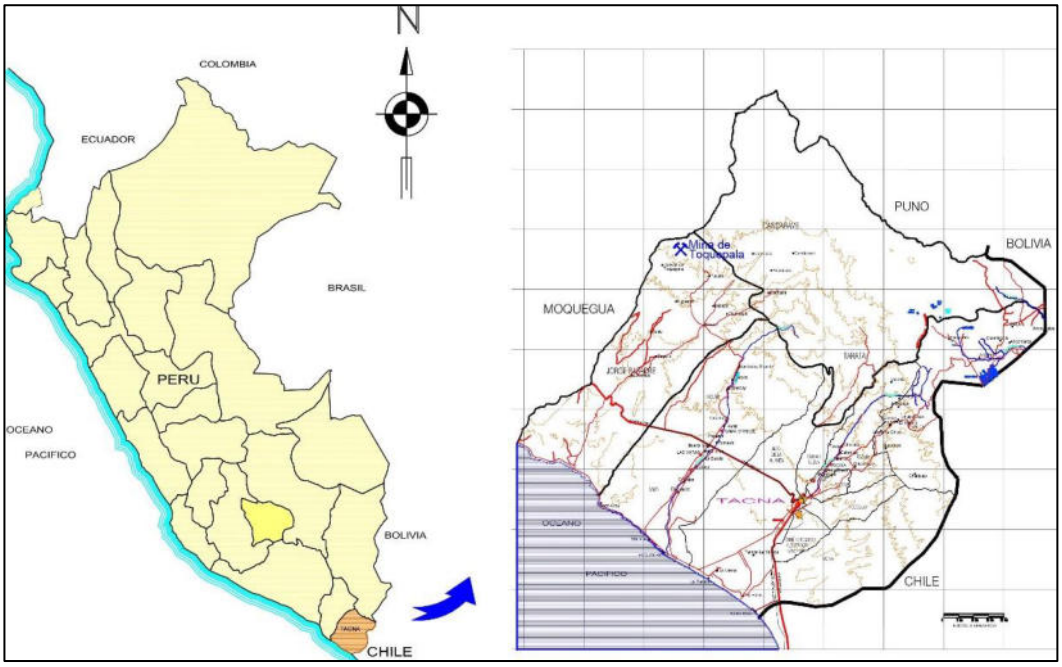
1.1 Descripción de la Empresa

1.1.1 Ubicación

Las oficinas operacionales de la Empresa J.R. VER S.A.C., realiza sus actividades en la ejecución de Proyectos Electromecánicos y Civiles en la Unidad Minera de Toquepala en el Flanco Occidental de los Andes del sur del Perú, Departamento de Tacna, Distrito de Ilabaya, Provincia Jorge Basadre Grohmann, según la ubicación geográfica mostrada en la Figura 1

Figura 1

Ubicación Geográfica



Nota. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.

Su posición geográfica está determinada por las siguientes coordenadas:

Latitud Sur : 17°14’

Longitud Oeste : 70°36’

Altitud : 2890 y 3600 m.s.n.m.

1.1.2 Accesibilidad

Para acceder a las oficinas de la Empresa J.R. VER S.A.C., que se encuentran en la Unidad Minera de Toquepala, se puede llegar hasta estas instalaciones por vía terrestre, partiendo desde la ciudad de Moquegua por la carretera Panamericana Sur hasta la ciudad de Camiara, desde donde parte un camino asfaltado hasta la Unidad Minera, esta accesibilidad se describe en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Accesibilidad *a Unidad Minera*

ORIGEN	DESTINO	TIPO DE VIA	DISTANCIA APROXIMADA (km)
Moquegua	Camiara	Carretera Panamericana Sur	108
Tacna	Camiara	Carretera Panamericana Sur	81
Camiara	Toquepala	Carretera Asfaltada	80

Nota. Elaborado por el Autor

1.1.3 Visión y Misión de la Empresa

Visión. “La visión de J.R.VER S.A.C. en los próximos años es consolidarnos y ser reconocidos como una empresa líder de servicios integrados en las áreas de Ing. Mecánica, Eléctrica, Civil con la participación de un equipo de trabajo profesional con alto sentido de responsabilidad y comprometidos con el desarrollo nacional, para así convertirnos en un grupo de excelencia”. (J.R.VER S.A.C. 2022, pág. 44).

Misión. “La misión de J.R.VER S.A.C. es satisfacer las necesidades del cliente, maximizando sus retornos y los del grupo empresarial, mediante la prestación de servicios integrados de Construcción, Operación, Mantenimiento Industrial y Electromecánico que garanticen la sostenibilidad del negocio con demostrable desempeño en las áreas de seguridad y protección del medio ambiente, todo ello a través de un trabajo en equipo profesional”. (J.R.VER S.A.C. 2022, pág. 44).

1.1.4 Historia

La Empresa “Instalaciones Electromecánicas J.R. VERA S.A.”, fue fundada en septiembre de 1983, con el objetivo de ofrecer servicios generales en la industria y la construcción. Durante sus inicios, la empresa se estableció como su base central en la cuidad de Lima, con oficina principal en la Av. José Granda 2222 en el distrito de San Martin de Porres. Inicialmente los trabajos eran orientados a la Industria Pesquera en el montaje y fabricación de tuberías y estructuras metálicas, montaje de equipos de procesamiento en la Compañía “Concentrados Marinos”, incursiono posteriormente en la Industria Minera, en la construcción de una línea de tubería de 16 pulg. Con una longitud de15 km para la Empresa “Minera Monterosas”, de igual forma, se realizaron numerosos trabajos en reparación de estructuras metálicas, líneas de tubería y mineroductos; además se ejecutaron montajes de chancadoras de cono del circuito primario para la empresa “Minera Cobriza”.

El cumplimiento y la calidad de nuestro trabajo nos permitió en su momento expandir nuestras operaciones a la industria del petróleo y gas, siendo nuestro principal cliente “PETROPERU” proveyendo servicios de mantenimiento hasta la fabricación y montaje, siempre manteniendo un crecimiento constante hasta el año 1992, año en que suspendimos nuestras actividades debido a la situación que atravesaba en País en ese momento.

Después de unos años, la organización se reestructuró para enfrentar con mayor ímpetu nuevos retos, por lo que, en junio de 2002, nuestra organización originaria paso a llamarse “J.R. VER S.A.C.”, estableciendo sus oficinas en la Av. Néstor Gambeta Km 7 100, iniciando un nuevo ciclo de trabajo con el mismo entusiasmo tradicional enmarcado en la filosofía de calidad y excelencia en todos nuestros servicios.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE INGENIERÍA

El proyecto ejecutado por la Empresa JR VER S.A.C. en Southern Peru Cooper Corporation – Unidad Minera Toquepala fue el Reemplazo del Tanque N° 2 de Agua Fresca - Mantenimiento Planta Concentradora de Toquepala.

2.1 Descripción de la Realidad del Proyecto

Para las unidades de servicios en planta concentradora de la unidad minera de Toquepala es necesario el suministro de 3 000 000 galones de agua para los sistemas de protección contraincendio del área de molienda y la línea de supresión de polvo en el área de chancado, solo se abastece a todos estos procesos con el suministro de agua del tanque N° 1 de 1 500 000 galones existente, en este sentido para asegurar el suministro adecuado de agua para que todos los procesos en la planta concentradora sea continuo, debemos asegurarnos que el montaje del tanque de almacenamiento de agua Nº 2 de 1 500 000 galones sea ejecutado correctamente, cumpliendo las especificaciones técnicas, asegurando los controles de calidad en las obras geotécnicas, obras civiles, montajes mecánicos y eléctricos de acuerdo a los planos de ingeniería de detalle (ver **ANEXO A** plano civil – concreto – cimentación del tanque – encofrado y armadura), elaborando registros y protocolos para asegurar la calidad en el proceso de construcción y el almacenamiento, y su posterior puesta en operación y así garantizar el suministro adecuado de agua para las unidades de servicio de la planta concentradora.

2.1.1 Fases de Ejecución del Proyecto

El proyecto de ingeniería denominado “Reemplazo del Tanque N° 2 de Agua Fresca - Mantenimiento Planta Concentradora de Toquepala”, se ejecutó por fases, como se muestra en detalle en el Cuadro 2.

Cuadro 2

Fases de Ejecución del Proyecto

FASE	DESCRIPCION	ACTIVIDADES
FASE1	Ingeniería, Ejecución de Obras Civiles	01.- Revisión del Expediente Técnico
		02.- Ejecución de Trabajos Iniciales en Obra
		03.- Obras Civiles (Trazo y replanteo, cimentación y relleno)
FASE 2	Montaje mecánico	01.- Instalación de piso del tanque
		02.- Montaje de casco del tanque
		03.- Montaje del domo
		04.- Sellado de Base y casco del tanque
		05.- Montaje de accesorios (escaleras, regleta de nivel, tuberías)
		06.- Montaje de válvulas (válvula mariposa 30", válvula compuerta 4", 8" y 12")
		07.- Instalación de sensor de nivel de agua
FASE 3	Pruebas preliminares	01.- Prueba de torque en bridas de válvulas
		02.- Prueba hidrostática del tanque
		03.- Prueba de continuidad de cables de fuerza y control
FASE 4	Puesta en operación	01.- Instalación de conexión de display hacia la sala eléctrica
		02.- Instalación de conexión de sensor de nivel hacia display
		03.- Entrega de dossier de calidad y acta de culminación de obra

Nota. Elaborado por el Autor

En el presente informe se desarrolla las actividades de "Instalación de geomembrana HDPE 1.5 mm en fondo de tanque" de la FASE 1 Ingeniería, trabajos preliminares y Obras civiles, para mayor detalle de las actividades desarrolladas en esta FASE 1 se muestra el Cuadro 3.

Cuadro 3

Detalle de Obras civiles

FASE	DESCRIPCION	ACTIVIDADES
FASE 1	Ingeniería, Ejecución de Obras Civiles	**03.- Obras Civiles (Trazo y replanteo, cimentación y relleno)**
		Trazo y replanteo
		Excavación de terreno
		Colocación de acero refuerzo
		Encofrado base de tanque
		Vaciado de concreto fc=350 kg/cm2 para cimentación del tanque
		Relleno, nivelación y compactado
		Instalación de geomembrana HDPE 1.5 mm en fondo de tanque
		Relleno final de fondo del tanque
		Trazo de puntos para inicio de colocación de planchas fondo del tanque

Nota. Elaborado por el Autor

2.2 Justificación del Proyecto

El alcance del presente informe, sirve como base para la elaboración de un sistema de control de la calidad en la instalación del revestimiento con geomembranas de polietileno de alta densidad HDPE en tanques de almacenamiento de agua, ya que contribuye a garantizar que el producto final

cumpla con la normativa internacional ASTM aplicable mediante una estrategia de prevención, antes, durante y después de la instalación y servirá de guía para otros profesionales interesados en el tema como profesionales dedicados al Aseguramiento y/o Control de Calidad, en las diferentes empresas que estén relacionados en la construcción de Pozas, Pilas de Lixiviación, inmersos al uso de Polietileno.

En lo social se da a conocer, divulgar y transmitir a la sociedad los procedimientos y controles básicos para realizar una buena impermeabilización usando geomembranas de polietileno en la impermeabilización de tanques de almacenamiento de agua, todo este control es realizado con la finalidad de evitar, infiltraciones e impactos al medioambiente.

En el ámbito académico el control que se desarrolló para asegurar la calidad en la instalación del revestimiento con geomembranas de polietileno de alta densidad HDPE en tanques de almacenamiento de agua servirá de referencia como una metodología en la que se ordena todos los procesos para el control de la calidad en la instalación de geomembranas; con la finalidad de contribuir en la formación profesional de los Ingenieros de Minas que dediquen sus trabajos en este campo, para que puedan comprender los diferentes procedimientos y además aplicar y gestionar correctamente el uso de estándares y herramientas de gestión de la calidad.

2.3 Fundamentos Teóricos

2.3.1 Geomembranas

Las geomembranas son productos Geosintéticos de forma laminar y características flexibles, son utilizadas como barrera impermeable de líquidos u otros fluidos aplicados en proyectos mineros, ambientales y de ingeniería civil en el revestimiento de canales, lagunas, pilas de lixiviación, depósitos de agua entre otros. Otra característica de las geomembranas es su durabilidad a largo plazo debido a su composición y resistencia al envejecimiento, estas geomembranas también se instalan en tanques de concreto o acero de cualquier dimensión para almacenar productos químicos, desechos sólidos con el fin de prolongar la vida útil del tanque de almacenamiento.

2.3.2 Clasificación de las Geomembranas de Polietileno

La composición química de cada geomembrana es muy similar, pero las diferencias están en sus propiedades físicas como la resistencia física, flexibilidad y durabilidad del material en condiciones de uso; por ejemplo, para el revestimiento de túneles se utiliza laminas flexibles de geomembrana de polietileno, también existen geomembranas texturizadas que son usadas para aumentar la fricción con el terreno cuando se presentan taludes con pendiente pronunciada.

Los tipos de geomembranas se clasifican en:

2.3.2.1 Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE).

Este tipo de geomembrana es la más utilizada, ya que está presente en el 95% de las aplicaciones. Está compuesta por polietileno de alta densidad (HDPE) y contiene antioxidantes que le brinda alta resistencia a una amplia gama de productos químicos, como ácidos, hidrocarburos, además ofrecen una alta resistencia a los rayos ultravioleta, tienen altas propiedades mecánicas en comparación con el esfuerzo de instalación en sitio del proyecto (ver **ANEXO B** para detalle de propiedades de prueba en geomembrana HDPE). Su baja permeabilidad de este tipo de geomembrana, le permite actuar como barrera al paso de gases y líquidos, además de su bajo costo en comparación con otros tipos de geomembranas. Sin embargo, este compuesto es menos flexible que los compuestos de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE).

La materia prima para la fabricación de geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

La geomembrana lisa de polietileno de alta densidad (HDPE) posee una alta calidad, fabricada a partir de resina de polietileno virgen y diseñada específicamente para la fabricación de geomembranas flexibles. Se compone aproximadamente por un 97.5% de polietileno, 2.5% de negro de humo, así como antioxidantes y estabilizadores térmicos; no se utilizan otros aditivos, ni rellenos ni plastificantes.

2.3.2.2 Geomembranas de Polietileno de Baja Densidad (LLDPE)

Esta Geomembrana, a diferencia de la geomembrana de HDPE, es mucho más flexible y menos propenso a agrietarse debido al estrés ambiental. Está compuesta por Polietileno Lineal de Baja Densidad LLDPE, debido a las

propiedades de tracción superiores, se adapta a suelos con diferencias de dureza y altura. Esta geomembrana LLDPE es utilizada en procesos de lixiviación, rellenos sanitarios, lagunas de contención, lagunas de tratamiento, tanques de agua entre otras aplicaciones en proyectos mineros y proyectos civiles.

Sin embargo, este tipo de geomembrana, gracias a su flexibilidad, se suele utilizar en cubiertas flotantes. Son ideales para cubrir embalses, con esta lámina de geomembrana se puede alargar la vida útil del embalse ya que evita la evaporación del agua, los efectos de la contaminación ambiental y el crecimiento de algas, manteniendo así el agua limpia.

2.3.3 Soldadura de Geomembranas

La soldadura de geomembrana consiste en unir los paneles de geomembrana, obteniendo como resultado la formación de una sola capa de revestimiento sellado sobre toda la superficie instalada.

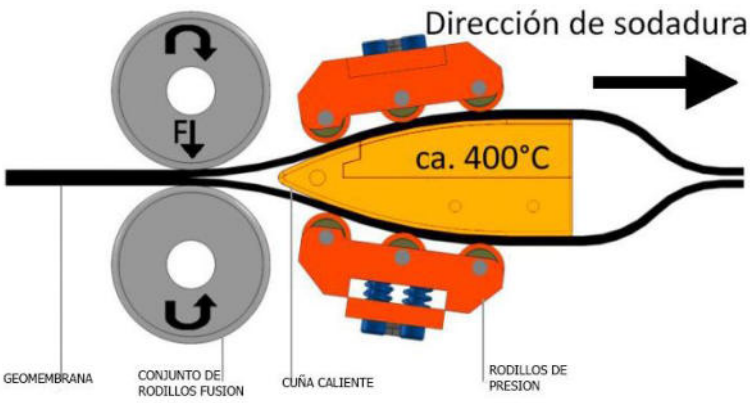
Los únicos métodos de soldadura y reparación aprobados para unir geomembranas son los procesos térmicos. Utilizaremos dos procesos para realizar la soldadura y reparación de geomembranas: fusión simple (máquina de fusión o cuña caliente) y extrusión con aporte de material (maquina extrusora). Las máquinas de soldadura deben contar con indicadores de temperatura, velocidad para realizar mediciones y calibraciones, de modo que se garantice una unión homogénea.

2.3.3.1 Soldadura por Fusión o Cuña Caliente

Este sistema de soldadura se logra mediante la aplicación de calor la cual funde las dos superficies de la geomembrana a unir, colocando una cuña caliente entre ellas y presionando mecánicamente el conjunto de rodillos en su zona de traslape, para formar una unión continua, como se visualiza en la Figura 2. Algunas uniones de este tipo están hechas con una cavidad vacía en el centro de la unión conocida como canal de prueba, que permite realizar pruebas neumáticas no destructivas mediante la inyección de aire.

Figura 2

Sistema de soldadura por fusión o cuña caliente



Nota. Información Equipo de cuña caliente (*https://munsch-kunststoff-schweisstechnik.de*)

La presión, la temperatura y la velocidad están reguladas por controladores independientes y siempre relacionados entre ellos. Cuanto más alta sea la temperatura de la cuña, mayor será la velocidad de desplazamiento y viceversa. Los parámetros de soldadura pueden variar según la máquina, la geomembrana y la temperatura ambiente.

Es importante que los operadores de equipos controlen continuamente el funcionamiento del equipo de fusión, especialmente los controles de velocidad de avance y temperatura, para programarlos frente a cualquier cambio en las condiciones ambientales, este equipo debe ser inspeccionado y calibrado diariamente antes de iniciar la soldadura y también se revisará la calibración si se presentan cambios significativos en el clima. El área de la geomembrana a soldar debe estar limpia y seca a modo de asegurar una adecuada adherencia.

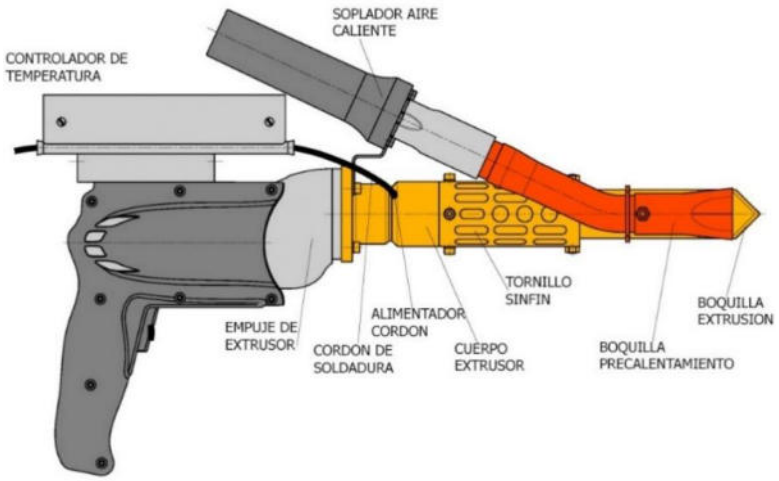
2.3.3.2 Soldadura por Extrusión

Este proceso de soldadura se ejecuta mediante una extrusora guiada manualmente, este proceso es también útil para conectar nuevos paneles hacia revestimientos ya instalados que tienen bordes expuestos que no pueden soldarse por fusión simple; El Equipo de soldadura por extrusión tiene un controlador de temperatura, y utiliza material de aporte, ya sea como cordón o como gránulos, que se alimenta a una cámara de fundición donde por medio de un tornillo sin fin es hecho fluir a través de la boquilla de extrusión del aporte y una boquilla de precalentado de la superficie que recibirá el material de aporte o extruido, como

se muestra en la Figura 3. Este proceso se utiliza principalmente (alrededor del 95%) para reparaciones, parches y detalles especiales de construcción.

Figura 3

Componentes de una Extrusora Manual



Nota. Información Extrusora manual (*https://munsch-kunststoff-schweisstechnik.de*)

En el caso de la soldadura por extrusión el borde del parche es fijado a la geomembrana utilizando un equipo denominado Soplador de Aire Caliente, este equipo despide aire caliente a una temperatura máxima de 600ºC, este fijado de la lámina debe ser unida previamente, a modo de garantizar el contacto directo entre ambas superficies, para dar paso a la soldadura con la extrusora; posterior al proceso de fijado de la geomembrana con aire caliente, se procede al lijado de la zona utilizando lijas circulares para lograr minimizar la diferencia de relieve existente entre los paneles en la zona a unir.

2.3.4 Equipos para Soldadura de Geomembrana

2.3.4.1 Equipo de Fusión o Cuña Caliente

La cuña caliente realiza la soldadura en base a tres factores, Temperatura, Presión y Velocidad. La temperatura, la presión de contacto de las láminas de geomembranas y la velocidad de avance de los rodillos se ajustan mediante controles independientes en la máquina de soldadura. El ajuste de los parámetros de soldadura la realiza el operador según el tipo de geomembrana, las condiciones ambientales y el espesor de las láminas a soldar.

La temperatura se aplica antes de los rodillos, a través de una cuña de bronce, a medida que la maquina es propulsada por dos rodillos, estos rodillos presionan las caras de la lámina calentadas por la cuña logrando dos zonas de soldadura paralelas separadas por una zona intermedia libre denominado "canal de prueba de aire", como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4

Proceso Soldadura de geomembrana con cuña caliente



Nota. Elaborado por el Autor

2.3.4.2 Equipo de Extrusión

Es una soldadora portátil guiada manualmente, equipada con una cámara de fusión para el material de polietileno, donde se calienta para posteriormente salir como material 100% plastificado por la boquilla de salida para la extrusión del aporte y una boquilla de precalentamiento de aire de la superficie que recibirá el material extruido.

Los controles de esta soldadora por extrusión son, la temperatura de fusión del material de aporte, esta depende del tipo de polietileno de aporte y la temperatura del flujo de aire caliente, que depende del espesor de la geomembrana y de las condiciones ambientales. Mientras que el operador guía la boquilla de la máquina de extrusión ejerciendo presión sobre los paneles a soldar, el aire caliente expelido por la boquilla de precalentado prepara las superficies de los paneles previamente pulidos para una mejor adherencia con el cordón de soldadura, como se observa en la Figura 5.

Figura 5

Proceso Soldadura de geomembrana por Extrusión



Nota. Elaborado por el Autor

2.3.5 Equipos para Control de Calidad de la Soldadura

Equipo de Prueba de Aire (Air Test). La prueba de aire se realiza en el canal de aire dejado por la máquina de soldadura por fusión o cuña caliente. El equipo consta de una bomba manual de aire, un Manómetro certificado y calibrado, una aguja hueca con un adaptador, y un soplador de aire caliente, mostrado en la Figura 6.

Figura 6

Conjunto manómetro, aguja hueca y adaptador para prueba de aire.



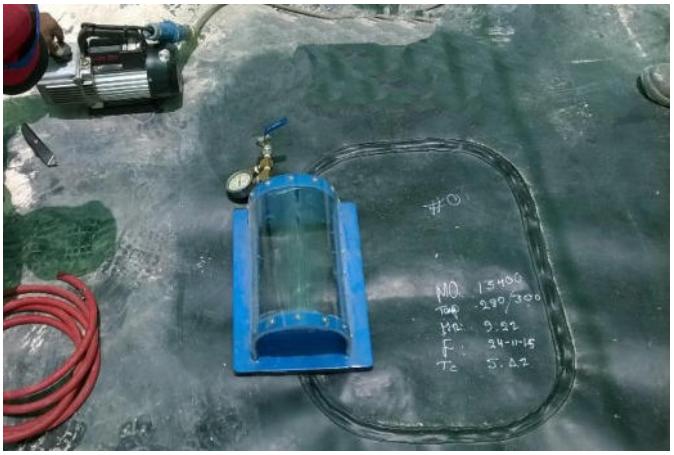
Nota. Elaborado por el Autor

Equipo de Prueba de Vacío (Vacuum Test). La Prueba de Vacío se realiza sobre las soldaduras por extrusión y se puede utilizar en casos

excepcionales sobre las soldaduras por fusión. El equipo consta de una caja con la cara superior transparente, un manómetro de vacíos (mano-vacuómetro) y una bomba de succión, mostrado en la Figura 7.

Figura 7

Conjunto manómetro, caja con cara superior transparente, manómetro de vacío y bomba de succión.



Nota. Elaborado por el Autor

Tensiómetro. Es un Equipo de laboratorio y campo capaz de realizar pruebas destructivas de tracción y corte en probetas obtenidas de geomembranas (HDPE, LLDPE y PVC) y geotextiles. Su aplicación es para comprobar la calidad de soldaduras realizada por fusión con cuña caliente y extrusora de aporte, mostrado en la Figura 8.

Figura 8

Equipo de Prueba Tracción Destructiva



Nota. Elaborado por el Autor

2.4 Proceso de Ejecución en la Instalación de Geomembranas

2.4.1 Actividades Preliminares en el Proceso de Instalación de Geomembrana

Son los trabajos previos al proceso de instalación de la geomembrana, se realizan con la finalidad de obtener un resultado optimo, minimizando el desperdicio de geomembrana y reduciendo cualquier imperfección en la instalación.

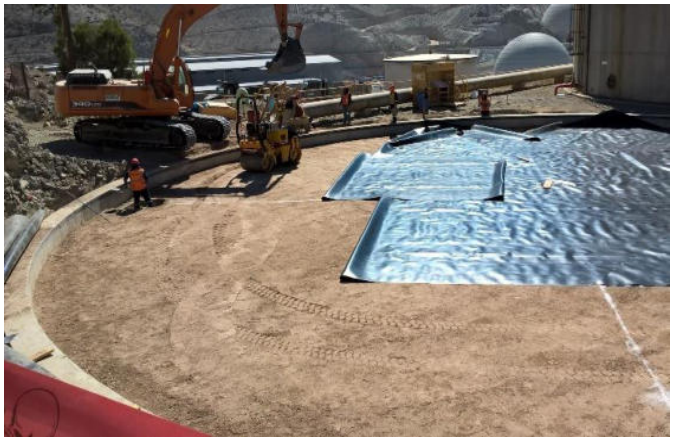
2.4.2 Preparación de la Superficie para Colocación de Geomembrana

La superficie de baja permeabilidad del área donde se instaló la geomembrana no fue considerada terminada si esta no satisface los requerimientos del Ingeniero Residente del Proyecto y del Supervisor de Calidad. Esta superficie debe proporcionar una cimentación firme y compacta de acuerdo a los requerimientos del proyecto, obteniendo un acabado superficial uniforme, como se muestra en la Figura 9. No se aceptó zonas con aguas estancadas o humedad excesiva. El Ingeniero Residente del Proyecto confirmo por escrito que la superficie donde se debe instalar la geomembrana es aceptable antes de iniciar con el proceso de instalación definitivo.

Una vez finalizada las pruebas de control y aseguramiento de calidad de la superficie requeridas acorde a lo indicado en las especificaciones técnicas y en el plan de Aseguramiento de la Calidad del Proyecto, se realizó la inspección a la superficie terminada en presencia del Ingeniero Residente del Proyecto y el Supervisor de Calidad, teniendo en cuenta que la superficie aprobada debe ser completamente satisfactoria para todos los responsables de la inspección, debiéndose redactar un documento de aceptación el cual fue aprobado y firmado. Una vez que el Residente del Proyecto acepte la superficie, él es el responsable de su mantenimiento hasta que la geomembrana sea instalada.

Figura 9

Superficie de Baja Permeabilidad Firme y Compacta donde se instaló la Geomembrana



Nota. Elaborado por el Autor

2.4.3 Despliegue de Geomembrana

Previo a realizar el despliegue de la geomembrana se verifico que la superficie de la subrasante no tenga irregularidades, objetos punzantes, suelo suelto que pudiera dañar la Geomembrana. Además, el Supervisor de Control de Calidad en coordinación con el instalador de la geomembrana desarrollo un plano de distribución de los paneles de geomembrana, para su revisión y aprobación.

Asimismo, el instalador proporciono al Supervisor de Control de Calidad, la certificación de los técnicos recomendados para el trabajo de instalación de la geomembrana, entre estos se encuentran los técnicos de soldadura por fusión y soldadura por extrusión, quien evaluó la calificación y experiencia del personal recomendado. Una vez que el plano de distribución de los paneles de geomembrana y el personal fueron aprobados por el Supervisor de Calidad, se inició el despliegue de la geomembrana (ver **ANEXO C** Plano de Distribución de Geomembrana).

Es responsabilidad del personal de control de calidad del Instalador, asigno a cada panel de geomembrana un número de identificación de acuerdo al plano de distribución aprobado. Asimismo, se registró la ubicación de cada panel en el formulario de registro de despliegue de la geomembrana. A medida que los paneles son desplegados en el campo, el Instalador observo y verifico lo siguiente:

- Se inspeccionaron que los paneles no presenten daños físicos producidos durante la fabricación o durante la instalación, ya estos daños podrían afectar negativamente el revestimiento acabado. Los defectos encontrados fueron marcados junto con el tipo de reparación requerida mediante soldadura por extrusión o colocación de parches.
- Los métodos de despliegue no deben causar pliegues excesivos en la geomembrana y que ésta no debe ser arrastrada sobre superficies rugosas o irregulares. Si el panel es arrastrado el Supervisor de Control de Calidad debe verificar que la parte inferior del panel no presenten daños.
- El personal de control de calidad del Instalador llevo un registro de identificación adecuado en donde se incluya el número de rollo, número de panel, número de costura, fecha de instalación, dimensiones del panel, hora de instalación.
- Los paneles de geomembrana se instalaron y orientaron en forma apropiada de acuerdo con el plano de despliegue de la geomembrana aprobado.
- El personal que trabajo ejecutando el despliegue de la geomembrana no debe realizar actividades que pudieran dañarla.
- Asimismo, el instalador de geomembrana no dejo ninguna costura del panel sin soldar, ni tampoco ninguna abertura en la geomembrana al finalizar el turno de trabajo, sin la aprobación del Supervisor de Control de Calidad.
- Durante el proceso de instalación de la geomembrana, el Instalador debe hacer todo lo posible a modo de minimizar los desperdicios de geomembrana, conforme se despliega los paneles, se debe inspeccionar visualmente y cualquier defecto encontrado debe ser marcado para su reparación.

2.5 Control de Calidad en el Proceso de Instalación de la Geomembrana

2.5.1 Pruebas Destructivas Iniciales de Soldaduras por Fusión y Extrusión

Estas pruebas se realizaron al inicio de cada proyecto, las pruebas iniciales de soldadura son un requisito básico y obligatorio antes de iniciar el trabajo de campo, las soldaduras de prueba son preparadas y probadas por el instalador de geomembrana para verificar que los parámetros de soldadura como la velocidad, temperatura y presión del equipo de soldadura sean adecuados, bajo condiciones de terreno y clima similares, usando los equipos de soldadura propuestos para su uso en el campo.

Cada técnico instalador soldador realizo pruebas de soldadura, las cuales fueron sometidas a prueba destructiva según la norma ASTM D6392 *Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods,* al inicio de cada fase de soldadura. Las soldaduras de prueba se realizaron bajo la misma superficie y condiciones ambientales que las soldaduras de producción, es decir, en contacto con el terreno y en temperaturas ambientales similares.

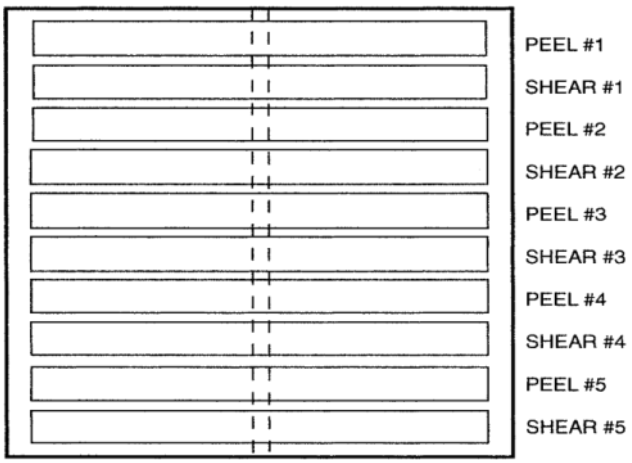
La soldadura de prueba es de aproximadamente 3 metros (10 pies) para soldadura de fusión, y 1 metro (3 pies) para soldadura de extrusión, con centrado de soldadura en dirección longitudinal.

Como mínimo, cada técnico realizo pruebas iniciales de soldadura, una vez cada 4 a 5 horas de trabajo o un mínimo de dos soldaduras de prueba por día: una antes de empezar el trabajo y otra al mediodía.

El instalador de la geomembrana debe cortar en laminas diez (10) especímenes de prueba de 25 mm (1 pulgada) en cada extremo de la soldadura de prueba, como se puede ver en la Figura 10.

Figura 10

Corte de 10 Especímenes para Pruebas Destructivas Iniciales.



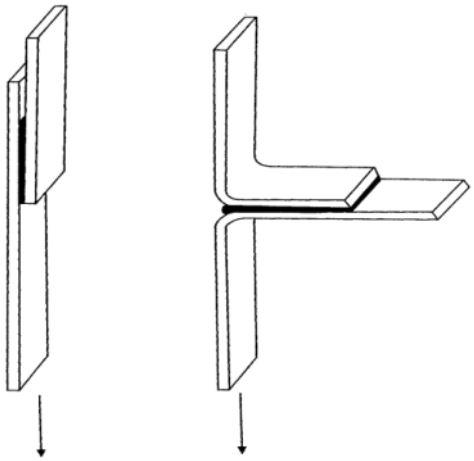
Nota. ASTM D6392 - Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods

Estos especímenes o cupones fueron inspeccionados y sometidos a prueba destructiva por el instalador de la geomembrana utilizando un tensiómetro

de campo, probando ambos especímenes para prueba de pelado (*peel*) y corte (*shear*), como se visualiza en la Figura 11. Cada espécimen FALLO en el material mismo y no en la soldadura "*Film Tear Bond*" (falla F.T.B). Con una separación de soldadura igual a o mayor del 10% del ancho de riel, se consideró como una soldadura fallada.

Figura 11

Espécimen o cupón de Corte (Izquierda) y Pelado (Derecha)



Nota. ASTM D6392 - Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods

Se marco una muestra de cada soldadura de prueba. La marca indico la fecha, la temperatura de la geomembrana, el técnico instalador que realiza la prueba y el resultado de la Prueba de que PASA o FALLA.

2.5.2 Procedimientos de Control de Calidad para las Soldaduras en Campo

Después de la aprobación de las pruebas iniciales de soldadura, se inició el trabajo de soldadura en los paneles desplegados en el área designada por el Ingeniero Residente.

Durante el proceso de soldadura de geomembranas se inspeccionaron todas las soldaduras por fusión y extrusión realizadas en campo incluyendo las soldaduras que se encuentran alrededor de los parches. Esta verificación se realizó mediante Pruebas No Destructivas, con el fin de determinar la hermeticidad de las mismas.

Además, fueron realizadas Pruebas destructivas para determinar la resistencia mecánica de las soldaduras y la conformidad de las mismas con los criterios técnicos de diseño. Las pruebas destructivas se llevaron a cabo en áreas seleccionadas al azar donde sea necesario y áreas requeridas por el Supervisor de Control de Calidad.

Todas las juntas de soldadura realizadas por fusión simple y extrusión fueron sometidos a prueba por métodos destructivos y no destructivos.

2.5.2.1 Pruebas No Destructivas de Soldaduras en Campo

Las Pruebas No Destructivas consisten en dos pruebas estandarizadas por la ASTM D4437 *Standard Practice for Nondestructive Testing (NDT) for Determining the Integrity of Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes* para Geosintéticos, estas son, la prueba de presión de aire para las soldaduras de doble cuña caliente y la prueba de cámara de vacío para las soldaduras por extrusión.

El propósito de las Pruebas No Destructivas es demostrar y verificar la hermeticidad de la junta, para evitar fugas por limpieza inadecuada durante el lijado, humedad en el material de aporte o exceso de polvo en el ambiente, todas estas variantes causan una perdida en la adherencia del material a soldar.

El Supervisor de Control de Calidad hizo la programación de todas las Pruebas No Destructivas para asegurar la calidad de la soldadura y la ejecución ordenada del proyecto.

En las juntas de soldadura por fusión y extrusión probada y aceptada, se anotó los datos técnicos de la prueba y toda información que describa el proceso de revestimiento como la fecha, sitio de prueba, el nombre del técnico que realiza las pruebas y los resultados de todas las pruebas no destructivas, toda esta información se registró con marcadores indelebles sobre el panel de geomembrana cercano.

Las pruebas se llevaron a cabo durante el desarrollo de los trabajos de soldadura en el campo. Cualquier defecto identificado durante la prueba se marcó y enumero de inmediato, los defectos que se encontraron de inmediato se corrigieron y volvieron a someterse a prueba con la finalidad de indicar que el defecto ha sido reparado adecuadamente.

2.5.2.1.1 Prueba de Presión de Aire "Air Test"

La prueba de aire se utiliza para comprobar la continuidad del canal u orificio dejado por la soldadura por fusión, la finalidad de la prueba es detectar agujeros o defectos en la soldadura. La prueba de aire se realizó a lo largo de toda la soldadura y en todas las uniones de acuerdo con las normas ASTM D 5820 y ASTM D4437.

Las pruebas se realizaron una vez finalizadas las soldaduras por fusión, el equipo para ejecutar esta prueba es el siguiente:

- Una bomba de aire manual o mecánica, capaz de producir una presión de aire de 35 Psi en el conducto de aire de la unión fusionada.
- El kit de prueba de aire incluye una aguja hueca para inyectar aire en el canal de la junta fusionada, un manómetro calibrado y aprobado para presiones superiores a 35 psi.
- Varios accesorios de acoplamiento están conectados con cinta de teflón para evitar fugas de aire debido a la presión. Estos accesorios se probarán periódicamente en agua con presión de aire superior a 35 psi con el fin de comprobar su hermeticidad.
- Un soplador de aire caliente para sellar los extremos de los conductos de aire.

Procedimiento:

Ambos extremos del conducto de aire de la soldadura por fusión se sellaron aplicando aire caliente hasta que se funda, se ejerce presión en la zona calentada y se dejar enfriar, luego se inspecciona visualmente la unión para verificar si hay posibles daños, y si lo hubiera se reporta para su reparación.

Se inserta la aguja en el conducto de aire por uno de los extremos de junta. Para realizar esta operación se recomienda precalentar la zona de penetración con aire caliente, para perforar la geomembrana y facilitar la entrada de la aguja.

Usando la bomba de aire manual o mecánica, se inyecta aire hasta que la presión alcance los 35 psi, y se espera por un intervalo de (2) minutos para que la presión del aire se estabilice, después de este tiempo se controla la presión de aire durante (5) minutos para ver si se presentan fugas a lo largo de la soldadura por fusión. Además, se recomienda utilizar las presiones de prueba de acuerdo al espesor de la geomembrana, como se muestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Rango de presiones para prueba de aire de acuerdo al espesor de la lámina.

Espesor de Lamina HDPE	Rango de Presión				Caída de Presión Permitida (después de 3 min)	
	Mínima		Máxima			
Mm	KPa	PSI	KPa	PSI	KPa	PSI
1.0	193	28	241	35	21	3
1.5	193	28	241	35	21	3
2.0	193	28	241	35	21	3
2.5	193	28	241	35	21	3

Nota. En la Tabla se muestra las presiones de prueba de acuerdo al espesor de la Geomembrana

La prueba de aire se considera APROBADA si, después de un período de espera de 5 minutos, la diferencia entre las presiones inicial y final es menor o igual a 3 psi.

Si la diferencia entre la presión inicial y la final es superior a 3 Psi, se realizará nuevamente el mismo procedimiento hasta detectar la fuga en el conducto de aire, el Supervisor de Control de Calidad de acuerdo a su experiencia, puede retirar toda la soldadura por fusión y evitar hacer cortes innecesarios para acelerar los trabajos, o segmentar la junta de soldadura en intervalos más pequeños (½, ¼, etc.) para efectuar pruebas de aire sucesivas hasta encontrar la fuga o falla.

Si no se observan fugas de aire en la junta de soldadura, es recomendable verificar si el conducto de aire se encuentra si obstrucciones y que efectivamente la prueba de aire se ha considerado a lo largo de toda la junta de soldadura. Para hacer esto se corta el extremo opuesto del conducto en donde se encuentra la aguja y el manómetro, asegurándose de que el aire se haya drenado por completo y el manómetro haya bajado a cero. Para una prueba exitosa, la presión de aire debe bajar inmediatamente cuando se corta el extremo opuesto de la entrada de aire.

Si después de cortar el extremo opuesto al ingreso de aire, el aire presurizado en el orificio de la costura no sale bruscamente, esto es un signo de obstrucción por quemadura o deslizamiento de la soldadura por fusión, esta falla

se debe reparar inmediatamente y volver a ejecutar la prueba de aire en el conducto que corresponda

Durante la ejecución de la prueba de aire, se verifica la junta de soldadura y se escucha atentamente cualquier ruido que indique la presencia de una fuga de aire. Adicionalmente, se puede utilizar una solución de jabón similar a la utilizada en las pruebas de vacío debajo de las aletas de la soldadura por fusión y se observa la aparición de burbujas que sería indicativo de una fuga.

El técnico de control de calidad debe registrar la siguiente información en el sitio de prueba, como se visualiza en la Figura 12.

Figura 12

Ejemplo de registro en sitio de Prueba de Aire.

N° de Prueba	20
Ubicación	P-125/P-126
Presion / Psi	HORA
35	9:20
35	9:25
AT	PASA
Fecha	11/7/2017
Tecnico QC	J. C.
En caso de Falla: **AT** | **FALLA** y posterior a la Reparación se vuelve a realizar la prueba	
Rep. AT	PASA

Nota. Elaborado por el Autor

2.5.2.1.2 Prueba de Vacío "Vacuum Test"

Las pruebas de vacío, de acuerdo con las normas ASTM D 4437 y ASTM D 5641, se realiza en soldaduras de tipo extrusión, en áreas de parches y reparación, o cualquier área donde no se pueda aplicar una prueba de presión de aire. También se puede usar en casos excepcionales en soldaduras de fusión por cuña para determinar fallas, pero no sustituye a la prueba por presión de aire.

En la prueba de presión de aire y la prueba de cámara de vacío, cualquier soldadura que no cumpla con los criterios especificados se identifica, repara y se

realiza la prueba nuevamente. Los procedimientos de control de calidad también deben estar completamente documentados.

El equipo adecuado para las pruebas por soldadura de extrusión incluye lo siguiente:

- Una cámara de vacío, que consta de una caja rígida con una ventana transparente, en la base debe estar adherida un empaque suave de goma, así como un puerto de salida ubicado a un extremo de la cámara.
- Un manómetro de vacío calibrado y certificado (vacuómetro)
- Una bomba de vacío equipada con un regulador de presión con sus accesorios para una conexión de manguera de goma.
- Una manguera de goma de presión/vacío con sus racores y accesorios.
- Una solución con agua y jabón líquido.

Procedimiento:

El parche o junta de prueba debe estar limpio, libre de polvo y residuos de fragmentos de geomembrana u otros materiales que puedan alterar los resultados de la prueba.

Se prepara una solución de agua y jabón líquido hasta que se produzca espuma, luego se aplica esta solución de espuma en el parche o zona prueba aproximadamente 90 cm a lo largo de la costura con la solución espumosa.

Se coloca la cámara de vacío sobre el área con solución espumosa, aplicando presión manual sobre la cámara y al mismo tiempo encender la bomba de vacío para crear una presión negativa dentro de la cámara, formándose un sello libre de fugas entre el empaque y la superficie de soldadura por extrusión en la geomembrana.

Como es una presión negativa creada por la succión sobre la soldadura por extrusión, esta presión en la cámara de vacío se debe mantenerse durante 15 a 20 segundos, con una presión entre 28 kpa a 55 kpa. Además, se recomienda utilizar las presiones de prueba que se enumeran en la Tabla 2.

Tabla 2

Rango de presiones para prueba de vacío de acuerdo al espesor de la lámina.

Espesor de Lamina HDPE	Rango de Presión					
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Mm	Kpa		PSI		pulg/hg	
1.0	28	55	4.0	8.0	8.27	16.24
1.5	28	55	4.0	8.0	8.27	16.24
2.0	28	55	4.0	8.0	8.27	16.24
2.5	28	55	4.0	8.0	8.27	16.24

Nota. En la Tabla se muestra las presiones de prueba de acuerdo al espesor de la Geomembrana

Se observa la junta probada a través de la ventana transparente de la cámara. En caso de encontrar falla por fuga, serán detectadas a través de la solución jabonosa porque se formarán burbujas en el punto de falla. Si se detectan orificios en la junta, deben ser marcados, registrados, reparados y luego sometidos a prueba de vacío nuevamente.

De no encontrar burbujas en la zona de junta, se da por terminada la prueba, se libera la presión de vacío de la cámara y se traslada la cámara sobre la siguiente área húmeda manteniendo una superposición de 10 cm. con relación al área sometida a prueba con anterioridad.

Todas las soldaduras que son probadas con cámara de vacío, se deben anotar sobre la geomembrana la información de la prueba y también en los Formularios de Pruebas No Destructivos. El técnico de control de calidad debe registrar la siguiente información en el sitio de prueba, como se visualiza en la Figura 13.

Figura 13

Ejemplo de registro en sitio de Prueba de Vacío.

N° de Prueba	16
Ubicación	P-125/P-126
Hora	14:26
VT	PASA
Fecha	11/7/2017
Tecnico QC	J. C.
En caso de Falla: **VT** | **FALLA** y posterior a la Reparación se vuelve a realizar la prueba	
Rep. VT	PASA

Nota. Elaborado por el Autor

2.5.2.2 Pruebas Destructivas de Soldaduras en Campo

Las pruebas destructivas son realizadas en zonas seleccionadas al azar, o donde se considere necesario, a solicitud del Supervisor de Control de Calidad. El Supervisor de Control de Calidad debe verificar la extracción de todas las muestras destructivas, la frecuencia con que se deben tomar las muestras para las Pruebas Destructivas será cada 100 m lineales tanto para soldadura por fusión como la soldadura por extrusión, obteniéndose así una muestra de soldadura de 0.30 m de ancho x 1.0 m de largo según las Especificaciones Técnicas del Proyecto y los Estándares Internacionales para Geosintéticos. Las Pruebas destructivas incluyen la prueba de esfuerzo al corte "*shear*" y la prueba esfuerzo al pelado "*peel*". Se probarán un total de 10 especímenes o cupones de esta muestra y serán probadas en corte y pelado respectivamente (5 de corte y 5 de pelado). Si los resultados de las pruebas no son satisfactorios se debe extraer nuevamente una muestra dentro de una distancia de 3.0 m alrededor de la zona inicialmente probada y se volverá a realizar la prueba hasta obtener un resultado satisfactorio. Todas las soldaduras no conformes serán debidamente identificadas reparadas y sometidas a prueba nuevamente.

Los criterios de aceptación de resultados en las pruebas a los especímenes o cupones están relacionados en base a la *Norma GRI Test Method* GM19 y a la ASTM D6392, (ver **ANEXO D** criterios de aceptación de resultados en los cupones de Prueba).

2.5.2.2.1 Pruebas Destructivas en Soldaduras por Fusión

Las pruebas destructivas de soldaduras por fusión se realizan con tensiómetros calibrados y aprobados. La muestra extraída de la costura de campo es sometida a prueba por el técnico del tensiómetro autorizado, también él es responsable de verificar los resultados y confirmar si la prueba es satisfactoria, y además informa al Supervisor de Control de Calidad de los resultados obtenidos en las Pruebas.

Estas Pruebas Destructivas determinan las características mecánicas de las soldaduras, pero no indican si la unión de soldadura es hermética. Las pruebas destructivas se realizan en lugares seleccionados y marcados por el Cliente (SPCC), a menos que el Cliente faculte al Supervisor de Control de Calidad de hacer esta actividad a su criterio. La prueba destructiva del espécimen debe comprender pruebas de resistencia al pelado "*peel*" y al corte "*shear*" según la Norma ASTM D 6392.

La prueba destructiva consiste en extraer muestras de la unión de soldadura efectuada en campo de 1.0 m de largo por 0.3 m de ancho con la unión en el centro para soldadura por fusión, la muestra se dividirá en tres (3) partes iguales de las cuales el Contratista y el Cliente SPCC se quedan con la primera (1) y segunda (2) muestra y en la tercera (3) se realiza la prueba destructiva de campo. Tanto en la muestra como en el panel de geomembrana se anota: la fecha y hora de soldadura, temperatura ambiente, número de máquina, parámetros de soldadura utilizados, ubicación y nombre del técnico soldador.

De la tercera (3) muestra se cortan 10 cupones de 1 pulgada de ancho y 6 pulgadas de largo; estos cupones son numerados consecutivamente, en los 5 cupones con números impares se realiza la prueba en resistencia al pelado (*peel*) y en los otros 5 cupones con números pares se realizan la prueba mediante resistencia al corte (*shear*). En la soldadura por fusión los cupones de prueba "*peel*" se realizan por ambos lados. Los valores obtenidos de las pruebas en "*peel*" como "*shear*" son registrados en los formatos respectivos para su control documentario.

Todos los cupones extraídos fueron sometidos a la prueba destructiva en el tensiómetro calibrado, y probados por el Técnico de Control de Calidad experimentado y autorizado por la Supervisión. El Técnico de Control de Calidad

debe operar el tensiómetro de acuerdo al Estándar Internacional ASTM D6392, a una velocidad de prueba a 2.0 pulg/min o 51 mm/min en geomembrana HDPE.

Los criterios de aceptación de resultados en las pruebas a los cupones para resistencia al corte "shear" son:

- Tipo de Rotura: FTB (*Film Tearing Bond*) soldadura con lámina rasgada, rotura ocurrida al exterior del área de soldadura.
- Inspección visual (porosidad, adhesión, limpieza).
- Los 5 cupones cumplen con la resistencia mínima, por lo tanto, se consideran aceptables de acuerdo a las especificaciones técnicas para geosintéticos y la ASTM D6392.
- La Resistencia Mínima requerida será dado por las Especificaciones Técnicas para Geosintéticos o de acuerdo a lo que indique la norma GRI 19.
- La elongación deberá ser ≥ 50% durante esta prueba en HDPE ("*strain test*").

Los criterios de aceptación de resultados en las pruebas a los cupones para resistencia al pelado "peel" son:

- Tipo de Rotura: FTB (*Film Tearing Bond*) soldadura con lámina rasgada en la adhesión con no más de 10 % de penetración de pelado en la soldadura, rotura ocurrida al exterior del área de soldadura.
- Inspección visual (porosidad, adhesión, limpieza).
- Los 5 cupones cumplen con la resistencia mínima, por lo tanto, se consideran aceptables de acuerdo a las especificaciones técnicas para geosintéticos y la ASTM D6392.
- La longitud lineal de despegue debe ser < 25% para HDPE de acuerdo al tipo de roturas aceptables e indicadas por el *GRI Test Method GM19.*

Las pruebas destructivas se consideran aprobados si cumple con los criterios de aceptación, establecidos en las especificaciones Técnicas para Geosintéticos o de acuerdo a lo que indique la norma GRI 19 y ASTM D6392. En caso de no cumplir con los criterios de aceptación, o si uno o más de los cupones no cumplen con las especificaciones técnicas establecidas, la prueba se la considera Fallida.

En caso de que los resultados de la prueba destructiva no sean satisfactorios o sean fallidas, se deben extraer dos muestras “A” y “B” adicionales a una distancia no mayor de 3.0 m (muestra obtenida en ambos sentidos de la primera muestra). Estas nuevas muestras deben someterse a prueba de la misma manera, 5 cupones para *peel* y 5 cupones para *shear* de las muestras “A” y “B”, hasta obtener resultados satisfactorios.

Como las pruebas en los cupones dieron un resultado satisfactorio positivo, el área afectada se debe reparar con un reemplazo de geomembrana o con una huincha de geomembrana de 60 cm entre una unión y la otra a fin de evitar un recalentamiento en el material, para luego realizar las pruebas no destructiva a la soldadura por fusión (air test) y dar pase al parchado respectivo por soldadura por extrusión. No se permiten reparaciones mediante la aplicación de cordones de soldadura por extrusión sobre cordones de soldadura existente en los paneles de geomembrana.

Estas nuevas reparaciones realizadas en las áreas intervenidas deberán someterse a los mismas Pruebas No destructivas y destructivas para garantizar la calidad en los trabajos de reparación.

Los cupones de prueba realizados no serán desechados sino antes ha sido revisado por la Supervisión del Proyecto y por el Inspector CQA del cliente SPCC, y además deben ser identificados y registrados tanto en la geomembrana como en los formatos respectivos y se debe registrar sus firmas en el protocolo de prueba destructiva.

2.5.2.2.2 Pruebas Destructivas en Soldadura por Extrusión

Las pruebas destructivas en las soldaduras por extrusión se realizan con un tensiómetro certificado y calibrado. Las muestras destructivas se obtienen de cordones o áreas que fueron reparadas en campo realizando cortes perpendiculares a los cordones. La frecuencia para la obtención para muestras de prueba destructiva no es inferior a una muestra por cada 100 m de soldadura en campo.

La Prueba Destructiva para las soldaduras por extrusión consiste en tomar una muestra de 1.0 m de largo por 0.3 m de ancho. Esta muestra se corta a su vez, en tres (3) muestras de 0.3 m por 0.3 m y se etiquetan con el número de prueba, número de máquina, parámetros de soldadura usados, temperatura

ambiente, los datos del soldador, fecha y hora de soldadura y la ubicación, el Contratista conserva la primera muestra y el Cliente SPCC conserva la segunda muestra. El Técnico de Control de Calidad realiza la prueba destructiva en la tercera (3) muestra empleando un tensiómetro calibrado, él es el único responsable de la ejecución de la prueba y de comunicar al Supervisor de Control de Calidad los resultados de las pruebas de acuerdo con las Normas ASTM D6392 aplicables, según corresponda.

De la muestra (3) se cortan 10 cupones de 1 pulgada de ancho por 6 pulgadas de largo, los cuales se enumeraron correlativamente, en los números impares se realiza la prueba para la resistencia al pelado "*peel*" y los números pares se realiza la prueba de resistencia al corte "*shear*". Los valores de cada cupón, tanto en "*peel*" como "*shear*" son registrados en sus formatos de control documentario respectivos.

Todos los cupones extraídos son sometidos a las Pruebas Destructivas en el tensiómetro calibrado, y son probados por el Técnico de Control de Calidad experimentado y autorizado por la Supervisión, el Técnico del tensiómetro debe operar el tensiómetro de acuerdo al Estándar Internacional ASTM D6392, a una velocidad de prueba a 2.0 pulg/min o 51 mm/min en geomembrana de HDPE.

Los criterios de aceptación de resultados en las pruebas a los cupones para resistencia al corte "shear" son:

- Tipo de Rotura: FTB (*Film Tearing Bond*) soldadura con lámina rasgada, rotura ocurrida al exterior del área de soldadura.
- Inspección visual (porosidad, adhesión, amoladura y limpieza).
- Los 5 cupones cumplen con la resistencia mínima, por lo tanto, se consideran aceptables de acuerdo a las especificaciones técnicas para geosintéticos y la ASTM D6392.
- La Resistencia Mínima requerida será dado por las Especificaciones Técnicas para Geosintéticos o de acuerdo a lo que indique la norma GRI 19.
- La elongación deberá ser ≥ 50% durante esta prueba en HDPE ("*strain test*").

Los criterios de aceptación de resultados en las pruebas a los cupones para resistencia al pelado "peel" son:

- Tipo de Rotura: FTB (*Film Tearing Bond*) soldadura con lámina rasgada en la adhesión con no más de 10 % de penetración de pelado en la soldadura, rotura ocurrida al exterior del área de soldadura.
- Inspección visual (porosidad, adhesión, amoladura y limpieza).
- Los 5 cupones cumplen con la resistencia mínima, por lo tanto, se consideran aceptables de acuerdo a las especificaciones técnicas para geosintéticos y la ASTM D6392.
- La longitud lineal de despegue debe ser < 25% para HDPE de acuerdo al tipo de roturas aceptables e indicadas por el *GRI Test Method GM19.*

Las pruebas destructivas se consideran aprobados si cumple con los criterios de aceptación, establecidos en las especificaciones Técnicas para Geosintéticos o de acuerdo a lo que indique la norma GRI 19 y ASTM D6392. En caso de no cumplir con los criterios de aceptación, o si uno o más de los cupones no cumplen con las especificaciones técnicas establecidas, la prueba se la considera Fallida.

Como las pruebas en los cupones dieron un resultado satisfactorio positivo, el área afectada se debe reparar con un reemplazo de geomembrana o con una huincha de geomembrana de 60 cm entre una unión y la otra a fin de evitar un recalentamiento en el material, para luego realizar las pruebas no destructiva a la soldadura por fusión (*air test*) y dar pase al parchado respectivo por soldadura por extrusión. No se permiten reparaciones mediante la aplicación de cordones de soldadura por extrusión sobre cordones de soldadura existente en los paneles de geomembrana.

Estas nuevas reparaciones realizadas en las áreas intervenidas deben someterse a las mismas pruebas No destructivos y destructivos para garantizar la calidad en los trabajos de reparación.

Los cupones de prueba realizados no serán desechados sino antes ha sido revisado por la Supervisión del Proyecto y por el Inspector CQA del Cliente SPCC, y además deberán ser identificados y registrados tanto en la geomembrana como en los formatos respectivos y se debe registrar sus firmas en el protocolo de prueba destructiva.

2.5.3 Soldadura por Extrusión de Geomembrana a Perfil de Polietileno

La conexión de la geomembrana con la estructura de concreto se realiza mediante la incrustación de un perfil de polietileno HDPE en la parte superior de la estructura, este perfil se fija en el encofrado antes del vaciado de concreto, de manera que el perfil de polietileno quede integrado a la estructura de concreto.

Una vez fraguado el concreto se procederá a retirar el encofrado, se limpia el perfil de polietileno retirando todo material adherido y se procede a soldar la geomembrana al perfil de polietileno HDPE mediante soldadura por extrusión.

Este sistema de anclaje de la geomembrana a la estructura de concreto, es una buena solución técnica y además crea un sistema de compartimentación, lo cual evita que el agua se propague de un compartimento a otro por infiltración (ver **ANEXO A1** detalle de anclaje de geomembrana a estructura de concreto).

2.5.4 Inspección Final y Aceptación del Área Instalada con Geomembrana

Esta es la fase final del proceso de instalación de geomembrana al 100%, el Supervisor de Control de Calidad realiza una inspección final para verificar la ejecución de las Pruebas de Control de Calidad de todas las juntas de Fusión y Extrusión y realiza las inspecciones necesarias en áreas donde las reparaciones que a su criterio merezcan ser reparadas.

Después de inspeccionar el área de instalación y confirmar que la documentación de registro está completa, el Supervisor de Calidad con la participación de los Técnicos, realiza caminatas finales, para confirmar que todas las reparaciones se hayan realizado correctamente, que todos los resultados de las pruebas sean aceptados y que el área de instalación se encuentre limpia de cualquier tipo de material y los escombros hayan sido retirados del lugar.

Luego se procederá a la firma del formato de aceptación del área. Solo después de que el área cubierta por la geomembrana haya sido inspeccionada, evaluada y aprobada y aceptada por el Cliente SPCC, después de esto se podrá colocar el material de amortiguamiento sobre el revestimiento instalado.

CAPÍTULO III

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

3.1 Antecedentes de la investigación

Entre algunos estudios relacionados con el presente tema podemos mencionar:

3.1.1 Antecedentes Internacionales

Escobar, O. (2015). Concluye que mediante el revestimiento del bordo con geomembrana plástica se aprovecha efectivamente la cantidad de agua captada en el escurrimiento superficial, de igual forma determina que el agua captada en la cuenca puede almacenar un volumen máximo de 1.651.17 m^3, debido al uso de geomembranas como impermeabilizante y evitar pérdida por infiltración y además se tiene en cuenta que la pérdida que se presenta por evaporación es de 4.67 mm/día, también se considera que el agua de lluvia captada son de gran importancia para el área de estudio. Además, se concluye que las geomembranas están diseñadas para soportar rayos ultravioletas, y tienen una aplicación ampliamente utilizadas en la recuperación por lixiviación de varios tipos de metales debido a sus propiedades impermeabilizantes, así como su durabilidad frente a los rayos solares, y propiedades de resistencia a la tensión mecánica e hidrostática y gran resistencia para que su durabilidad sea superior a los 10 años.

Valencia, M. (2010). Concluye que la geomembrana de polietileno de alta densidad es la más apta para aplicación en obras civiles para la contención de líquidos, residuos peligrosos, químicos y en aplicaciones a la intemperie por su contenido de negro de humo 2-3%, lo cual permite que tenga gran resistencia al envejecimiento por la acción de la radiación ultravioleta, a la variación de humedad, a los agentes externos y la temperatura.

Flores, F. (2004). Se concluye que el uso de geosintéticos son una alternativa real para solucionar problemas comunes que se presentan en obras civiles como contaminación de materiales, mezcla de materiales en diversas

capas y evita la acumulación de agua por falta de drenaje adecuado, además de ser elaborados a base de polímeros cuyas principales características son su bajo costo brinda una opción favorable para aumentar la calidad en las obras, considerando también como una ventaja en comparación con otros materiales, es su vida útil que va de los 5 a los 10 años según el tipo de aplicación en obra y el control de calidad.

López, E. (2012). Su investigación se ha centrado en los aspectos relacionados con el buen desempeño de la pila, y para ello se estudió los aspectos relacionados con la permeabilidad del material, teniendo en cuenta el tipo de fluido contenido. Para ello se realizaron ensayos de permeabilidad, empleando soluciones compuestas de ácido sulfúrico y agua destilada, simulando la solución utilizada en los procesos de lixiviación. Se realizaron ensayos en tres minerales provenientes de las minas El Tesoro, Collahuasi y Spence. En esta investigación también se incluyó ensayos, en donde las muestras fueron expuestas al flujo de la solucione ácidas durante un mes, realizando mediciones aproximadamente diarias de la permeabilidad.

Godoy, C. (2011). Plantea como objetivo actualizar las expresiones de diseño, que ayuden a estimar el espesor de la geomembrana requerida para así evitar el efecto del punzonado de ésta y perder la estanqueidad en la base del depósito. Las geomembranas estudiadas son de polietileno de alta densidad (HDPE). Para determinar su resistencia, se realizaron ensayos de punzonado hidrostático, que correlaciona la presión hidrostática, provocando una rotura con el tamaño máximo y geometría de las partículas del material drenante.

3.1.2 Antecedentes Nacionales

Llanos, E. & Llanos, N. (2019). Concluye que los ensayos realizados en temperaturas entre los 260 °C a 270 °C su resistencia al corte y desgarro cumple lo establecido por GM-19, los cupones soldadura por extrusión a temperatura de 250 °C tienen falla al corte del 90 % y no presenta fallas al desgarro, a temperatura de 280 °C tienen falla al corte del 60 % y no presenta fallas al desgarro y a temperatura de 290 °C tienen falla al corte del 50 % y no presenta fallas al desgarro; en tanto los cupones de soldadura por fusión con velocidades entre los 5 m/min a 8 m/min su resistencia al corte y desgarro se encuentra de acuerdo a lo establecido por GM-19, los cupones de soldadura por fusión a una velocidad de 9 m/min tienen falla al corte del 80 % y no presenta fallas al desgarro.

Cabanillas, E., Condori, J. & Roque, G. (2021). Se concluye que el objetivo principal fue identificar y evaluar las herramientas de calidad durante los procesos de instalación de geomembrana, mediante análisis de datos de campo en la construcción de una plataforma de lixiviación de 14.91 hectáreas. También se logró identificar y determinar las herramientas de control de calidad más relevantes y aplicables durante el proceso de instalación de geomembrana tales como; las listas de chequeo para verificar el buen estado de los equipos utilizados y para identificar anomalías antes de iniciar actividades e implementar correcciones con mucha anticipación; los diagramas de causa efecto usados para identificar causas que ocasionan fallas durante la instalación de geomembrana todo referido a mano de obra, métodos de trabajo, materiales, equipos y condiciones ambientales; el diagrama de Pareto que ayudo a identificar el 20% de deficiencias relacionadas a mano de obra y método de trabajo, esto indica que se debe incidir en la capacitación al personal técnico encargado de ejecutar los trabajos de instalación; el diagrama de dispersión que permitió identificar los valores mínimos requeridos para los diferentes tipos de soldaduras, deben tener un valor mínimo requerido de 98 lbs/pulg; el histograma permitió conocer que la mayor incidencia de fallas durante la instalación de geomembrana se dio en la semana 25 con un 33% para pruebas iniciales de soldadura por fusión y la semana 34 con un 32% para pruebas iniciales de soldadura por extrusión.

Medina, J. (2018), Este plan está elaborado para el sector minero, dirigido a profesionales, técnico y a público en general, brindando toda la información de fácil entendimiento. También expone que los geosintéticos son fabricados a partir de polímeros derivados del petróleo, gracias a sus propiedades se utilizan para mejorar y ejecutar ciertos proyectos de construcción, ingeniería y geotecnia como control de la contaminación, redistribución de esfuerzos, control de la permeabilidad, refuerzos de terraplenes, filtración, drenaje, entre otros. Además, hace mención que en el Perú hay un déficit de normas sobre el control y aseguramiento de la calidad para geosintéticos, este déficit obliga a trabajar con estándares internacionales como las Normas ASTM y ASME.

Cano, W. (2014). Detalla en forma concisa el desarrollo del proyecto de construcción del Pad de lixiviación, donde menciona los controles y pruebas realizados en cada fase de la construcción, determinado por el cronograma del proyecto y los documentos de gestión de calidad, tales como, el plan de calidad, procedimientos de prueba y el plan de inspección. Los procedimientos de

construcción y capacitación, incluido el plan de calidad también se llevan a cabo con referencia las especificaciones técnicas proporcionadas por el cliente, las cuales incluyen las normas internacionales de construcción (AWS, ASTM, AIC, entre otras).

Merino, J. (2014). El Proyecto fue ejecutado en la Unidad Minera Yanacocha – Cajamarca, durante la construcción de la Poza Cajamarquina, el objetivo de esta investigación fue verificar el grado de cumplimiento de las normas de aseguramiento de la calidad en la construcción, empleando Polietileno de Alta Densidad (HDPE), bajo los parámetros del Estándar ISO 9001: 2000. Los ensayos y la toma de datos, se realizaron durante la construcción de la poza, de acuerdo con las normas ASTM; para la colocación de la geomembrana de polietileno se utilizaron Protocolos de Control de la Calidad, estos permitieron verificar el cumplimiento de los parámetros del Aseguramiento de la Calidad de acuerdo a Estándares de la Calidad y bajo los parámetros de la ISO 9001:2000.

Jacay, A. & López, F. (2013). En su investigación observo los resultados de los ensayos tanto para la soldadura por fusión y la soldadura por extrusión, para obtener los parámetros óptimos de soldadura fue necesario realizar las pruebas iniciales de soldadura antes de realizar la soldadura en campo. Además, considera que se debe tener en cuenta las condiciones climáticas del entorno donde se ejecutara el proyecto ya que de ella dependen las variaciones que se realizan al momento de programar los parámetros correctos en la máquina de soldar, tanto para la máquina de soldadura por extrusión como para la máquina de soldadura por fusión

3.2 Formulación de Objetivos

3.2.1 Objetivo General

- Establecer las Herramientas y Normas de Control de Calidad aplicados al proceso de instalación de geomembrana de polietileno alta densidad HDPE en el Tanque de Agua Fresca N° 2

3.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer un Control de la Calidad al proceso de instalación de geomembranas de polietileno de alta densidad por medio de Pruebas e Inspecciones a las uniones realizadas con soldadura por extrusión y

soldadura por fusión de acuerdo a lo establecido en los Estándares Internacionales.

- Verificar como el Control de Calidad mejora la instalación del revestimiento con geomembrana en la base del tanque de agua, permitiendo eliminar los defectos en la soldadura por fusión y extrusión con el fin de prevenir la infiltración de líquidos hacia el suelo de baja permeabilidad y aguas subterráneas.
- Verificar el grado de cumplimiento de los parámetros del Aseguramiento de la Calidad en el proceso de instalación de Geomembranas de polietileno de alta densidad HDPE.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

Con respecto a la geomembrana HDPE utilizada para impermeabilizar la base del tanque N°2, se eligió este material por su alta resistencia a la acción química, calificado como el más indicado para impermeabilización, debido a su peso molecular posee mayor resistencia a la tracción, al impacto y resistencia a la degradación, esto ayuda a evitar la filtración de los fluidos protegiendo de cualquier contaminación al medio ambiente. Lo cual apoya lo señalado Medina, J. (2018), indicando, que los geosintéticos son fabricados a partir de polímeros derivados del petróleo, gracias a sus propiedades se utilizan para mejorar y ejecutar ciertos proyectos de construcción, ingeniería y geotecnia como control de la contaminación, redistribución de esfuerzos, control de la permeabilidad, refuerzos de terraplenes, filtración, drenaje. Esto lo ratifica Valencia, M. (2010), quien le da mayor énfasis a la teoría establecida, que la geomembrana de polietileno de alta densidad es la más apta para aplicación en obras civiles para la contención de líquidos, residuos peligrosos, químicos y en aplicaciones a la intemperie por su contenido de negro de humo 2-3%, lo cual permite que tenga gran resistencia al envejecimiento por la acción de la radiación ultravioleta, a la variación de humedad, a los agentes externos y la temperatura.

Se aplicaron pruebas destructivas y no destructivas para el Control de Calidad durante el proceso de impermeabilización en el Tanque N° 2 con el objetivo de medir la calidad en la impermeabilización de la geomembrana instalada y para conocer la perfecta integridad de las juntas de soldadura. Por su parte el autor Jaca, A. & López, F. (2013), señala que, para alcanzar los parámetros óptimos de soldadura en geomembranas, es necesario realizar pruebas iniciales a las juntas de soldadura por fusión y extrusión antes de comenzar los trabajos en campo, ya que estas son de vital importancia para la llevar a cabo una correcta impermeabilización y evitar cualquier complicación durante el proceso de instalación de la geomembrana. Sin embargo, en el estudio de Cabanillas, E., Condori, J. & Roque, G. (2021), identifica y evalúa herramientas

de control de calidad durante los procesos de instalación de geomembrana mediante análisis de datos de campo, dando mayor relevancia a las listas de chequeo, diagrama de causa efecto, diagrama de Pareto, diagrama de dispersión, diagrama de flujo e histograma con la finalidad de minimizar costos y tiempos utilizados en trabajos ejecutados de manera inadecuada. Asimismo, Merino, J. (2014) ratifica que el grado de cumplimiento de las normas de aseguramiento de la calidad durante la instalación del revestimiento de la geomembrana debe cumplir lo establecido por la norma ISO 9001 :2000, ello involucra que los procesos cuentan con una adecuada gestión de calidad, fueron ejecutados de manera adecuada a fin de lograr una estructura perdurable y sostenible durante el tiempo para el que fue diseñada.

El Control de Calidad para determinar los valores aceptables en las Pruebas No Destructivas efectuadas a los cupones de soldadura por fusión y extrusión, se toma como parámetro lo establecido en la norma ASTM D4437 o la norma *GRI Test Method GM19* y para las Pruebas Destructivas se toma la norma ASTM D6392. Por otra parte, Llanos, E. & Llanos, N. (2019), al estudiar el comportamiento de la resistencia al corte y al pelado en cupones de prueba destructivas determino que teniendo temperaturas entre los 260 °C a 270 °C su resistencia al corte y desgarro cumple lo establecido en la norma GRI GM-19. Por su parte el autor Medina, J. (2018), indica que en el Perú hay carencia de normas sobre el Control y Aseguramiento de la calidad para los geosintéticos, la única entidad que brinda las normas técnicas peruanas es el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), que es la encargada de acreditar laboratorios, calibrar instrumentos; pero esta entidad no brinda Normas para métodos de Prueba en geosintéticos; debido a esto se trabaja con Estándares Internacionales como las Normas ASTM, ASME, para obtener mejoras en los procesos de Aseguramiento de la Calidad.

CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo principal que es el establecer las herramientas y normas de Control de Calidad que se aplican durante el proceso de instalación de geomembrana de polietileno de alta densidad HDPE en el Tanque de Agua Fresca N° 2. El procedimiento de Control de Calidad para las Pruebas No Destructivas y Destructivas se ejecutó acorde a los Estándares y Normas según la ASTM *(American Society for Testing and Materials*) para Geosintéticos en cuanto a calidad y numero de pruebas aplicados en campo. Además, se tiene la certificación y aprobación del personal y los equipos con la finalidad de asegurar una instalación libre de fallas.

Durante la ejecución del proyecto se ha logrado identificar y establecer los Estándares de Control de Calidad más relevantes y aplicables al proceso de instalación de geomembrana en la construcción del tanque de agua fresca N° 2, se aplicó múltiples procedimientos de Control de Calidad a las uniones de soldadura por fusión y extrusión, identificados en dos grupos: Pruebas No Destructivas (ASTM D4437, ASTM D5820 y ASTM D5641) y Pruebas Destructivas (ASTM D6392, GRI -GM19a).

Se demostró que el control de calidad aplicado al proceso de instalación de geomembrana, se realizó mediante un monitoreo constante antes y después de la instalación, a través de las Pruebas Destructivas y No Destructivos permitiendo eliminar defectos en las uniones de soldadura. La aceptación en cada proceso de instalación y soldadura de la geomembrana permitió solucionar problemas de infiltración de líquidos percolados a través del suelo de baja permeabilidad y evitar la degradación de las aguas subterráneas.

Se logro ejecutar las Pruebas de Control de Calidad adecuados en este proyecto, con el respectivo registro documentado de cada Prueba en los Protocolos de Calidad, para lograr una adecuada ejecución durante la instalación de la geomembrana, de acuerdo a los Estándares Internacionales ASTM de Calidad actuales, logrando garantizar su impermeabilización y adecuado funcionamiento a lo largo de una línea de tiempo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda antes de iniciar la ejecución del proyecto exigir al proveedor de la geomembrana, la ficha técnica de los geosintéticos a fin de verificar si las características del producto cumplen con las especificaciones técnicas del proyecto, además solicitar los Certificados de Calidad y Certificados de las respectivas Pruebas que se realizaron durante la fabricación del geosintético, esto con la finalidad de llevar un registro exhaustivo de la Calidad de los productos adquiridos.

Se sugiere que, para Supervisar trabajos de Control de Calidad, se debe contar con personal Calificado y Certificado en proyectos en instalación de geosintéticos o productos de polietileno de alta densidad HDPE.

Para trabajos relacionados a geosintéticos y geomembranas, se debe encomendar la ejecución de este tipo de instalación de geomembrana a empresas especializadas dedicadas a este rubro o empresas que cuenten con amplia experiencia en proyectos similares, debido a que ellos cuentan con profesionales y personal técnico especializado en el rubro.

Se recomienda tener en cuenta las condiciones atmosféricas del entorno donde se ejecuta la instalación de la geomembrana, ya que de ello depende realizar los ajustes a la máquina de soldar, tanto para la extrusora y la maquina cuña, estos influyen directamente en los parámetros de soldadura de la geomembrana. No trabajar bajo condiciones climáticas adversas, como temperaturas bajas extremas, presencia de lluvias, vientos fuertes, porque existe la probabilidad de no obtener una buena soldadura, dañar la maquina o riesgo de sufrir accidentes al desplazarse por la geomembrana.

Se sugiere realizar cada 4 a 5 horas (2 veces al día) de trabajo las Pruebas Iniciales de soldaduras en uniones por fusión y extrusión o cuando se presenten cambios significativos en las condiciones atmosféricas, con la finalidad de verificar que los parámetros de las soldaduras de las maquinas utilizadas cumplen con los Estándares de Calidad establecidas en las especificaciones técnicas.

BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials (ASTM). *Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods.* Recuperado el 10 de agosto de 2022 de https://www.astm.org/standards/d6392

Barboza Vásquez, M. A. (2014) *Rendimiento de Mano de Obra en Colocación de Geosintéticos, en Pozas de Almacenamiento de Agua del Proyecto Yanacocha – Cajamarca*, [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/299

Cabanillas Herrera, E., Condori Flores, J. R. y Roque Salazar, G. (2021) *Identificación de Herramientas de Control de Calidad del Proceso de Instalación de Geomembrana en la Construcción de una Plataforma de Lixiviación y Análisis de Resultados, 2021,* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Trujillo]. http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/665

Cano Pinto, W. (2014) *Control de Calidad en la Construcción de un Pad de Lixiviación,* [Informe Técnico, Universidad Nacional de San Agustín]. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNAS/2897

Escobar Morales, O. M. (2015) *Recubrimiento de Bordos de Captación de Agua con Geomembrana para Minimizar las Pérdidas por Infiltración e Incrementar la Eficiencia de Almacenamiento,* [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7601

Flores Gómez, F. J. (2004) *Geosintéticos Aplicados en Obras Civiles, [Tesis de Pregrado, Instituto Tecnológico de la Construcción].* Repositorio Institucional – Instituto Tecnológico de la Construcción.

Godoy Barbieri, C. A. (2011*) Estudio Experimental de Punzonamiento en Geomembranas en Interfaces de Depósitos de Minerales,* [Memoria de Pregrado, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104090

Huerta Luza, F. J. (2014) *Construcción del Re-Crecimiento del Depósito de Relaves N.- 4*, [Informe Técnico por Experiencia Profesional, Universidad Ricardo Palma]. https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/431

Jacay Gallardo, A. R. y Lopez Huaynate, F. R. (2013*) Uso de la Soldadura por Termofusión en la Impermeabilización con Geomembrana HDPE del Recrecimiento de los Diques N° 1 y N° 2 de la Relavera Rumichaca U.E.A. Carahuacra Cia. Minera Volcan S.A.A.,* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/ 20.500.12894/581

JR VERSAC (2022), *Nosotros la Empresa,* Recuperado el 16 de agosto de 2022 de http://www.versac.com.pe/nosotros-3.html

Llanos Chuquiruna, E. J. y Llanos Chuquiruna, N. A. (2019) *Resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE,* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21770

López Alfaro, E. J. (2012) *Estudio Experimental de la Permeabilidad de Materiales Depositados en Pilas de Lixiviación*, [Tesis para Grado de Magíster, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102744

Medina Rojas, J. A. (2018) *Plan de Aseguramiento y Control de Calidad para Geosintéticos Aplicado al Sector Minero,* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/ UNAS/6557

Merino Salazar, J. L. (2014) *Aseguramiento de la Calidad en la Construcción Usando Polietileno de Alta Densidad (HDPE),* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/ handle/ 20.500.14074/646

Pinedo Vargas, C. (2006) *Aplicación de Geomembranas en Pozas de Almacenamiento de Agua – Métodos Constructivos en Pozas Revestidas con Geomembrana, Aplicación en la Quebrada Antamina SWMP II,* [Informe de Suficiencia, Universidad Nacional de Ingeniería]. http:// cybertesis.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/16218

RENOLIT ALKORGEO (2022) *Impermeabilización de Canales.* https://www.renolit.com/fileadmin/renolit/waterproofing_civil_engineering/hydraulic_works/specifications_hydraulic_works_spanish/especificaciones-impermeabilizaci-n-de-canales.pdf

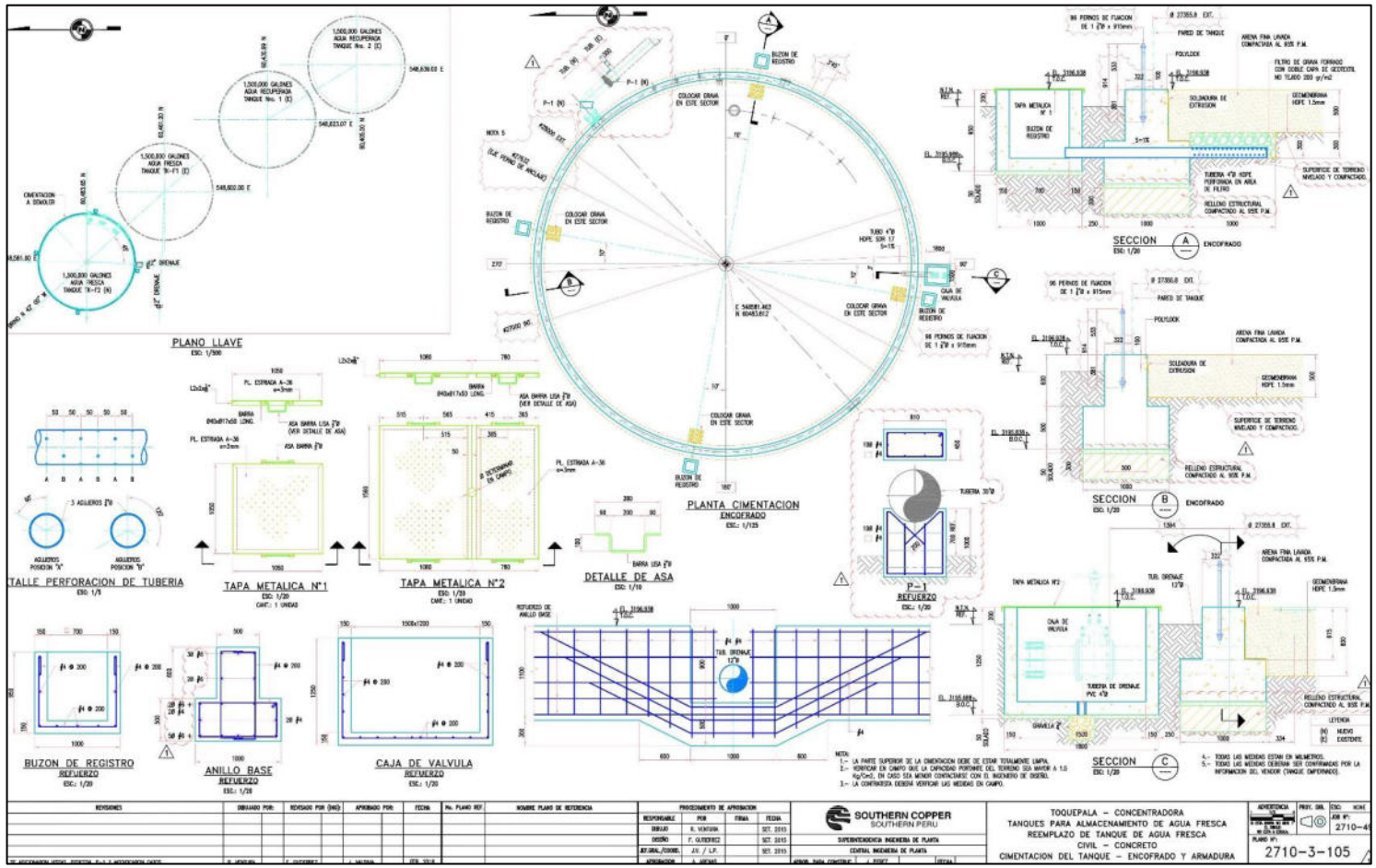
The Geosynthetic Institute (GSI*). Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Homogeneous Polyolefin Geomembranes/Barriers*. Recuperado el 10 de agosto de 2022 de https://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm19a.pdf

Valencia García, M. E. (2010) *Análisis Global de una Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de Ingeniería en Magallanes,* [Proyecto de Aplicación, Universidad de Magallanes]. http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/valencia_garcia_2010.pdf

ANEXOS

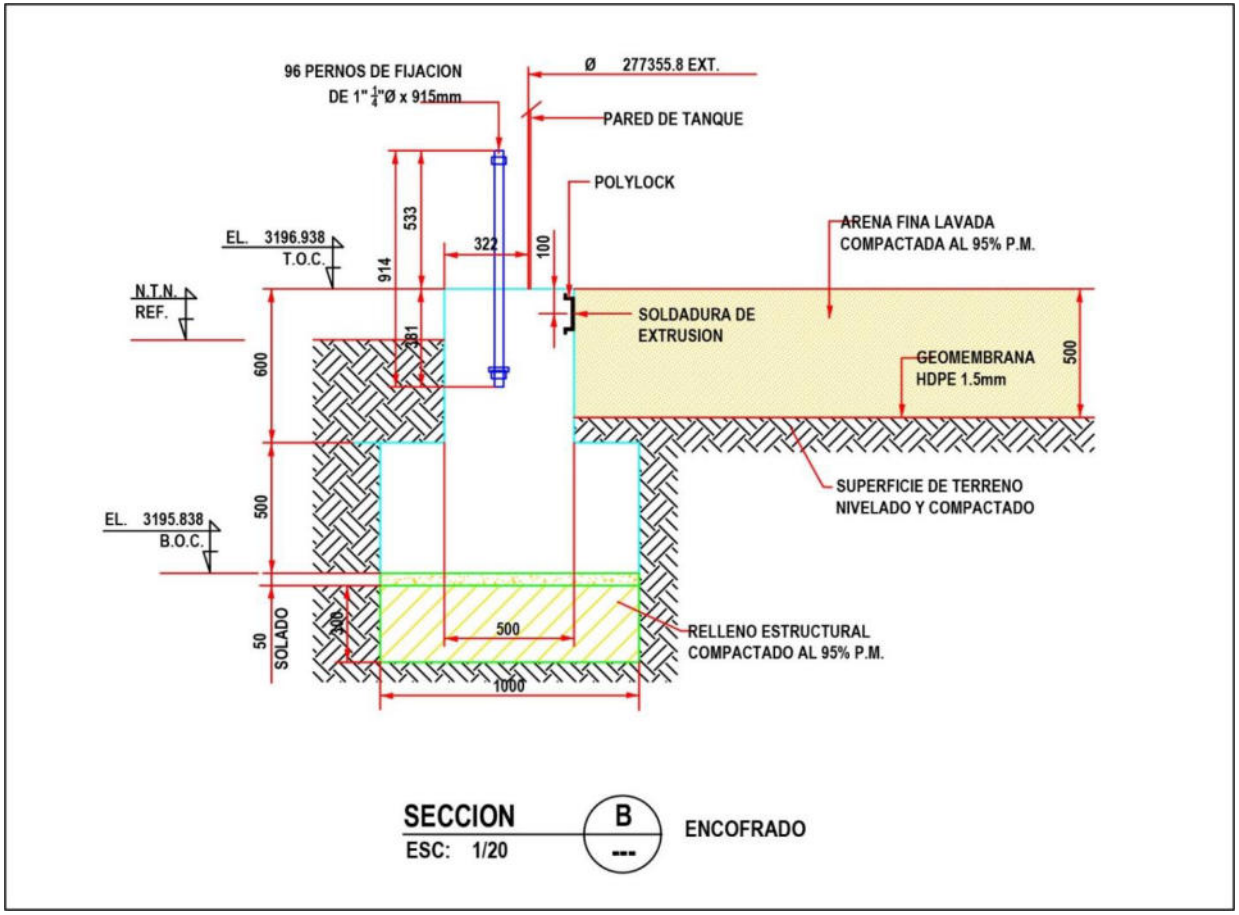
ANEXO A

Plano Civil – Concreto – Cimentación del Tanque – Encofrado y Armadura



ANEXO A1

Sección B – Detalle Anclaje de Geomembrana a Perfil (POLYLOCK) de Polietileno



ANEXO B

Propiedades de Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad HDPE

GEOMEMBRANAS LISAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)

PROPIEDADES ENSAYADAS	UNIDAD MEDIDA	METODO DE ENSAYO	VALOR MINIMO / RANGO ADMISIBLE					
Espesor Promedio Mínimo, mm	mm	ASTM D 5199	**0.50**	**0.75**	**1.00**	**1.50**	**2.00**	**2.50**
Densidad	g/cm3	ASTM D 1505	>0,94	>0,94	>0,94	>0,94	>0,94	>0,94
Resistencia a la Tracción (Cada dirección)		ASTM D 6693 Tipo IV						
Resistencia a la Rotura	N/mm (lb/in)	Dumbell, 2 ipm	8	20 (114)	27 (152)	40 (228)	53 (304)	67 (380)
Resistencia a la fluencia	N/mm (lb/in)		14	11 (63)	15 (84)	22 (126)	29 (168)	37 (210)
Elongación a la Rotura	%	G.L. 2,0 in (51 mm)	700	700	700	700	700	700
Elongación a la fluencia	%	G.L. 1,3 in (33 mm)	12	12	12	12	12	12
Resistencia al Desgarro	N (lb)	ASTM D 1004	63	93 (21)	125 (28)	187 (42)	249 (56)	311 (70)
Resistencia al Punzonamiento	N (lb)	ASTM D 4833	160	240 (54)	320 (72)	480 (108)	640 (144)	800 (180)
Contenido de Negro de Humo (Rango)	%	ASTM D 1603	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0
Dispersión de Negro de Humo		ASTM D 5596	+ Nota 1	+ Nota 1	+ Nota 1	+ Nota 1	+ Nota 1	+ Nota 1
Resistencia al agrietamiento (NCTL)	Horas	ASTM D 5397, Apend.	300	300	300	300	300	300
Tiempo de Inducción a la Oxidación	Minutos	ASTM D 3895, 200ºC	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Envejecimiento al Horno 85ºC, 90 días		ASTM D 5721	>55	>55	>55	>55	>55	>55
OIT retenido %		ASTM D 3895						
Envejecimiento Ultra Violeta, 1.600 horas		GM11	>50	>50	>50	>50	>50	>50
OIT retenido %		ASTM D 5885						

NOTAS:

+ **Nota 1**: La dispersión sólo es aplicable a aglomerados esféricos o semejantes. 9 de 10 vistas deben ser Categoría 1 ó 2. No puede haber más de 1 vista en la Categoría 3.
+ **ASTM**: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
+ **HDPE**: High Density Polyethylene (Polietileno de Alta Densidad)

ANEXO C

Plano de Distribución de Paneles de Geomembrana y Soldadura de Geomembrana

CONSTRUCCIONES Y MONTAJES ELECTROMECANICOS

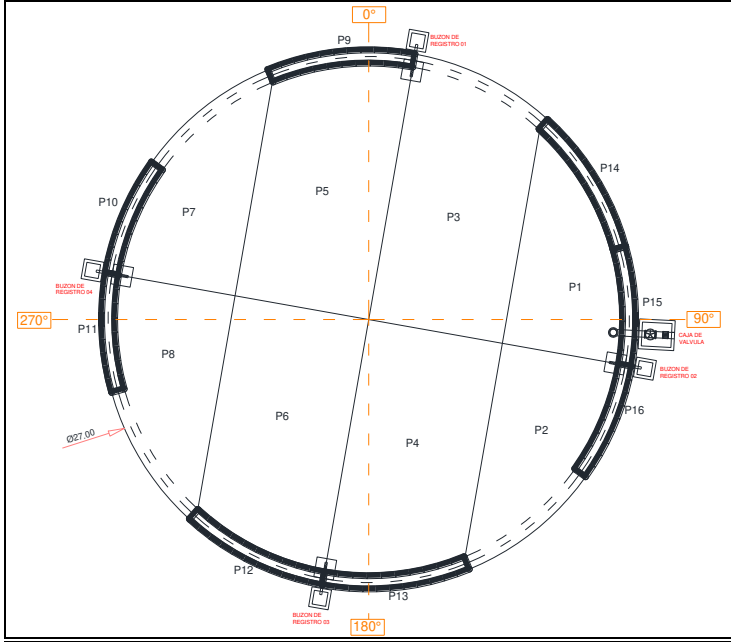
REGISTRO DE CONTROL DE CALIDAD

PLANO DE DISTRIBUCION PANELES Y SOLDADURA DE GEOMEMBRANA

REVISION : 0

APROBADO: J.R VER S.A.C.

PROYECTO:	REEMPLAZO DEL TANQUE N° 02 DE AGUA FRESCA MANTENIMIENTO DE LA CONCENTRADORA
PARTIDA:	INSTALACION DE GEOMEMBRANA LISA HDPE E= 1.5MM



Cordon N°	Fecha de Soldura	Hora de Soldadura	Longitud Soldadura ml	Ubicación
1	10/11/2016	8:30	27.0	Base de tanque (P3/P5 - P4/P6)
2	10/11/2016	9:30	11.5	Base de tanque (P5/P7)
3	10/11/2016	10:00	11.5	Base de tanque (P6/P8)
4	10/11/2016	10:45	27.0	Base de tanque (P1/P2 - P3/P4 - P5/P6 - P7/P8)
5	10/11/2016	11:30	20.0	Anclaje polilock (P9 - P7 - P10)
6	10/11/2016	12:30	20.0	Anclaje polilock (P11 - P8 - P12)
7	10/11/2016	14:00	21.0	Anillo inferior (P9 - P10 - P11)
8	10/11/2016	14:45	20.0	Anillo inferior (P12 - P13 - P14)
9	10/11/2016	16:30	3.5	Caja registro 04
10	10/11/2016	18:30	3.5	Caja registro 04
11	10/11/2016	20:15	10.0	Anclaje polilock (P3)
12	11/11/2016	8:25	3.5	Caja registro 01
13	11/11/2016	8:35	3.5	Caja registro 01
14	11/11/2016	9:30	23.0	Base de tanque (P1/P3 - P2/P4)
15	11/11/2016	10:30	10.0	Anclaje polilock (P13 - P2)
16	11/11/2016	11:00	14.0	Anillo inferior (P15 - P16)
17	11/11/2016	13:00	26.0	Anclaje polilock (P2 - P16 - P15 - P14)
18	11/11/2016	14:30	3.5	Caja registro 02
19	11/11/2016	15:15	3.5	Caja registro 02
20	11/11/2016	16:40	3.5	Caja registro 03
21	11/11/2016	17:20	3.5	Caja registro 03
22	11/11/2016	18:30	1.5	Bota tub 12"
23	11/11/2016	19:30	1.0	Bota tub 12"
24	11/11/2016	20:30	3.0	Pared tanque (P9 - P10 - P11)
25	11/11/2016	20:30	5.0	Pared tanque (P12 - P13 - P14 - P15 - P16)

APROBACION	QC - INSTALADOR	CONSTRUCCION J.R. VER SAC	QC - J.R. VER SAC	AQC - SPCC
NOMBRES Y APELLIDOS				
FECHA	APROBADO	APROBADO	APROBADO	APROBADO
FIRMA				

ANEXO D

Criterios de aceptación de resultados en los cupones de Prueba

Tabla 1(b) – Resistencia de costura y propiedades relacionadas de geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) **lisas y texturizadas** unidas térmicamente (**unidades SI**)

Espesor Nominal de Geomembrana	**0,75 mm**	**1,0 mm**	**1,25 mm**	**1,5mm**	**2,0 mm**	**2,5 mm**	**3,0 mm**
Costuras de cuña caliente(1)							
resistencia al corte, N/25 mm.	250	350	438	525	701	876	1050
elongación de corte a la rotura(2), %	50	50	50	50	50	50	50
resistencia al pelado, N/25 mm	197	263	333	398	530	661	793
separación de pelado, %	25	25	25	25	25	25	25
Costuras de filete de extrusión							
resistencia al corte, N/25 mm	250	350	438	525	701	876	1050
elongación de corte a la rotura(2), %	50	50	50	50	50	50	50
resistencia al pelado, N/25 mm	170	225	285	340	455	570	680
separación de pelado, %	25	25	25	25	25	25	25

Notas para las tablas 2(a) y 2(b):

1. También para métodos de costura ultrasónicos y de aire caliente
2. Las mediciones de elongación deben omitirse para las pruebas de campo.

ANEXO E: MEMORIA GRAFICA

Despliegue de Geomembrana HDPE



Soldadura por Extrusión de Geomembrana a Perfil de Polietileno





ANEXO F: MEMORIA GRAFICA

Instalación y soldadura de geomembrana en buzón de registro





ANEXO G: MEMORIA GRAFICA

Relleno con material de amortiguamiento sobre el revestimiento de geomembrana





FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Hermogenes Wilson Cordova Peñaloza
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 43732905
Correo electrónico	: wcordova@outlook.com.pe
Teléfono/Celular	: 935998841

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado ( )
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía (X)
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis ( )
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico (X)

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : CONTROL DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA HDPE EN TANQUE DE AGUA FRESCA N° 2 - MANTENIMIENTO PLANTA CONCENTRADORA
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.05
c) Fecha de publicación : 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Agapito Flores Justo
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00479949
c) ORCID : 0000-0002-6054-9471

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 43732905
NOMBRES Y APELLIDOS : Hermogenes Wilson Cordova Peñaloza

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.
Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.
En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.
Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.
La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).
(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....



DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 43732905
NOMBRES Y APELLIDOS : Hermogenes Wilson Cordova Peñaloza
FECHA : 2022