



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO DE MEJORA DE LOS PROCESOS DE DISEÑO, ADQUISICIÓN E
INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS DE HDPE PARA PROYECTOS
MINEROS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTÓBAL ALONSO TAPIA LLANOS

PROFESOR GUÍA:
ALEJANDRO POLANCO CARRASCO.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SERGIO VACCARO CORNEJO.
WILLIAM WRAGG LARCO.

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: CRISTÓBAL ALONSO TAPIA LLANOS
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: ALEJANDRO POLANCO CARRASCO.

ESTUDIO DE MEJORA DE LOS PROCESOS DE DISEÑO, ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS DE HDPE PARA PROYECTOS MINEROS

En la industria minera, las geomembranas desempeñan un papel fundamental como revestimiento para la contención de fluidos en diversas aplicaciones, como reservorios, botaderos, canales, tranques de relave, pilas de lixiviación, entre otros. La ejecución de estos proyectos presenta desafíos significativos debido al tamaño de las obras y la complejidad técnica asociada a la impermeabilización con geomembranas.

Dentro de los proyectos es común encontrarse con diversas problemáticas, que van desde la falta o insuficiente control de calidad de las geomembranas adquiridas hasta la ejecución incorrecta de soldaduras. Estos problemas no solo comprometen la integridad del revestimiento instalado, sino que también impactan negativamente en los objetivos del proyecto de construcción. Se observan consecuencias directas como retrabajos y sus respectivos costos adicionales y retrasos.

Con esto en mente, se hace relevante desarrollar una propuesta de mejora a los procesos de diseño, adquisición, instalación y pruebas a los geosintéticos de mayor uso en las faenas mineras tanto en sus proyectos de construcción como en sus proyectos de ampliación, tomando en cuenta las principales inquietudes y preocupaciones de profesionales del sector, documentos técnicos relevantes, y enfocándose especialmente en el aseguramiento y control de calidad.

En la presente memoria, se realizó un estudio de los geosintéticos en la industria de la construcción, así como aspectos técnicos de geomembranas, lo cual permitió comprender de manera mucho más profunda el funcionamiento de las geomembranas y los aspectos clave a incorporar en la propuesta de mejora.

De igual forma, se realiza un diagnóstico a los procesos asociados a geomembranas, que incluye la identificación de los principales problemas presentes en los procesos estudiados, el análisis de los problemas detectados a través de encuestas y entrevistas dirigidas a profesionales y la utilización de herramientas de calidad, para finalmente hacer selección de los aspectos más críticos a abordar en la propuesta.

Finalmente, se desarrolló una propuesta de mejora a cada uno de los procesos estudiados, focalizado en la opinión profesional de los encuestados y entrevistados, en la respectiva documentación técnica y en el aseguramiento y control de calidad. El presente trabajo evidencia que la implementación de las propuestas desarrolladas generarán impactos directos sobre los objetivos del proyecto de impermeabilización a ejecutar, pudiéndose eliminar o disminuir los casos de retrabajos en proyectos mineros.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos y alcance	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.2.3. Alcance	2
1.3. Metodología	2
1.3.1. Estudio de geosintéticos en construcción y aspectos técnicos de geomembranas	2
1.3.2. Diagnóstico de los procesos en proyectos mineros	3
1.3.3. Desarrollo de propuestas de mejora para proyectos mineros	3
1.4. Resultados esperados	3
2. Marco Teórico	4
2.1. Proyectos mineros	4
3. Metodología del estudio	7
3.1. Estudio de geosintéticos en construcción y aspectos técnicos de geomembranas	9
3.2. Diagnóstico de los procesos en proyectos mineros	9
3.3. Desarrollo de propuestas de mejora para proyectos mineros	12
4. Estudio de geosintéticos en construcción y aspectos técnicos de geomembranas	13
4.1. Industria de geosintéticos en construcción	13
4.2. Usos de geomembranas en proyectos mineros	16
4.3. Producción de geomembranas	16
4.4. Diseño de planos de despliegue de geomembranas para proyectos del rubro minero	19
4.5. Instalación de geomembranas	21
4.5.1. Uniones de geomembranas	21
4.5.1.1. Soldadura por termofusión con cuña caliente	22
4.5.1.2. Soldadura por extrusión con material de aporte	23
4.6. Pruebas en geomembranas	25
4.6.1. Ensayo de corte y desgarre	25
4.6.2. Ensayos de puesta en marcha	26
4.6.3. Ensayos destructivos	27
4.6.4. Ensayos no destructivos	28
4.6.4.1. Prueba de presión	28

4.6.4.2.	Prueba de vacío	28
4.6.4.3.	Prueba de chispa eléctrica	29
5.	Diagnóstico de los procesos en proyectos mineros	31
5.1.	Identificación problemas y oportunidades de mejora en la ejecución de procesos	31
5.2.	Análisis de problemas y oportunidades mejora detectados	35
5.2.1.	Resultados encuestas	35
5.2.2.	Resultados entrevistas	43
5.2.3.	Análisis resultados de encuestas y entrevistas	46
5.3.	Selección de aspectos críticos en minería	47
6.	Propuesta de mejora de los procesos para proyectos mineros	49
6.1.	Proceso de diseño	49
6.2.	Proceso de adquisiciones	51
6.3.	Proceso de instalación	54
6.4.	Proceso de pruebas	55
7.	Conclusiones	57
	Bibliografía	58
	Anexos	59
	Anexo A. Formato encuesta	59
	Anexo B. Formato entrevistas	64
	B.1. Formato entrevista a profesional asociado a Ingeniería y Construcción	64
	B.2. Formato entrevista a profesional asociado a empresa proveedora de suministros.	64
	Anexo C. Propuesta Proceso de diseño	66
	Anexo D. Propuesta Proceso de adquisición	67
	Anexo E. Propuesta Proceso de instalación	68
	Anexo F. Propuesta Proceso de pruebas y/o ensayos	69

Índice de Tablas

3.1.	Relación objetivos específicos y herramientas de la metodología.	7
4.1.	Actividad en el mercado grupos de geosintéticos. Fuente: Koerner (1998) [3] . .	13
4.2.	Requisitos de resistencia para ensayos de corte y desgarre en probetas estandar de HDPE, GRI-GM19a [7].	26
4.3.	Voltajes de aplicación para distancias esperadas. Fuente: ASTM D6365 [11]. .	29
5.1.	Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de diseño.	32
5.2.	Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de adquisiciones.	32
5.3.	Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de despliegue.	33
5.4.	Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de soldadura.	34
5.5.	Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de pruebas y/o ensayos. . .	35
5.6.	Opiniones emitidas en pregunta abierta de encuesta.	43
5.7.	Resumen entrevista José Luis Delgado, Gerente Hidrogeología ITASCA Chile.	44
5.8.	Resumen entrevista Karol Zenteno de la Jara, Gestora de negocios TDM Chile.	45
6.1.	Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de diseño.	50
6.2.	Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de adquisiciones. . .	52
6.3.	Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de instalación. . . .	54
6.4.	Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de pruebas.	56

Índice de Ilustraciones

2.1.	Esquema relación objetivos estratégicos y proyectos. Fuente: Apunte de Curso Dirección de Proyectos. Universidad de Chile. A. Polanco. 2022. [2]	4
2.2.	Esquema ciclo de vida proyecto de inversión. Fuente: Apunte de Curso Dirección de Proyectos. Universidad de Chile. A. Polanco. 2022. [2]	5
2.3.	Esquema ciclo de vida proyecto de ingeniería y construcción, modelo cascada. Fuente: Apunte de Curso Dirección de Proyectos. Universidad de Chile. A. Polanco. 2022. [2]	6
3.1.	Resumen metodología de trabajo para la obtención de resultados esperados.	8
3.2.	Esquema de enfoques para encuestas a profesionales.	10
3.3.	Esquema de enfoques para entrevistas a profesionales.	11
3.4.	Ejemplo diagrama Causa efecto. Fuente: progressalean.com	11
3.5.	Ejemplo histograma. Fuente: probabilidadyestadistica.net	12
3.6.	Ejemplo diagrama de pareto. Fuente: probabilidadyestadistica.net	12
4.1.	Geomembranas. Fuente: blog.geosai.com	14
4.2.	Geotextiles. Fuente: Universidad de Cantabria	14
4.3.	Geocompuestos. Fuente: maccaferri.com/es	14
4.4.	GCL. Fuente: geotextilesfabric.com/es	15
4.5.	Geomallas. Fuente: arpimix.com	15
4.6.	Georedes/Geonet. Fuente: arpimix.com	15
4.7.	Aplicaciones geomembranas en proyectos del rubro minero. Fuente: EMIN I&C.[4]	16
4.8.	Maquina extrusora. Fuente: AM GROUP	17
4.9.	Producción geomembrana, extrusión por soplado. Fuente: tdmchile.cl	17
4.10.	Producción geomembrana, extrusión plana. Fuente: tdmchile.cl	18
4.11.	Transporte geomembranas. Fuente: Lihar Perú	18
4.12.	Plano de despliegue tipo. Fuente: EMIN I&C.	19
4.13.	Corte típico al pie del talud. Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products [5].	20
4.14.	Corte típico zanja de anclaje. Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products [5].	20
4.15.	Corte típico soldaduras. Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products [5].	21
4.16.	Croquis plano de despliegue y juntas. Fuente: EMIN I&C.	22
4.17.	Equipo de soldadura por cuña caliente. Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.	23
4.18.	Esquema soldadura por cuña caliente. Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.	23
4.19.	Máquina extrusora. Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.	24
4.20.	Soldadura por extrusión con material de aporte.	24
4.21.	Tensiómetro y ensayos.	25
4.22.	Croquis ensayo de puesta en marcha. Fuente: ASTM D6392.	27
4.23.	Ensayo destructivo en geomembrana. Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.	27

4.24.	Croquis prueba de presión. Fuente: ML Ingeniería .	28
4.25.	Prueba de vacío. Fuente: Recorte img. Geomembranas IGeO .	29
4.26.	Croquis Spark Test. Fuente: ASTM D6365. [11]	30
5.1.	Ocupación encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	36
5.2.	Área de trabajo encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	37
5.3.	Experiencia laboral encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	37
5.4.	Sector productivo encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	37
5.5.	Nivel de conocimiento en geomembranas encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	38
5.6.	Proceso de mayor participación del encuestado. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	38
5.7.	Desafíos en el proceso de diseño según encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	39
5.8.	Desafíos en el proceso de adquisiciones según encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	39
5.9.	Principales criterios para la selección de proveedores según encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	40
5.10.	Desafíos en el proceso de despliegue y/o montaje según encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	40
5.11.	Desafíos en el proceso de inspección técnica según encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	41
5.12.	Relevancia de procesos para el cumplimiento de plazos según encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	41
5.13.	Relevancia de procesos para el cumplimiento de costos según encuestados. Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.	42
5.14.	Diagrama Pareto para el cumplimiento de plazos. Fuente: Elaboración propia.	46
5.15.	Diagrama Pareto para el cumplimiento de plazos. Fuente: Elaboración propia.	46
5.16.	Diagrama de Ishikawa problemáticas en revestimiento con geomembranas. Fuente: Elaboración propia.	47
6.1.	Plano de despliegue tipo. Fuente: Elaboración propia, mediante AutoCAD.	51
6.2.	Mapa de proceso, adquisición de geosintéticos. Fuente: Elaboración propia, mediante Lucidchart.	53
6.3.	Registro <i>Identificación de paneles de geosintéticos</i> . Fuente: Elaboración propia, mediante Microsoft Word.	55
A.1.	Introducción y contexto encuesta. Elaborado mediante Google Forms.	59
A.2.	Caracterización del encuestado. Elaborado mediante Google Forms.	60
A.3.	Experiencia en proyectos con geomembranas. Elaborado mediante Google Forms.	60
A.4.	Preguntas específicas a procesos 1. Elaborado mediante Google Forms.	61
A.5.	Preguntas específicas a procesos 2. Elaborado mediante Google Forms.	62
A.6.	Preguntas específicas a procesos 3, Inspección Técnica. Elaborado mediante Google Forms.	63
A.7.	Percepción personal. Elaborado mediante Google Forms.	63

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Las geomembranas son láminas sintéticas elaboradas principalmente con polietilenos de media y alta densidad tales como HDPE (High Density PolyEthilene) y LLDPE (Linear Low Density PolyEthilene), además de aditivos en baja proporción. Estas láminas se utilizan comúnmente a modo de revestimiento para contener fluidos debido a sus propiedades de impermeabilidad, resistencia química, resistencia a condiciones ambientales (UVA y UVB) y flexibilidad, lo que resulta en un excelente material para operar con líquidos altamente corrosivos, además de poder adaptarse a las posibles irregularidades del terreno.

En la industria minera las geomembranas son utilizadas usualmente como revestimientos de pilas de lixiviación, botaderos de ripios, piscinas, depósitos de residuos, canales, áreas de relaves y estructuras de hormigón, entre otros.

No obstante, en los procesos relacionados con el desarrollo de obras que incluyen el uso de geomembranas, como el diseño, la adquisición y la instalación, usualmente se presentan problemas que resultan en sobrecostos y retrasos con respecto a la planificación de los proyectos.

Para ejemplificar estas problemáticas, se presentan dos casos en proyectos dirigidos a empresas mineras. En el primero, durante la etapa de precomisionamiento de una piscina con revestimiento de geomembranas, se experimentaron filtraciones en tres ocasiones consecutivas, evidenciando fallos en la metodología de instalación. En el segundo caso, también en una piscina con revestimiento de geosintéticos, las láminas desplegadas no lograron fusionarse adecuadamente mediante soldadura por termofusión con cuña caliente para lograr la impermeabilización requerida en las uniones de láminas, señalando deficiencias en el proceso de adquisición y control de calidad del producto.

Para este estudio, primeramente, se estudia la industria de los geosintéticos y aspectos técnicos de geomembranas en búsqueda de información clave a incorporar a las propuestas de mejora. Luego, se realiza un diagnóstico a los procesos con el fin de detectar, analizar y seleccionar los aspectos más críticos para abordar en las propuestas, para finalmente, desarrollar una propuesta de mejora a los procesos enfocada al aseguramiento y control de calidad en proyectos del rubro minero.

1.2. Objetivos y alcance

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de mejora para los procesos de diseño, adquisición, instalación y pruebas de geomembranas en proyectos mineros enfocada al aseguramiento y control de la calidad.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Estudiar de manera detallada y exhaustiva la industria de los geosintéticos y en específico los procesos asociados a geomembranas, con el fin de desarrollar una propuesta de mejora integral y fundamentada en criterios técnicos.
- b) Realizar un diagnóstico a los procesos que incluya la identificación de problemas y oportunidades de mejora, el análisis de los problemas detectados mediante encuestas y entrevistas a profesionales y herramientas de calidad, y finalmente la selección de aspectos críticos a abordar en la propuesta de mejora.
- c) Desarrollar una propuesta de mejora de los procesos, que incluya la integración de aspectos técnicos, que aborde los resultados del diagnóstico realizado, la incorporación de herramientas de gestión de calidad y la definición de responsabilidades y roles claros para los procesos estudiados en la presente memoria.

1.2.3. Alcance

Procesos de diseño, adquisición, instalación y pruebas de geomembranas de HDPE en el contexto de proyectos de la industria minera, ejecutados por empresas constructoras, y que tengan dentro de su alcance el revestimiento de superficies con geomembranas de HDPE.

1.3. Metodología

Para lograr el objetivo general de la presente memoria se siguió la siguiente metodología, desarrollada secuencialmente, donde cada una de las subsecciones se relaciona directamente con los objetivos específicos planteados.

1.3.1. Estudio de geosintéticos en construcción y aspectos técnicos de geomembranas

Con el fin de lograr desarrollar propuestas de mejora integrales se estudia en un principio la industria de los geosintéticos para comprender el contexto y usos de geomembranas en proyectos mineros, para luego realizar un estudio más profundo de aspectos técnicos asociados al revestimiento con geomembranas.

La información se obtiene a partir de diversos medios como paper, revistas, especificaciones técnicas, normativas, tesis, mapas de procesos u otros, que contengan información

relevante, tanto sobre los procesos de diseño, adquisición e instalación de geomembranas en el contexto de proyectos mineros, como de gestión de calidad, de manera de generar un primer acercamiento técnico y recopilar información clave a incorporar a la propuesta de mejora.

1.3.2. Diagnóstico de los procesos en proyectos mineros

Primeramente, se identifica los problemas y oportunidades de mejora presentes en los procesos mediante la herramienta de calidad *brainstorming* para detectar y categorizar los principales problemas que se presentan en los proyectos con geomembranas.

Luego, mediante encuestas y entrevistas dirigidas a profesionales de la ingeniería y construcción, y herramientas de calidad, se busca determinar relevancia e impacto tanto económico como en plazo de estos errores o dificultades en los procesos.

Finalmente, se hace selección de los aspectos críticos a considerar o abordar dentro de las propuestas de mejora a presentar en función del análisis realizado.

1.3.3. Desarrollo de propuestas de mejora para proyectos mineros

A partir de la información clave detectada dentro del estudio técnico a geomembranas y de los aspectos críticos seleccionados en el diagnóstico de los procesos, se desarrolla la propuestas de mejora de los procesos con enfoque al aseguramiento y control de calidad.

1.4. Resultados esperados

- a) Comprensión profunda y detallada de los procesos desde una visión técnica y determinación de información clave que permita desarrollar una propuesta de mejora integral.
- b) Diagnóstico de los procesos de diseño, adquisición, instalación y pruebas que permita la identificación de aspectos críticos a considerar dentro de las propuestas de mejora.
- c) Propuesta de mejora a la metodología de diseño, adquisición, instalación y pruebas de geomembranas enfocada al aseguramiento y control de calidad.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Proyectos mineros

Un proyecto es definido por el PMI (Project Management Institute) [1] como un "un esfuerzo temporal emprendido para crear un producto, servicio o resultado único", se indica también que la naturaleza temporal del esfuerzo ejercido indica un inicio y un final para el proyecto.

Los proyectos nacen de forma natural en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos estratégicos dentro de una empresa, de esta forma como se muestra en la figura 2.1 se genera un flujo que impulsa la ejecución de proyectos a partir del planteamiento de metas que una empresa se propone alcanzar.

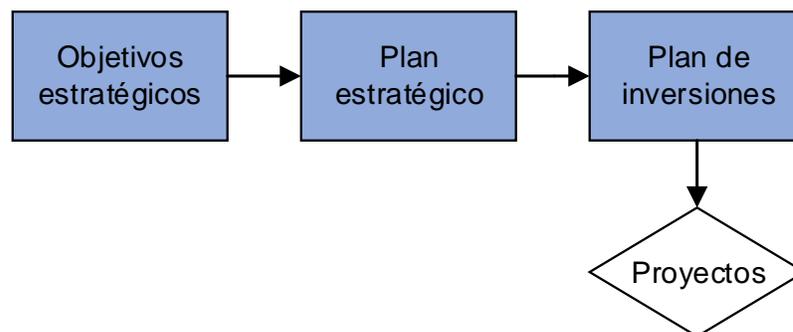


Figura 2.1: Esquema relación objetivos estratégicos y proyectos.
Fuente: Apunte de Curso Dirección de Proyectos. Universidad de Chile. A. Polanco. 2022. [2]

Entre los elementos que componen un proyecto se encuentran:

- Objetivos: Metas o aspiraciones a gran escala que se esperan alcanzar con la ejecución del proyecto.
- Requisitos: Necesidad o expectativa que debe cumplir el producto o servicio producido por el proyecto.

- Resultados: Producto o servicio resultado de todos los procesos de un proyecto, es decir, el "entregable".
- Plazos asignados: Fechas y plazos asignados para el desarrollo de cada una de las actividades que implican la ejecución de un proyecto.
- Recursos asignados: Asignación de recursos tanto materiales como humanos, junto a su asignación en el tiempo para el desarrollo del proyecto.

Naturalmente los proyectos se desarrollan por fases o etapas, las cuales varían en función del tamaño y complejidad de los proyectos a ejecutar. A un nivel macro, los proyectos de inversión cuentan con las siguientes 4 fases mostradas en la figura 2.2.

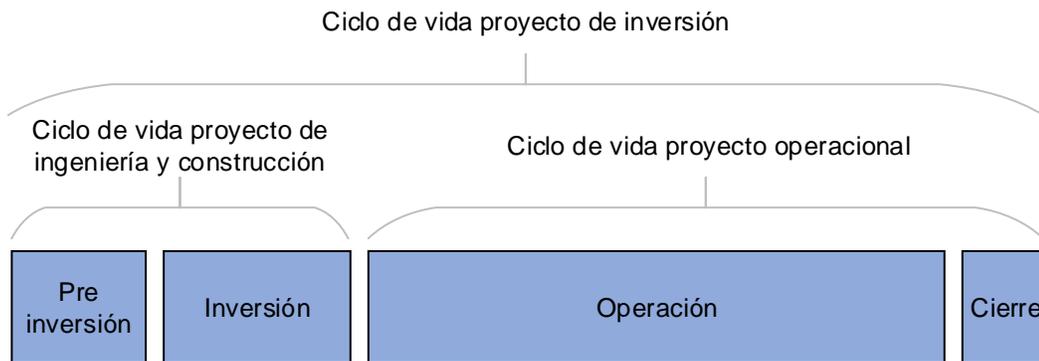


Figura 2.2: Esquema ciclo de vida proyecto de inversión.

Fuente: Apunte de Curso Dirección de Proyectos. Universidad de Chile. A. Polanco. 2022. [2]

- Fase pre inversional: Etapa en la que se tienen las primeras ideas para el proyecto, se preparan y evalúan distintas soluciones, se desarrollan estudios de factibilidad de las soluciones e ingenierías conceptuales y básicas.
- Fase inversional: Etapa en la que se materializa la solución que se adoptó en la etapa pre inversional, incluye las sub etapas de ingeniería de detalles, adquisiciones, ejecución, pruebas y puesta en marcha.
- Fase Operacional: Por lo general corresponde a la fase más extensa y corresponde a la etapa en la que se utiliza o se produce el bien o servicio que se definió como resultado del proyecto.
- Fase de cierre: Etapa con la cual se da por finalizada el proyecto, por lo general se requiere de un "Plan de cierre" en cual contiene un conjunto de acciones destinadas a mitigar los eventuales efectos negativos que pueda derivar de la ejecución del proyecto.

Como se aprecia en la figura 2.2 cuando se trata de proyectos de ingeniería y construcción las etapas abarcadas por el proyecto son la pre inversional e inversional. La figura 2.3 muestra el ciclo de vida de un proyecto de ingeniería y construcción mediante el modelo cascada que permite visualizar de mejor manera la estructura y orden del proyecto, además de mostrar claramente el desglose de estas etapas.

Capítulo 3

Metodología del estudio

En la presente sección se desarrolla de manera más extensa la metodología del trabajo de título presentada en la sección de introducción, describiendo de manera más detallada cada una de las etapas junto a sus respectivos alcances, procedimientos y herramientas a utilizar.

En la tabla 3.1 se presenta la relación de los objetivos específicos con las herramientas de la metodología.

Objetivo específico	Herramientas de la metodología
<ul style="list-style-type: none">• Estudiar de manera detallada y exhaustiva la industria de los geosintéticos y en específico los procesos asociados a geomembranas con el fin de desarrollar una propuesta de mejora integral y fundamentada en criterios técnicos.	<ul style="list-style-type: none">• Revisión bibliográfica.
<ul style="list-style-type: none">• Realizar un diagnóstico a los procesos que incluya la identificación de problemas y oportunidades de mejora, el análisis de los problemas detectados mediante encuestas y entrevistas a profesionales y herramientas de calidad, y finalmente la selección de aspectos críticos a abordar en la propuesta de mejora.	<ul style="list-style-type: none">• <i>Brainstorming</i>.• Encuestas a profesionales.• Entrevistas a profesionales.• Análisis de resultados.
<ul style="list-style-type: none">• Desarrollar una propuesta de mejora de los procesos, que incluya la integración de aspectos técnicos, que aborde los resultados del diagnóstico realizado, la incorporación de herramientas de gestión de calidad y la definición de responsabilidades y roles claros para los procesos estudiados en la presente memoria.	<ul style="list-style-type: none">• Estudio de la información recopilada.• Análisis de las propuestas.

Tabla 3.1: Relación objetivos específicos y herramientas de la metodología.

En la figura 3.1 se aprecia un diagrama que muestra, en resumen, la metodología de la presente memoria y su relación con los resultados esperados planteados en la sección 1.4. En un principio, se estudia la industria de los geosintéticos con el fin de conocer el contexto y los principales usos de las geomembranas en proyectos mineros.

Posteriormente se estudian aspectos técnicos específicos de geomembranas, esto a partir de diversas fuentes como normativas, tesis, informes, especificaciones, manuales empresariales, entre otros, con el objetivo de identificar información clave a incorporar dentro de las propuestas de mejora.

Luego, se realiza un diagnóstico a los procesos actuales el cual incluye la identificación de los principales problemas presentes en la ejecución de los procesos mediante la herramienta de calidad *brainstorming*. Posteriormente, el análisis de estos problemas mediante una encuesta y entrevistas dirigidas a profesionales de la ingeniería y construcción. Además de la utilización de herramientas de calidad para la determinación de relevancia e impacto tanto económico como en plazo de los problemas, para concluir con la selección de los aspectos críticos a considerar y abordar dentro de las propuestas de mejora a presentar.

Finalmente, se desarrolla una propuesta de mejora a los procesos de diseño, adquisición, instalación y pruebas orientada a abordar la información clave recopilada en el estudio de aspectos técnicos e incorporar los aspectos críticos seleccionados en la sección diagnóstico y al aseguramiento y control de calidad.

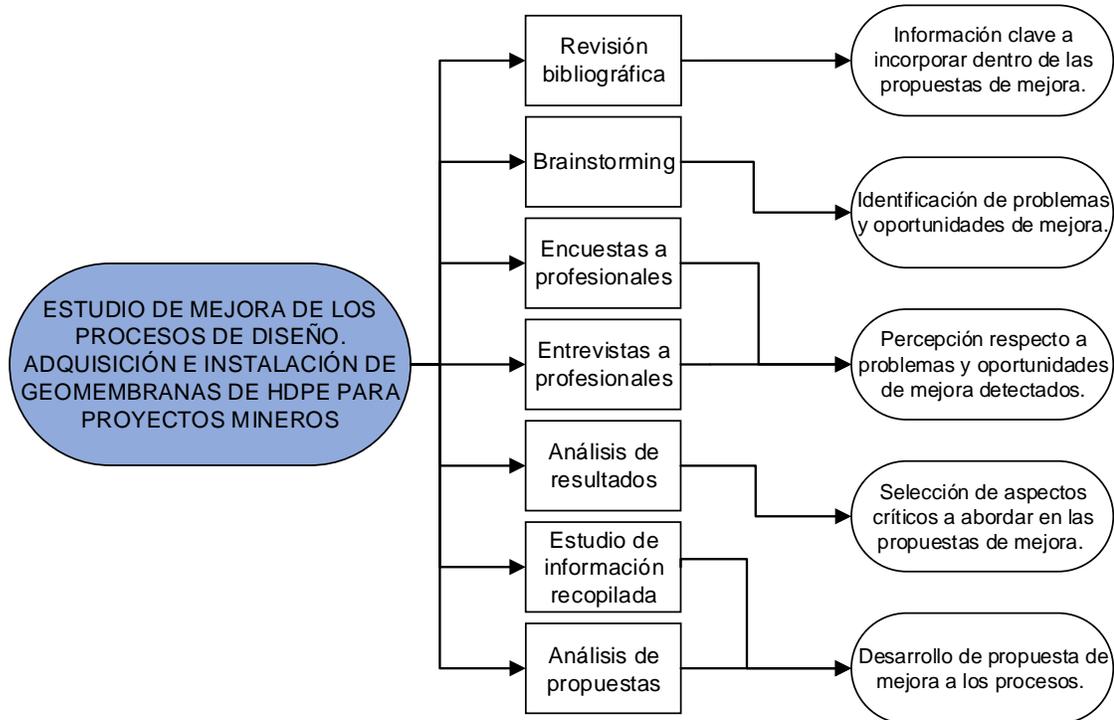


Figura 3.1: Resumen metodología de trabajo para la obtención de resultados esperados.

3.1. Estudio de geosintéticos en construcción y aspectos técnicos de geomembranas

Como un primer acercamiento hacia los geosintéticos, se estudia de manera general la industria de los geosintéticos con el fin de conocer los tipos de geosintéticos y sus usos en proyectos mineros. Posteriormente se estudian los aspectos técnicos específicos para el revestimiento con geomembranas para determinar información clave a incorporar dentro de las propuestas de mejora.

La recopilación de antecedentes técnicos se realiza a partir de diversos documentos que tengan relación con los procesos que implican los proyectos con geomembranas en proyectos mineros, en específico, los datos son obtenidos de los siguientes tipos de documentos.

- Paper.
- Tesis.
- Normativa técnica.
- Especificaciones técnicas.
- Documentos empresariales.
- Documentos de asociaciones especialistas.
- Fichas técnicas de materiales.
- Mapas de procesos de empresas constructoras y proveedoras.

Dentro de los documentos se realiza la búsqueda de información por medio de palabras clave que lleven a información aplicable y relacionada con el alcance del presente trabajo de título, entre las palabras clave se encuentra: geomembrana, procedimientos, calidad, registros, trazabilidad, indicador, gestión, aseguramiento, control, diseño, abastecimiento, acopio, instalación, soldadura, test o pruebas, lecciones aprendidas, impactos, equipos y personal.

3.2. Diagnóstico de los procesos en proyectos mineros

En una primera instancia, para identificar los principales problemas y oportunidades de mejora en los procesos de diseño, adquisición, instalación y pruebas se utiliza la herramienta de calidad *brainstorming* en busca de recopilar una serie de problemáticas atinentes que se encuentren presentes en los procesos.

Con el objetivo de realizar un análisis a los problemas y oportunidades de mejora detectados se desarrolla una encuesta y entrevistas dirigidas a distintos profesionales que se vean involucrados en alguno de los procesos mencionados en el alcance de la presente memoria para conocer sus opiniones y percepciones.

Por un lado, la encuesta es dirigida a profesionales que dentro de su vida laboral tengan alguna experiencia en proyectos donde se utilicen geomembranas para así recabar información respecto de sus antecedentes, su experiencia y procesos afines, su percepción y opinión profesional respecto a los problemas identificados y posibles oportunidades de mejora. En la figura 3.2 se muestran las principales directrices de la encuesta que se realizará a profesionales y en base a lo cual se desarrolla la pauta de preguntas de la encuesta. La pauta de preguntas de la encuesta se muestra en el anexo A.

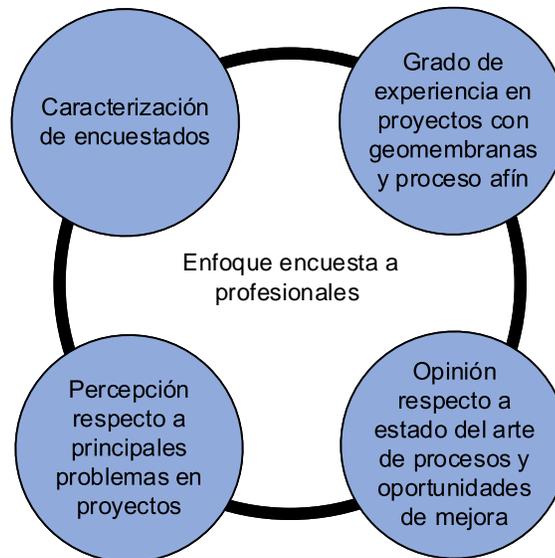


Figura 3.2: Esquema de enfoques para encuestas a profesionales.

En cuanto a las entrevistas, estas se realizan en dos formatos, el primero dirigida a profesionales que cuenten con experiencia en proyectos de ingeniería y construcción, mientras que el segundo formato está dirigido a colaboradores de empresas proveedoras de geomembranas. En la figura 3.3 se muestran las principales directrices de las entrevistas que se realizarán a profesionales y en base a lo cual se desarrolla la pauta de preguntas de las entrevistas. La pauta de preguntas de la entrevista se muestra en el anexo B.

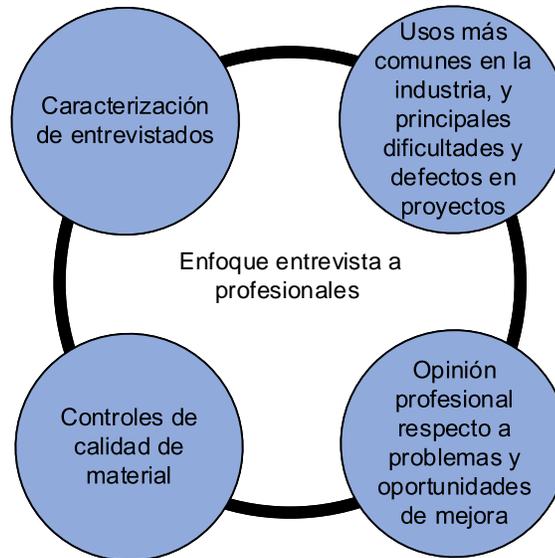


Figura 3.3: Esquema de enfoques para entrevistas a profesionales.

El uso de herramientas de calidad facilita la visualización y gestión precisa de la información, optimizando así la identificación de los aspectos más relevantes en cada proceso.

Entre las herramientas a utilizar se encuentran los siguientes:

- Diagrama de Ishikawa (fishbone o causa-efecto): Permite visualizar de manera más clara las causas que originan una problemática, además de clasificarlas en tipos.

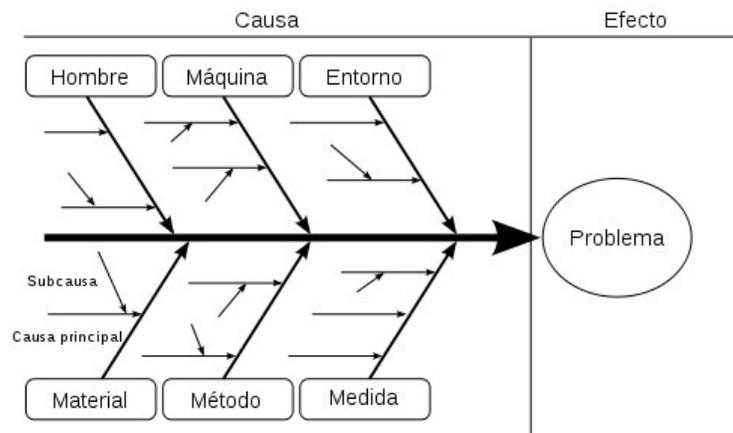


Figura 3.4: Ejemplo diagrama Causa efecto.

Fuente: progressalean.com

- Histogramas: Representación gráfica que permite visualizar la frecuencia de repetición de evento.



Figura 3.5: Ejemplo histograma.
Fuente: probabilidadyestadistica.net

- Diagrama de Pareto: Aplicación especial del histograma en el que se presentan las barras ordenadas de mayor a menor frecuencia de ocurrencia.

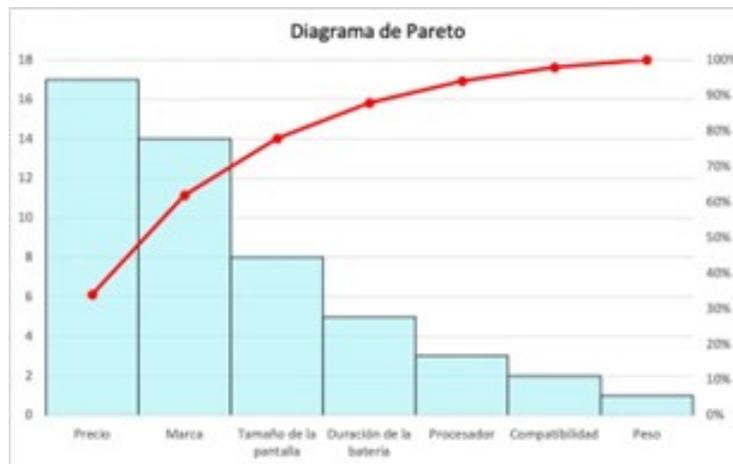


Figura 3.6: Ejemplo diagrama de Pareto.
Fuente: probabilidadyestadistica.net

3.3. Desarrollo de propuestas de mejora para proyectos mineros

Con el levantamiento completo respecto a la información clave a considerar determinada en el estudio de aspectos técnicos y los puntos críticos a abordar seleccionados en el diagnóstico de los procesos, se desarrollan las propuestas de mejora.

Los documentos formulados se diseñan con enfoque a cubrir aspectos técnicos, a abordar el diagnóstico realizado, al aseguramiento y control de calidad, y a la definición de roles y responsabilidades claras dentro de cada proceso.

Capítulo 4

Estudio de geosintéticos en construcción y aspectos técnicos de geomembranas

4.1. Industria de geosintéticos en construcción

Los geosintéticos son materiales, generalmente producidos a partir de polímeros, ampliamente utilizados en proyectos de infraestructura donde se emplean para conseguir distintas propiedades y/o condiciones, entre las cuales se encuentran principalmente el refuerzo de suelos, drenajes e impermeabilización.

La familia de los geosintéticos cuenta con variados grupos, cada uno de los cuales es utilizado con distintas funciones u objetivos. En la tabla 4.1 se presenta la actividad en el mercado de cada uno de los geosintéticos en el año 1995 y expresado en millones de dólares.

Nro.	Grupo	Ventas [Mill USD]
1	Geomembranas	750
2	Geotextiles	450
3	Geocompuestos	125
4	GCLs	125
5	Geomallas	100
6	Georedes	100
7	Geo-otros	20
TOTAL		1670

Tabla 4.1: Actividad en el mercado grupos de geosintéticos.
Fuente: Koerner (1998) [3]

Geomembranas

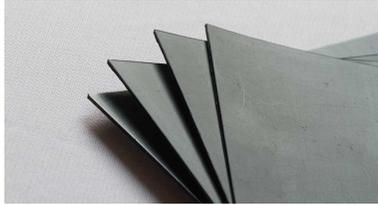


Figura 4.1: Geomembranas.
Fuente: blog.geosai.com

Las geomembranas son láminas delgadas de material plástico o caucho, sus principales características son su muy baja permeabilidad, flexibilidad y resistencia a ataques químicos, por lo que son utilizadas comúnmente a modo de revestimiento y/o barrera para el almacenamiento o contención de líquidos.

Geotextiles

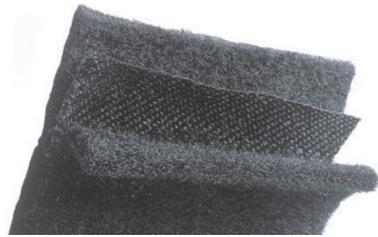


Figura 4.2: Geotextiles.
Fuente: Universidad de Cantabria

Al igual que las geomembranas, los geotextiles se presentan en láminas, sus principales características son su permeabilidad, flexibilidad y su porosidad, por lo que son utilizados principalmente para funciones de separación, refuerzo, filtración, drenaje o contenimiento, entre muchas otras aplicaciones específicas.

Geocompuestos



Figura 4.3: Geocompuestos.
Fuente: maccaferri.com/es

Los geocompuestos consisten en la utilización de dos o más geosintéticos para la obtención de un solo material que combine y/o mejore las propiedades y funciones de los materiales base utilizados.

CGLs



Figura 4.4: GCL.

Fuente: geotextilesfabric.com/es

Los revestimientos geosintéticos con arcilla, o GCL por su sigla en inglés (geosynthetic clay liners), corresponden a capas de arcilla bentonítica entre dos geotextiles. El sistema se mantiene adherido mediante una costura u el uso de pegamentos químicos. La principal aplicación de esta clase de geosintético es la de impermeabilización de superficies, debido a la capacidad de la arcilla de aumentar su volumen ante la hidratación, la cual al estar confinada con material de relleno disminuye su volumen de vacíos generando un sello impermeable.

Geomallas



Figura 4.5: Geomallas.

Fuente: arpimix.com

Las geomallas son plásticos formados en, como su nombre lo indica, mallas que poseen grandes aberturas, sus principales características son la resistencia y flexibilidad, por lo general son utilizadas en aplicaciones de refuerzo para el mejoramiento de suelos.

Georedes

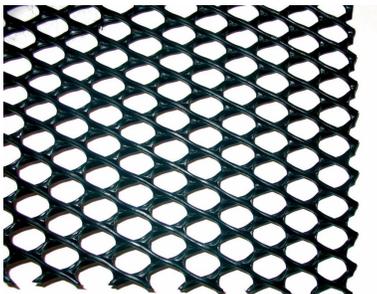


Figura 4.6: Georedes/Geonet.

Fuente: arpimix.com

Las georedes, o más conocidas como geonet, constituyen un entramado tridimensional diseñado especialmente para la conducción de fluidos en el plano de la red, es decir, transmisibilidad, por lo que son utilizados especialmente en aplicaciones relacionadas al drenaje y filtración.

4.2. Usos de geomembranas en proyectos mineros

Las geomembranas, como se muestra en la tabla 4.1 es el geosintético con mayor participación en el mercado norteamericano, tanto en cantidad, expresado en metros cuadrados, como ventas, expresadas en dólares estadounidenses (Koerner, 1998 [3]), son láminas sintéticas elaboradas principalmente con polietileno de media y alta densidad (LLDPE y HDPE) y aditivos en baja proporción utilizados para el mejoramiento de propiedades como resistencia química o resistencia a radiación UV. Estas láminas se utilizan comúnmente a modo de revestimiento para contener fluidos debido a sus propiedades de impermeabilidad, resistencia química y flexibilidad.

Esta clase de geosintético es un material altamente demandado en proyectos del rubro minero debido a la necesidad en sus operaciones de contención, conducción y tratamiento de fluidos a grandes escalas, en este contexto la utilización de geomembranas a modo de revestimiento se hace muy beneficioso en comparación a otros métodos de impermeabilización de superficies. La utilización de geomembranas entrega permeabilidad ante líquidos altamente corrosivos, cuentan con alta durabilidad ante ataque de agentes externos como la radiación UV, son altamente flexibles y su formato en rollos permite un rápido despliegue y su posterior soldadura.

Dentro de la industria minera las geomembranas tienen aplicaciones variadas en pilas de lixiviación, piscinas de lixiviación, botaderos, drenes, tranques de relave, sistemas de manejo de aguas, embalses, entre otros. En la figura 4.7 se presentan algunas de las aplicaciones mencionadas.



(a) Piscina de soluciones lixiviadas, Mina La Escondida, MEL.



(b) Tranque de relaves, Mina Spence, BHP.

Figura 4.7: Aplicación geomembranas en proyectos del rubro minero.
Fuente: EMIN I&C.[4]

4.3. Producción de geomembranas

La fabricación de geomembranas comienza por la producción de las materias primas, que en este caso corresponden a la resina del polímero junto a los respectivos aditivos. La fabricación se realiza por método de extrusión, comúnmente usado en la industria de los plásticos.

En la figura 4.8, se muestra la maquina utilizada en la extrusión, en este proceso las materias primas son cargadas a la tolva de alimentación, una vez dentro, los materiales son forzados en su avance mediante un tornillo rotatorio continuo, lo que inicia el proceso de calentado y posterior plastificación del material. Finalmente, el material emerge a través de una boquilla que le confiere la forma deseada.

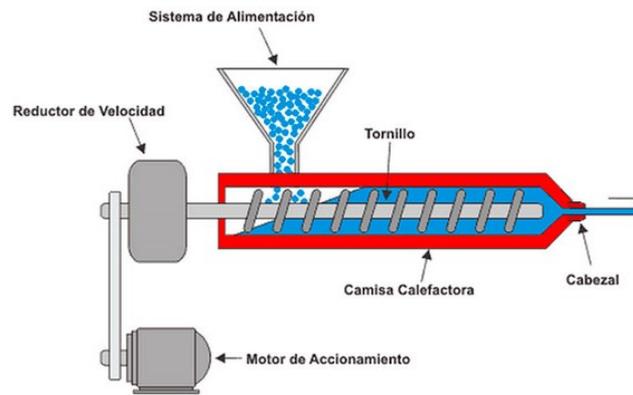


Figura 4.8: Maquina extrusora.
Fuente: **AM GROUP**

En específico para la producción de geomembranas son utilizados 2 métodos de extrusión, mediante boquilla plana y boquilla circular.

La extrusión mediante boquilla circular es el proceso de fabricación más común y como se muestra en la figura 4.9, a partir de la boquilla circular emerge una "manga" de geomembrana que se enrolla en la parte superior del sistema, el espesor de la lámina producida depende directamente de la velocidad a la que se enrolla. Posteriormente, la "manga" es cortada de forma longitudinal obteniéndose la lámina plana donde el diámetro del extrusor será el ancho de la lámina.

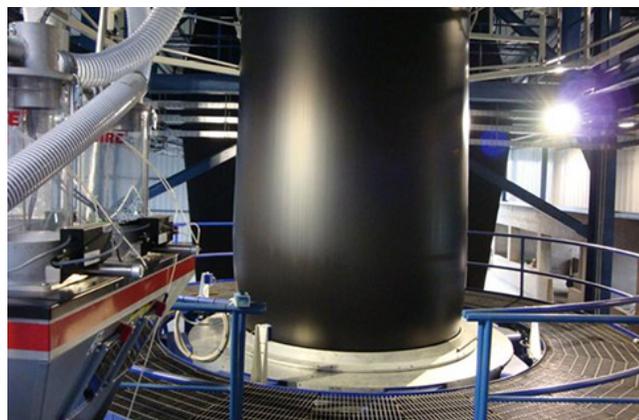


Figura 4.9: Producción geomembrana, extrusión por soplado.
Fuente: **tdmchile.cl**

Por otro lado, como se muestra en la figura 4.10 se muestra la extrusión mediante boquilla plana, esta misma boquilla genera directamente una lámina plana que tendrá su ancho definido por el ancho de la boquilla utilizada. En este caso, la boquilla del extrusor es de espesor regulable, de este modo, el espesor final de la lámina depende tanto de la configuración del extrusor como la velocidad del enrollado al final del proceso.



Figura 4.10: Producción geomembrana, extrusión plana.

Fuente: tdmchile.cl

De estos procesos de fabricación se obtienen rollos de lámina, las presentaciones de los rollos de lámina tienen estrecha relación con la optimización de los traslados a obra, figura 4.11. El ancho de lámina se define en base a los largos estándar de las rampas de carga, mientras que el largo de lámina se fijará en base al grosor de lámina, con el objetivo de alcanzar rollos de diámetros y pesos regulares.

Las presentaciones de geomembranas en la industria minera comúnmente tienen entre 0.5[mm] y 3[mm] de espesor, alrededor de 7[m] de ancho y de al menos 100[m] de largo.



Figura 4.11: Transporte geomembranas.

Fuente: Lihar Perú

4.4. Diseño de planos de despliegue de geomembranas para proyectos del rubro minero

El plano de despliegue corresponde a la representación gráfica de la distribución de paneles de geomembrana sobre la superficie a revestir. Esta configuración o disposición de paneles deberá adaptarse a la topografía única de cada proyecto y fijará los siguientes aspectos.

- Ubicación y número de paneles a utilizar.
- Traslape de paneles para uniones.
- Largo y ubicación de uniones de paneles.
- Número, configuración y ubicación de parches.
- Detalles de zanjas de anclaje.
- Detalles en corona y/o pie de talud.
- Detalle de cualquier zona irregular o particular a revestir.

En la figura 4.12 se aprecia un plano de despliegue tipo para la superficie más común a revestir en el contexto de un proyecto minero, un estanque.

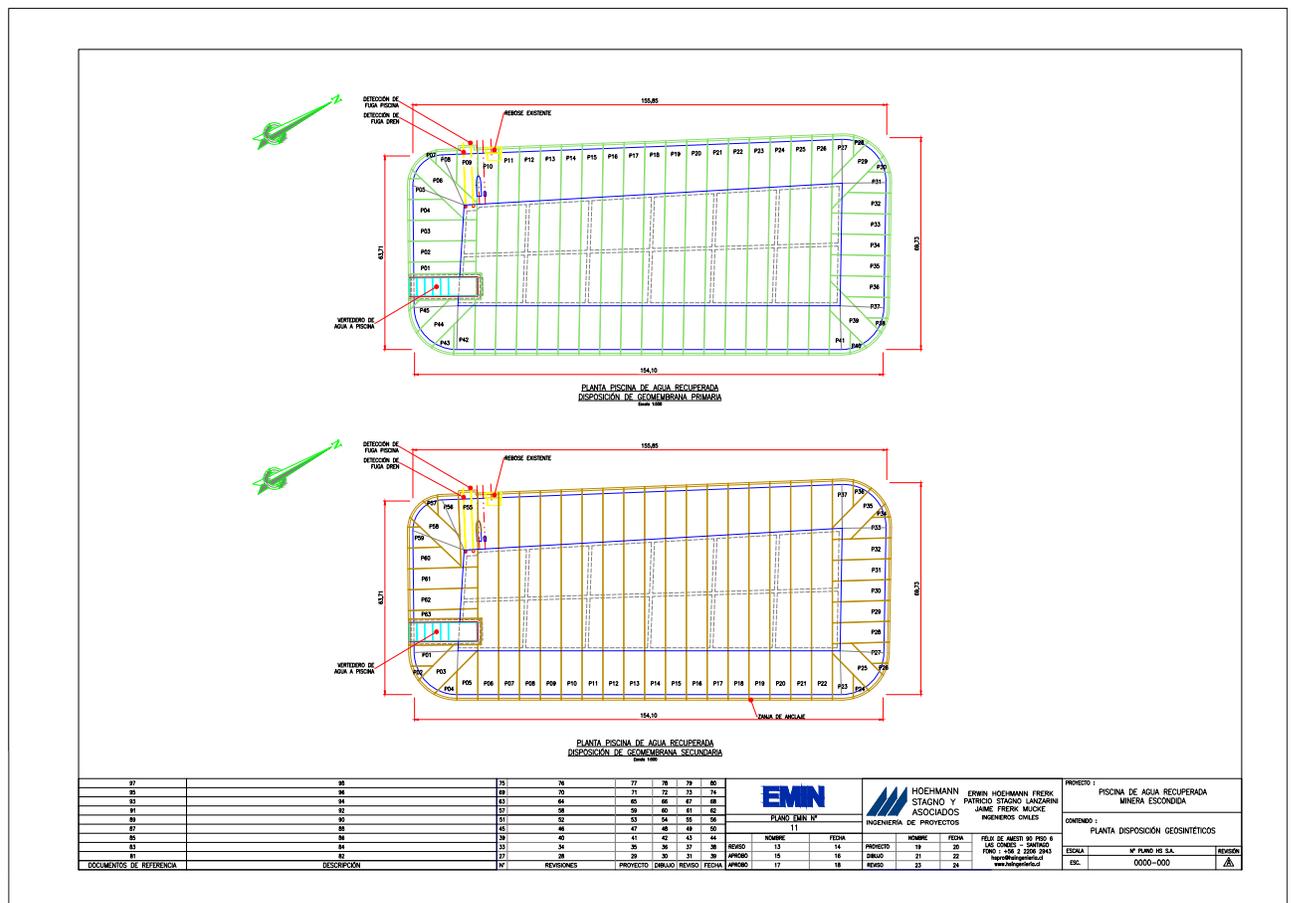


Figura 4.12: Plano de despliegue tipo.
Fuente: EMIN I&C.

La elaboración de planos de despliegue debe ajustarse a las siguientes bases de diseño.

1. La disposición de los paneles debe minimizar la cantidad de parches y soldaduras del revestimiento.
2. Cada panel debe ser identificado mediante un número único 1,2,3, etc. En caso de contar con 2 o más capas, se incluirá a cada panel el sufijo que indique su posición, es decir, primera capa P1, P2, P3 , etc., segunda capa S1, S2, S3, etc. y tercera capa T1, T2, T3, etc.
3. Las uniones entre paneles se asumen como puntos débiles en los que la resistencia mecánica es menor a la del material base, es por esto que se debe evitar que las soldaduras estén sometidas a tensiones mecánicas, de manera que los paneles serán ubicados en el sentido de mayor pendiente de la superficie.
4. Las láminas sobre taludes se extenderán hacia el fondo del estanque al menos 1.5[m] desde el pie del talud, evitando que la soldadura trabaje a corte.

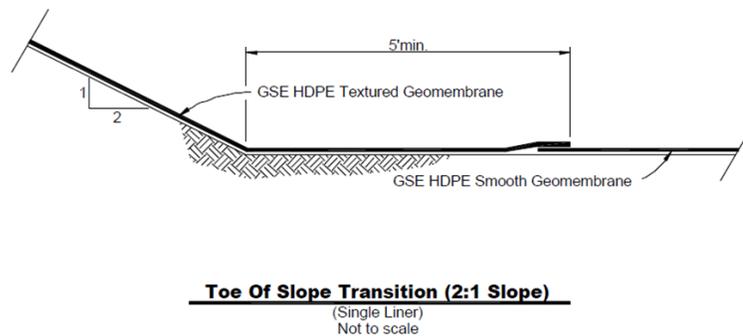


Figura 4.13: Corte típico al pie del talud.

Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products [5].

5. Las esquinas y zonas con geometrías inusuales serán diseñadas en busca de reducir al mínimo el largo de la soldadura a realizar.
6. Para evitar los deslizamientos de lámina sobre la pendiente de los taludes, los paneles serán anclados en su corona. La zanja tendrá sección cuadrada de al menos 60[cm] de lado (24[in]) y se ubicará a una distancia mínima de 90[cm] medida desde el hombro de talud, como lo muestra la siguiente figura.

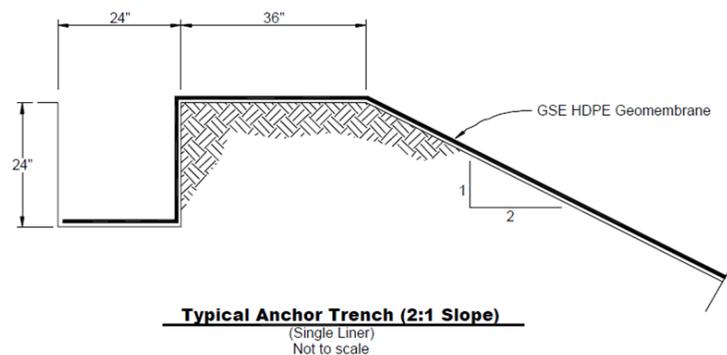
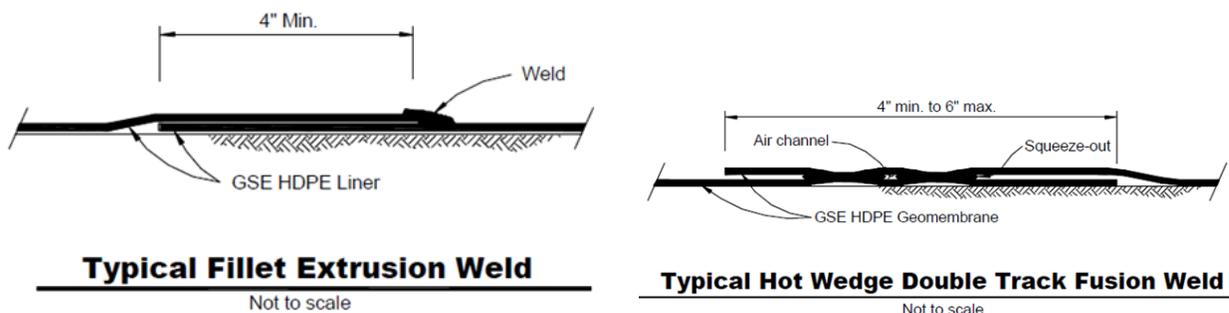


Figura 4.14: Corte típico zanja de anclaje.

Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products [5].

7. Para asegurar una correcta ejecución y adhesión en el proceso de soldadura los paneles deben ser traslapados en una distancia no menor a 10[cm] (4[in]) para soldaduras por extrusión con material de aporte, mientras que para soldaduras por cuña caliente se debe considerar 10[cm] (4[in]) como mínimo y 15[cm] (6[in]) como máximo.



(a) Soldadura por extrusión.

(b) Soldadura por cuña caliente.

Figura 4.15: Corte típico soldaduras.

Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products [5].

4.5. Instalación de geomembranas

4.5.1. Uniones de geomembranas

Debido a las dimensiones de las geomembranas y al despliegue seleccionado para el proyecto, por lo general se tendrá gran cantidad de juntas en las superficies que se busca impermeabilizar, por lo que es de especial importancia la correcta ejecución de las uniones entre geomembranas en la etapa constructiva.

Las uniones se realizan mediante una soldadura entre dos láminas para garantizar la continuidad necesaria y así cumplir con el objetivo final de la utilización de geomembranas que es ser una barrera impermeable. Por lo general, existen dos métodos para la ejecución de estas uniones, por un lado, la soldadura termofusión con cuña caliente donde utilizando un equipo autopropulsado se calientan ambas láminas hasta su temperatura de plastificación y luego se aplica presión para generar una unión a medida que se avanza. Por otra parte, se encuentra la soldadura por extrusión con material de aporte, la que utiliza un equipo controlado manualmente donde el material de aporte a utilizar corresponde al mismo material de las geomembranas a unir y la extrusión de este genera la unión entre las láminas.

Por lo general, por la menor variabilidad y la menor dependencia de acción humana, la soldadura por cuña caliente es utilizada en la mayor cantidad de juntas. Sin embargo, existen puntos críticos del despliegue de geomembranas, como es el punto donde se juntan 3 láminas, donde no es posible soldar por cuña, por lo que se utilizan parches que son soldados mediante extrusión con material de aporte. En la figura 4.16 se muestran ambos casos, donde las líneas negras corresponden a soldaduras por cuña, mientras que los puntos azules indican parches en juntas triples que son soldadas mediante extrusión con material de aporte.

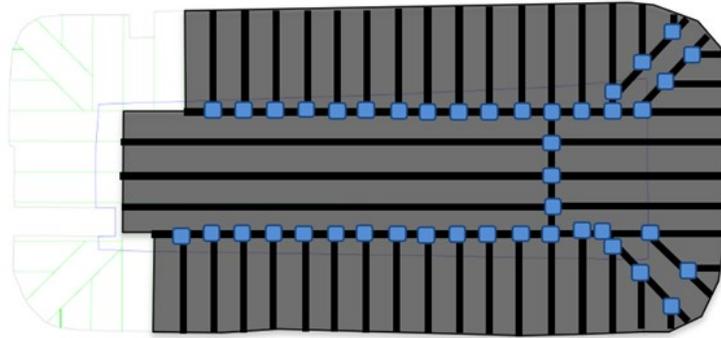


Figura 4.16: Croquis plano de despligue y juntas.
Fuente: EMIN I&C.

Para una correcta soldadura de láminas, es decir, unión entre polímeros, es necesario controlar en todo momento 3 aspectos muy relevantes.

- Temperatura.
- Presión.
- Tiempo.

Dada la configuración molecular de los polímeros conformados por cadenas, el control de estos 3 parámetros se hace crítico para la unión, la temperatura debe ser el punto de plastificación del polímero permitiendo mayores deformaciones sobre las cadenas, la presión apropiada permite el correcto traslape de cadenas y el tiempo de enfriamiento controla la formación de uniones entre las cadenas para darle fortaleza a la junta. Adicionalmente, es importante realizar ensayos de laboratorio a las geomembranas a utilizar para la obtención de datos experimentales para la ejecución de las soldaduras.

4.5.1.1. Soldadura por termofusión con cuña caliente

En la soldadura por cuña caliente, se utiliza un equipo eléctrico y autopropulsado, mostrado en la figura 4.17, que cuenta con las siguientes partes principales, cuña, rodillos de presión y rodillos de avance. Los equipos cuentan con un panel de control donde se puede configurar la temperatura, la presión y la velocidad de avance.

La cuña y los rodillos de avance son dos piezas que trabajan en conjunto, la cuña es la encargada de calentar ambas láminas y los rodillos controlan el avance de la maquina, por lo que indirectamente controlan también el tiempo de contacto entre cuñas y lámina. La velocidad de avance debe ser la indicada para una correcta soldadura, si el avance es muy lento el contacto será muy prolongado pudiendo quemar las láminas, mientras que si el avance es muy rápido, es probable que las láminas no lleguen a su temperatura de plastificación.

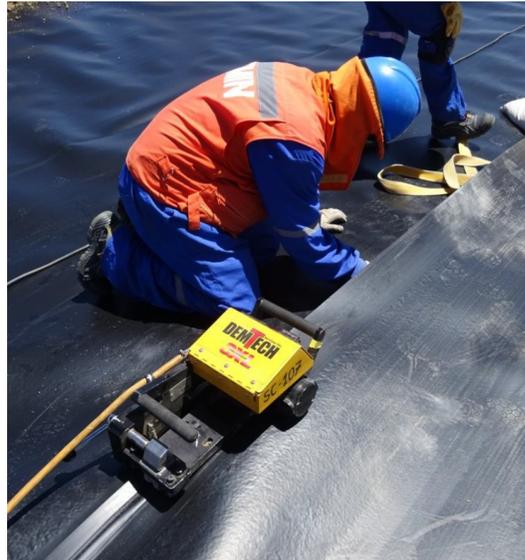


Figura 4.17: Equipo de soldadura por cuña caliente.
Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.

Por otro lado, los rodillos de presión generan en su avance 2 fajas de soldadura, mostrados en la figura 4.18, produciendo un canal de aire en la zona intermedia que permite ejecutar ensayos para corroborar la integridad de la unión.

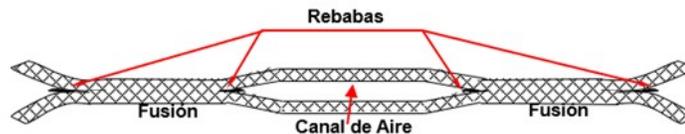


Figura 4.18: Esquema soldadura por cuña caliente.
Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.

4.5.1.2. Soldadura por extrusión con material de aporte

En la soldadura por extrusión, se utiliza una máquina manual llamada extrusora, mostrado en la figura 4.19, en la cual, tanto la velocidad de avance como la presión aplicada es controlada directamente por el operario, mientras que la temperatura es configurable mediante un panel de control del equipo.



Figura 4.19: Máquina extrusora.
Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.

El equipo se carga con material de aporte, en este caso un alambroón (Figura 4.20.a) de iguales propiedades que el material base, el cual es plastificado por el equipo y forzado mediante un tornillo giratorio a través de una boquilla formando el cordón de soldadura (Figura 4.20.b). Para conseguir el tiempo apropiado de enfriamiento, el equipo incorpora un calentador que avanza por delante de la boquilla cuya función es aumentar la temperatura de las láminas para conseguir que la soldadura no reduzca su temperatura de manera apresurada debido al contacto con un material más frío.



(a) Material de aporte, Alambroón.
Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.



(b) Esquema soldadura por extrusión.
Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.

Figura 4.20: Soldadura por extrusión con material de aporte.

4.6. Pruebas en geomembranas

Las pruebas a las soldaduras es uno de los aspectos más importantes para verificar la integridad de las soldaduras realizadas. Existen pruebas de 3 tipos, primeramente ensayos de puesta en marcha, es decir, uniones de prueba entre trozos de geomembranas. Luego, ensayos destructivos donde se corta una muestra para ser ensayada mecánicamente para comprobar la resistencia mecánica de la unión. Finalmente los ensayos no destructivos se presentan en variados formatos y tienen por objetivo verificar la continuidad de la soldadura.

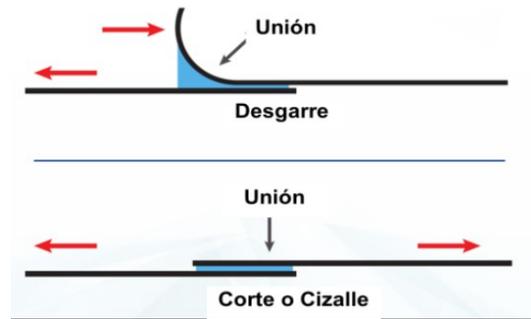
Los 3 tipos de ensayos se complementan en sus objetivos, por lo que no se consideran ensayos más importantes que otros y la realización de los 3 tipos de ensayo permitirá verificar la integridad de las soldaduras.

4.6.1. Ensayo de corte y desgarre

Los ensayos de corte y desgarre se realizan para obtener las propiedades mecánicas y la integridad de las uniones ejecutadas, para esto se utiliza un tensiómetro, mostrado en la figura 4.21.a, el cual cuenta con 2 mordazas, una fija y otra móvil la cual se configura a una velocidad de ensayo de 2 [in/min] para geomembranas de HDPE y de 20[in/min] para geomembranas de LLDPE. En la figura 4.21.b, se presenta la configuración de cada ensayo para generar cada tipo de falla.



(a) Tensiómetro .
Fuente: DEMTECH.



(b) Croquis ensayos de corte y desgarre.
Fuente: EMIN I&C.

Figura 4.21: Tensiómetro y ensayos.

Los valores esperados para estos ensayos sobre uniones se presentan en la tabla 4.2 estandarizados por Geosynthetic Institute en su especificación estándar GRI -GM19a [7].

Material	Prueba	Soldadura	Requisito respecto a material base	
			GM19 actual	GM19 propuesto
HDPE	Corte	Termofusión	95 %	95 %
		Extrusión	95 %	95 %
	Desgarre	Termofusión	62 %	72 %
		Extrusión	62 %	62 %
LLDPE	Corte	Termofusión	1300[psi]	1500[psi]
		Extrusión	1300[psi]	1500[psi]
	Desgarre	Termofusión	1100[psi]	1250[psi]
		Extrusión	1100[psi]	1100[psi]

Tabla 4.2: Requisitos de resistencia para ensayos de corte y desgarre en probetas estandar de HDPE, GRI-GM19a [7].

4.6.2. Ensayos de puesta en marcha

Los ensayos de puesta en marcha corresponden a procedimientos de uniones de prueba previos a cualquier tipo de soldadura de láminas definitivos para verificar y ajustar los parámetros de las soldaduras bajo las condiciones ambientales que se tienen en obra.

Adicionalmente, la realización de estas pruebas con geomembranas permite obtener información para realizar precalificación del personal encargado de las soldaduras, de los equipos a utilizar o de los procedimientos descritos.

La frecuencia de la realización de los ensayos de puesta en marcha puede ser variada, pero es recomendable realizar distintas pruebas con cada cambio de personal, con cada cambio de equipo y cada vez que las condiciones climáticas sufran un cambio considerable que pueda afectar la calidad de la soldadura.

Una vez las uniones de prueba se hayan enfriado ya es posible obtener probetas para su ensayos a resistencia mecánica, por lo general, a partir de cada unión se obtienen 10 probetas, 5 destinadas a ensayos de corte y 5 a ensayos de desgarre distribuidas como se muestran en la figura 4.22. La probetas se obtienen mediante una cuponera para estandarizar las probetas a dimensiones de 1[in]x6[in], o equivalentemente, 25[mm]x150[mm].

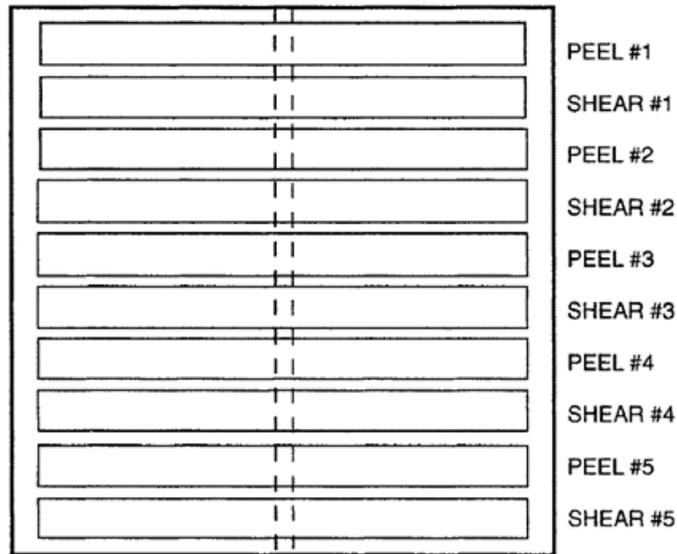


Figura 4.22: Croquis ensayo de puesta en marcha.
Fuente: ASTM D6392.

Si las muestras no consiguen los requerimientos de resistencia es posible realizar nuevas muestras para confirmar la validez del ensayo que falla, en caso de que las nuevas muestras continúen incumpliendo los parámetros de resistencia requeridos se deben tomar las acciones respectivas para corregir las deficiencias, tanto por parte del personal que realizó la soldadura, como del equipo con el cual se realizó.

4.6.3. Ensayos destructivos

Los ensayos destructivos en geomembranas (figura 4.23) consisten en retirar una muestra directamente desde la geomembrana ya instalada para la verificación de las propiedades mecánicas de la soldadura siguiendo el mismo procedimiento y requisitos de los ensayos de puesta en marcha explicados anteriormente.



Figura 4.23: Ensayo destructivo en geomembrana.
Fuente: Curso geosintéticos EMIN I&C.

El ensayo se puede realizar para soldadura por cuña o por extrusión y posterior al retiro de la muestra se debe cubrir la zona mediante un parche soldado por extrusión para conservar el sello impermeable.

4.6.4. Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos tienen como principal objetivo la detección temprana de defectos en el sello de las soldaduras y como su nombre lo indica, la realización de estos ensayos no implica el sacrificio de la junta en la verificación.

4.6.4.1. Prueba de presión

La prueba de presión se utiliza en la soldaduras por cuña, en las cuales, como se muestra en la figura 4.17 poseen un canal de aire producido por la doble cuña. Mediante una aguja con manómetro este canal es inflado hasta alcanzar una presión constante de 200[kPa] (30[psi]) (GSE Lining Technology: Standard Products [5]), su norma de referencia es ASTM D5820: Pressurized Air Channel Evaluation of Dual Seamed Geomembranes [9].

La presión dentro del canal de aire debe mantenerse constante por un periodo de tiempo para verificar la integridad de la unión por cuña, por el contrario, las caídas de presión excesivas son un indicador de la existencia de porosidades o imperfecciones en la unión que permiten la liberación del aire contenido en el canal.

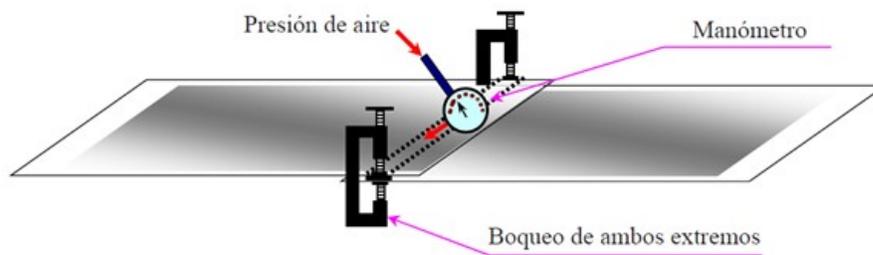


Figura 4.24: Croquis prueba de presión.

Fuente: [ML Ingeniería](#).

4.6.4.2. Prueba de vacío

La prueba de vacío se utiliza para las soldaduras por extrusión y consiste en la utilización de una cámara de vacío móvil y una solución jabonosa sobre la unión a ensayar, su norma de referencia es ASTM D5641: Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber [10].

Primeramente, se aplica la solución jabonosa sobre el trozo de soldadura, para posteriormente apoyar la caja de vacío por encima, ejerciendo presión para generar un sello hermético. Luego, se genera un vacío en la cámara de aproximadamente -35[kPa] (-5[psi]) (IAGI Guidelines for Installation of: HDPE and LLDPE Geomembrane Installation Specification [6]), la presencia de burbujas sobre la soldadura es un indicador de infiltraciones de aire desde la soldadura debido a zonas no ligadas.



Figura 4.25: Prueba de vacío.
Fuente: Recorte img. Geomembranas IGeO.

4.6.4.3. Prueba de chispa eléctrica

La prueba de chispa eléctrica consiste en la aplicación de un campo eléctrico sobre las uniones soldadas por extrusión a las cuales previamente se les instala un alambre de cobre de espesor 0.3[mm]. Se busca detectar continuidad eléctrica entre el equipo emisor del campo y el alambre de cobre receptor. Una chispa eléctrica y sonido debido a la descarga a tierra a través del alambre indica la detección de continuidad eléctrica, la norma aplicable para el ensayo corresponde a la ASTM D6365-99(R2018): "Nondestructive Testing of Geomembrane Seams Using the Spark Test"[11].

El ensayo se basa en las propiedades aislantes de las geomembranas por lo que una soldadura por extrusión correctamente ejecutada no debiese generar descargas eléctricas.

La selección de voltaje aplicado depende de la distancia entre el extremo del cordón de soldadura y el alambre instalado, una selección incorrecta del voltaje puede generar falsos positivos o falsos negativos, en la tabla 4.3 se muestran los voltajes para distancias esperadas entregados por la ASTM D6365.

Distancia esperada [mm]	Voltaje aplicación [V]
6	20000
10	25000
13	28000
16	31000
19	35000

Tabla 4.3: Voltajes de aplicación para distancias esperadas.
Fuente: ASTM D6365 [11].

En la figura 4.26 se muestra la configuración del ensayo, mostrando el alambre dentro de la soldadura y el aplicador de voltaje que debe desplazarse a lo largo de la unión a una velocidad de 6[m] a 9[m] por minuto.

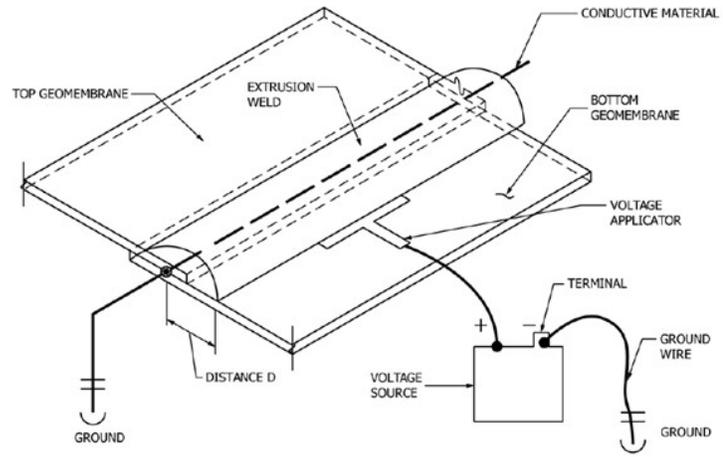


Figura 4.26: Croquis Spark Test.
Fuente: ASTM D6365. [11]

Capítulo 5

Diagnóstico de los procesos en proyectos mineros

Para realizar el diagnóstico de los procesos asociados a las geomembranas, primeramente se identifican posibles problemas y/o oportunidades de mejora específicas para cada uno de los procesos estudiados utilizando la herramienta de calidad *brainstorming*.

Con el objetivo de analizar los principales problemas y oportunidades de mejora detectados se desarrolla una encuesta y entrevistas dirigidas a distintos profesionales que se vean involucrados en alguno de los procesos mencionados en el alcance de la presente memoria. Esto permitirá recoger sus opiniones profesionales y percepciones respecto a dichos problemas y oportunidades.

Finalmente, como resultado del diagnóstico realizado se hace selección de los subprocesos o aspectos más relevantes para el cumplimiento de los objetivos de un proyecto, los cuales servirán como guía y orientarán las propuestas de mejora.

5.1. Identificación problemas y oportunidades de mejora en la ejecución de procesos

A partir del estudio bibliográfico y utilizando la herramienta de calidad *brainstorming* se identifican posibles dificultades y/o oportunidades de mejora específicas para cada uno de los procesos estudiados.

1. Diseño:

Nro.	Problema/Oportunidad	Descripción
1	Ajuste a dimensiones del proyecto	Aplicabilidad de criterios en función de la envergadura del proyecto.
2	Ajuste a topografía	Ajuste del diseño de láminas para las distintas topografías presentadas en proyectos.
3	Integración con otros materiales	Compatibilidad del diseño de geomembranas con otros materiales presentes en el proyecto.
4	Selección de espesor	Grosor de geomembrana acorde a los esfuerzos internos de la lámina y las condiciones de suelo.
5	Confección de planos de despliegue	Despliegue de láminas apropiado para la optimización en la utilización de materiales y correcta impermeabilización de superficies.
6	Determinación de condiciones de suelo	Estudio de condiciones de suelo para estudio de apoyo y punzonamiento para la selección de espesores de lámina.
7	Diseño de uniones	Ubicación de uniones en planos de despliegue y sus respectivos esfuerzos internos

Tabla 5.1: Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de diseño.

2. Adquisición:

Nro.	Problema/Oportunidad	Descripción
1	Elección de proveedor	Selección de proveedores de geomembranas en función de las especificaciones técnicas del proyecto, stock, precios y/o plazos.
2	Variabilidad en calidad de materiales	Fluctuaciones en las propiedades de un mismo tipo de material que afecta el trabajo o la servicialidad de la lámina.
3	Disponibilidad o stock de los proveedores	Capacidad de los proveedores en cuanto a sus existencias.
4	Tiempos de entrega	Capacidad de los proveedores en cuanto a sus plazos de despacho.
5	Presupuesto del proyecto	Variabilidad entre precios de estudio y propuesta y precios de cotización.

Tabla 5.2: Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de adquisiciones.

3. Instalación:

3.1 Despliegue:

Nro.	Problema/Oportunidad	Descripción
1	Disponibilidad de rollos en terreno	Coordinación y/o planificación entre terreno y bodega.
2	Seguridad en la operación	Coordinación y aseguramiento de seguridad operacional en el despliegue de láminas.
3	Condiciones de terreno	Dificultad para alcanzar las confecciones de suelo especificadas para el proyecto.
4	Capacidad del personal	Capacitación del personal para la manipulación de geomembranas.
5	Coordinación con otras etapas constructivas	Interferencia entre los trabajos de despliegue de láminas con otros trabajos en la zona a impermeabilizar.
6	Condición del material	Integridad de la lámina a desplegar.
7	Estado y/o disponibilidad de herramientas	Plan de mantención de herramientas y equipos de bodega y su coordinación y/o planificación entre terreno y bodega.
8	Condiciones o cuidados post instalación	Manipulación y trabajos posteriores sobre la lámina desplegada que comprometan su integridad.

Tabla 5.3: Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de despliegue.

3.2 Soldadura:

Nro.	Problema/Oportunidad	Descripción
1	Estado y/o disponibilidad de herramientas	Plan de mantención de herramientas y equipos de bodega y su coordinación y/o planificación entre terreno y bodega.
2	Alineación de láminas	Paralelismo en el despliegue de láminas para la posterior soldadura y optimización de material.
3	Pliegues o arrugas en láminas	Estiramiento de láminas para evitar irregularidades en la superficie.
4	Capacidad del personal	Capacitación del personal para el manejo de equipos y técnicas de soldadura.
5	Calidad geomembranas	Fluctuaciones en las propiedades de un mismo tipo de material que afecta el proceso de soldadura entre láminas.
6	Dificultad técnica de la soldadura	Técnicas de soldadura de gran complejidad.
7	Seguridad durante el procedimiento	Coordinación y aseguramiento de seguridad operacional en la soldadura de láminas.
8	Eficiencia del procedimiento	Cumplimiento de plazos estipulados para la ejecución de soldaduras.
9	Condiciones ambientales	Condiciones ambientales adversas que dificultan la ejecución de soldaduras.
10	Condiciones o cuidados post soldadura	Manipulación y trabajos posteriores sobre las soldaduras ejecutadas que comprometan su integridad.

Tabla 5.4: Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de soldadura.

4. Pruebas y/o ensayos:

Nro.	Problema/Oportunidad	Descripción
1	Estado o disponibilidad de herramientas a utilizar	Plan de mantención de herramientas y equipos de bodega y su coordinación y/o planificación entre terreno y bodega.
2	Calidad de las soldaduras	Fluctuaciones en la propiedades de soldaduras.
3	Capacitación del personal	Capacitación del personal para el manejo de equipos y técnicas de ensayo y/o pruebas a soldaduras.
4	Dificultad del procedimiento	Técnicas de pruebas y/o ensayos a soldaduras de gran complejidad.
5	Seguridad en el procedimiento	Coordinación y aseguramiento de seguridad operacional durante las pruebas y/o ensayos a soldadura.
6	Condiciones ambientales	Condiciones ambientales adversas que dificultan la ejecución de pruebas y/o ensayos a soldaduras.
7	Condiciones y/o cuidado post soldadura	Manipulación y trabajos posteriores sobre las soldaduras ejecutadas que comprometan su integridad.
8	Acciones ante detección de fugas	Capacidad de respuesta ante la detección de una fuga o imperfecciones en soldaduras.
9	Interferencia con otras etapas constructivas	Interferencia entre la ejecución de ensayos y/o pruebas a soldaduras de láminas con otros trabajos en la zona a impermeabilizar.

Tabla 5.5: Dificultades y oportunidades de mejora en proceso de pruebas y/o ensayos.

5.2. Análisis de problemas y oportunidades mejora detectados

5.2.1. Resultados encuestas

La encuesta fue dirigida a profesionales que se hayan visto involucrados en cualquiera de los procesos asociados a geomembranas. Posterior a la caracterización de los encuestados, se les solicitó responder preguntas específicas relativas al proceso en el cual cuentan con más experiencia, identificando desafíos y aspectos relevantes a modificar y/o mejorar.

La pauta de la encuesta se muestra en el Anexo A y cuenta con las siguientes secciones.

1. Caracterización de los encuestados: Se pregunta a los encuestados por su ocupación, el sector en el que ejerce, su experiencia laboral y el rubro con el cual se siente más familiarizado.
2. Experiencia en proyectos con geomembranas: Se pregunta a los encuestados respecto a su conocimiento de geomembranas y sus usos, además de identificar el proceso en el que se ven

más involucrados en el ejercicio de su profesión.

3. Preguntas específicas: En esta sección se pregunta por las principales dificultades y/o desafíos que se presentan en el desarrollo del proceso seleccionado en la sección previa.
4. Percepción personal: Se pregunta por la opinión profesional de los encuestados respecto a la importancia de cada proceso en el cumplimiento de plazos y costos establecidos para los proyectos. Finalmente, se incluye una pregunta abierta para comentar libremente sobre el estado del arte de los procesos asociados a geomembranas y aspectos a modificar y/o mejorar.

La encuesta se desarrolló mediante la plataforma de Google Forms y se distribuyó mediante variados canales digitales como LinkedIn, foros y correos masivos dentro de la empresa EMIN Ingeniería y Construcción.

A continuación se muestran los resultados de la encuesta que contó con una participación de 36 profesionales dedicados a ingeniería y a construcción.

Respecto al perfil de los encuestados, como se aprecia en las figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, la gran mayoría de ellos corresponden a profesionales de ingeniería y construcción con más de 15 años de experiencia en proyectos privados del rubro minero.

1. Indique su ocupación principal
36 respuestas

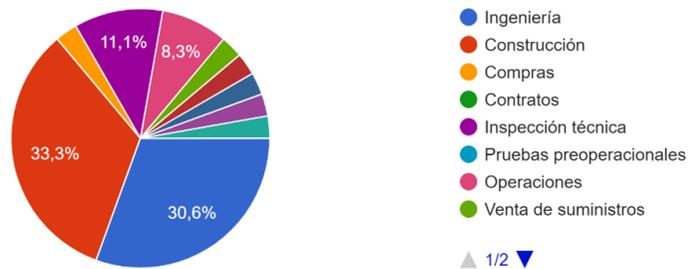


Figura 5.1: Ocupación encuestados.
Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

2. Indique su área o ámbito de trabajo

36 respuestas

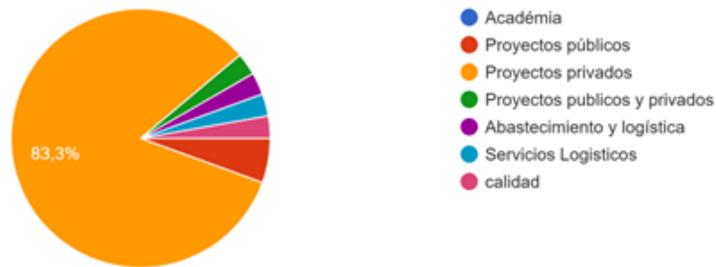


Figura 5.2: Área de trabajo encuestados.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

3. Años de experiencia laboral

36 respuestas

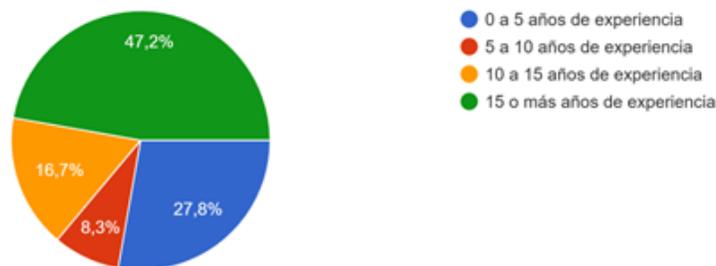


Figura 5.3: Experiencia laboral encuestados.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

4. Seleccione el sector en el cuál considera que cuenta con más experiencia.

36 respuestas

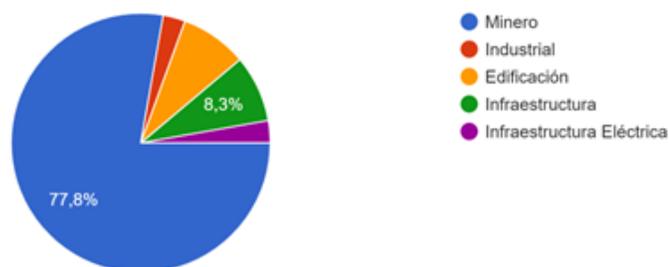


Figura 5.4: Sector productivo encuestados.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

Respecto a la experiencia en proyectos con geomembranas de los encuestados, en su mayoría se tiene un nivel entre medio y alto de conocimiento respecto al material y se involucran en su mayoría en los procesos de despliegue y/o montaje de geomembranas y en diseño.

5. En su opinión, ¿Qué nivel de conocimiento tiene respecto a las geomembranas y sus usos?

36 respuestas

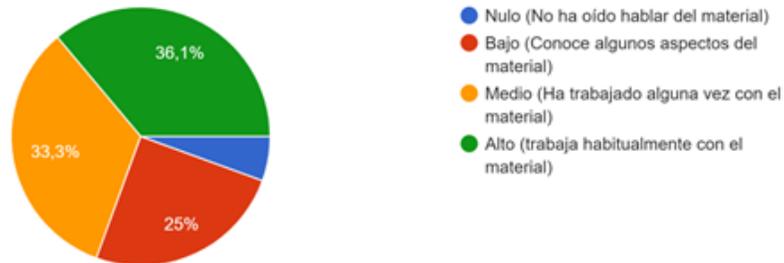


Figura 5.5: Nivel de conocimiento en geomembranas encuestados.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

6. En su opinión, ¿En cuál de los siguientes procesos, asociados a las geomembranas, usted se ve más involucrado en el ejercicio de su ocupación?

36 respuestas

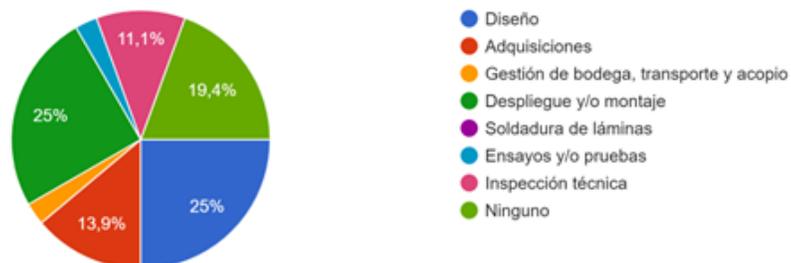


Figura 5.6: Proceso de mayor participación del encuestado.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

Respecto a las preguntas específicas, se presentan las secciones de mayor participación.

- Diseño:

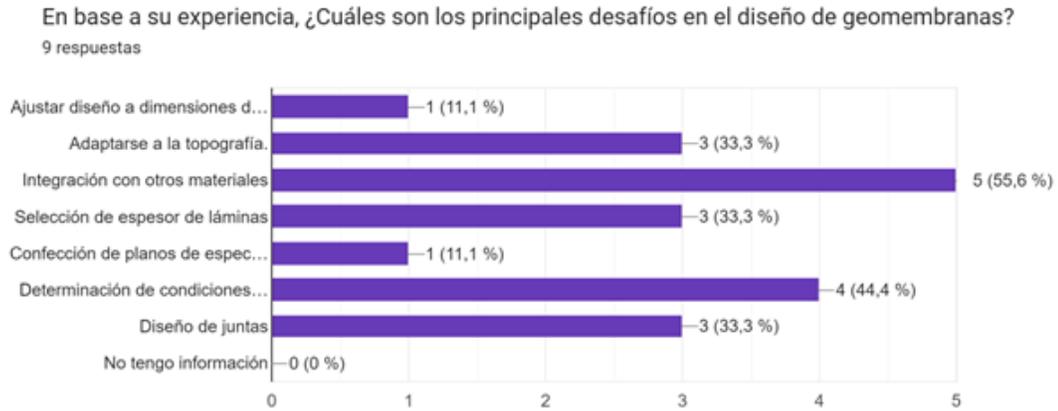


Figura 5.7: Desafíos en el proceso de diseño según encuestados.
Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

- Adquisiciones:



Figura 5.8: Desafíos en el proceso de adquisiciones según encuestados.
Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.



Figura 5.9: Principales criterios para la selección de proveedores según encuestados.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

- Despliegue y/o montaje:

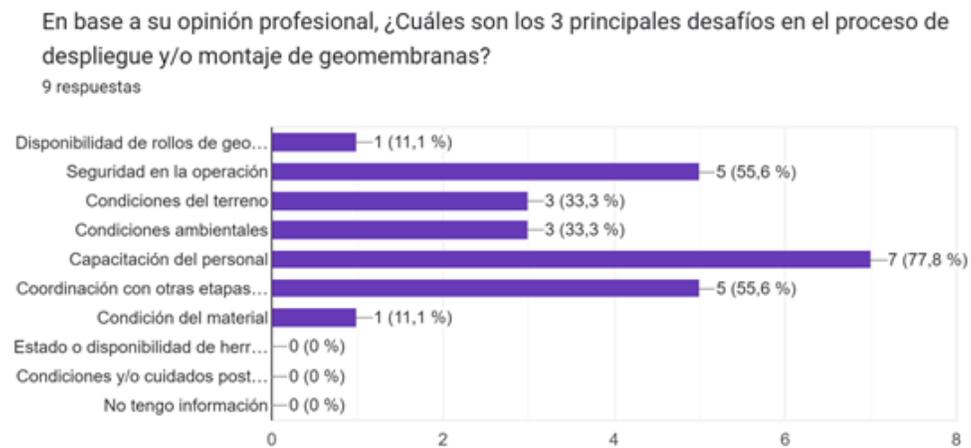


Figura 5.10: Desafíos en el proceso de despliegue y/o montaje según encuestados.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

- Inspección técnica:

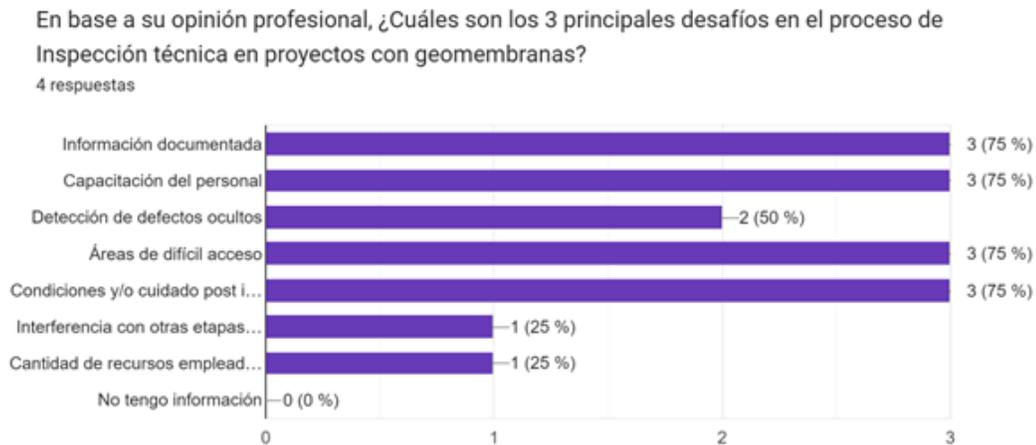


Figura 5.11: Desafíos en el proceso de inspección técnica según encuestados.
Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

Respecto a los aspectos relativos a la percepción personal de los encuestados, en las siguientes figuras se aprecia la importancia que dan los encuestados a los procesos para el cumplimiento de plazos y costos establecidos para el proyecto.



Figura 5.12: Relevancia de procesos para el cumplimiento de plazos según encuestados.
Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

8. Según su opinión profesional y/o conocimiento, seleccione los 3 aspectos más relevantes para el cumplimiento de los costos establecidos para proyectos con geomembranas.
36 respuestas

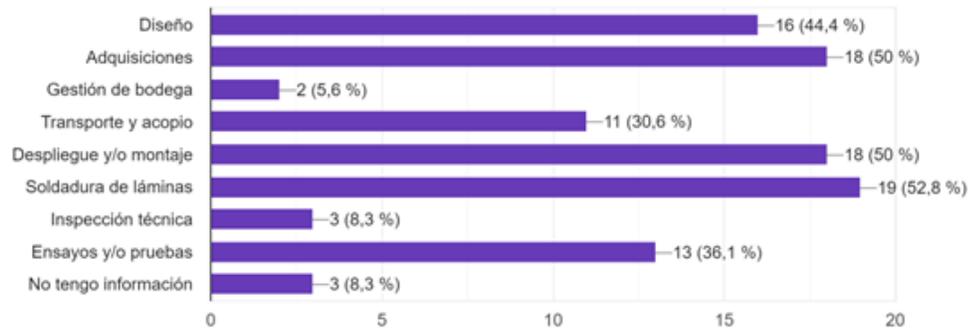


Figura 5.13: Relevancia de procesos para el cumplimiento de costos según encuestados.

Fuente: Elaboración propia, mediante Google Forms.

Finalmente se incluyó una pregunta abierta para que los encuestados comenten con libertad su percepción de los procesos asociados a las geomembranas y sus respectivas oportunidades de mejora, la pregunta realizada fue la siguiente *”Esta es una pregunta abierta en la que puede comentar libremente respecto su percepción del estado del arte de los procesos que conllevan los proyectos con geomembranas y cuáles son los aspectos a modificar y/o mejorar”*.

Las principales opiniones emitidas por los encuestados se presentan a continuación.

Nro.	Opinión emitida
1	Integrar el diseño con la construcción para evitar problemáticas como no considerar de manera apropiada las condiciones de sitio, dificultades para lograr soldaduras adecuadas, secuencia constructiva acorde a condiciones particulares de sitio.
2	Los procesos deben ser liderados por una empresa especialista que integre ingeniería, suministros y montaje para acotar riesgos y optimizar plazos.
3	Se debe dar especial énfasis en la preparación de superficie de apoyo, planos y secuencia de despliegue, soldadura y control y aseguramiento de calidad, ya que de no controlarse en obra producen fallas que llevan a altos costos.
4	Controlar todos los aspectos relativos a las soldaduras de láminas.
5	Contar con personal calificado y certificado para los procesos.
6	Controlar la calidad de los materiales y seguir enfocados en la capacitación de los trabajadores.
7	Los proveedores de geomembranas deberían entregar los parámetros reales de para la ejecución de soldadura entre láminas y esto debe ser verificado mediante ensayos previos (durante la cotización).
8	Se debe estandarizar los planos de despliegue y tecnologizar el despliegue de láminas.
9	Los ensayos no destructivos no son 100 % fiables ya que dependen mucho de quién los ejecute y cómo los interprete.
10	El personal que ejecuta los ensayos no posee el nivel jerárquico necesario para empoderarse de su actividad y rechazar una prueba o un ensayo, debido a que es subordinado de un capataz, que podría querer terminar y entregar los trabajos dejando de lado la calidad.

Tabla 5.6: Opiniones emitidas en pregunta abierta de encuesta.

5.2.2. Resultados entrevistas

Las entrevistas fueron dirigidas a 2 profesionales con basta experiencia en geomembranas, uno de ellos involucrado en su vida laboral al diseño, construcción y reparación en proyectos con geomembranas, mientras que la segunda entrevistada corresponde a una profesional colaboradora de una empresa proveedora de geomembranas con gran presencia en el mercado.

Para adaptarse a las ocupaciones de los entrevistados, se emplearon dos formatos diferentes, como se detalla en el Anexo B. El primer formato es dirigido al profesional vinculado a Ingeniería y Construcción, mientras que el segundo se centró en la profesional colaboradora de una empresa proveedora de suministros.

José Luis Delgado, Gerente Hidrogeología ITASCA Chile.

Las principales respuestas y opiniones emitidas por el entrevistado se presentan a continuación.

José Luis Delgado, Gerente Hidrogeología ITASCA Chile.		
Nro.	Ítem	Comentarios a destacar
1	Caracterización entrevistado.	<ul style="list-style-type: none">• Experiencia principal en proyectos mineros.• Diseño de sistema de control ante infiltraciones en revestimientos.
2	Usos más comunes y principales defectos.	<ul style="list-style-type: none">• Uso más habitual en reservorios, estanques y piscinas para operación dentro de la industria minera.• Defectos más comunes punzonamiento de geomembrana, tanto en etapa constructiva como en etapa de operación.
3	Oportunidades de mejora.	<ul style="list-style-type: none">• Las principales problemáticas dentro de los procesos de instalación corresponden a la inspección técnica durante las adquisiciones, la preparación de superficie y el despliegue de láminas.• Las soldaduras son puntos débiles dentro del revestimiento, es importante lograr controlar la ejecución de las soldaduras y la respectiva frecuencia y ubicación de los ensayos a estas.• Los procesos deben ser descritos de manera amplia y precisa para contar con respaldo de la ejecución de las actividades.• Es importante verificar el cumplimiento de los procedimientos en terreno.• Es importante integrar todos los procesos asociados al revestimiento, así como sus registros.

Tabla 5.7: Resumen entrevista José Luis Delgado, Gerente Hidrogeología ITASCA Chile.

Karol Zenteno de la Jara, Gestora de negocios TDM Chile.

Las principales respuestas y opiniones emitidas por la entrevistado se presentan a continuación.

Karol Zenteno de la Jara, Gestora de negocios TDM Chile.		
Nro.	Ítem	Comentarios a destacar
1	Caracterización entrevistado.	<ul style="list-style-type: none">• Experiencia principal en proyectos mineros, agrícolas y sanitarios.• Gestión de venta de geosintéticos y asesoramiento de clientes.
2	Usos más comunes y principales defectos.	<ul style="list-style-type: none">• Uso más habitual en reservorios, estanques, tranque de relave, rellenos sanitarios y piscinas.• Origen de los defectos principalmente del proceso de instalación.
3	Contexto Chile.	<ul style="list-style-type: none">• 2 empresas cuentan con fábricas en Chile.• Gran parte del mercado nacional de geomembranas está compuesto por la fabricación nacional.
4	Estándares y controles de calidad.	<ul style="list-style-type: none">• TDM trabaja con estándar GM13 para la fabricación de geomembranas de HDPE y GM17 para geomembranas de LLDPE.• TMD fabrica en Perú y cuenta con laboratorio de autocontrol con certificación GAI-LAP.• Los certificados de calidad verifican aspectos como espesor, densidad, tensión y elongación de fluencia, tensión y elongación de rotura, rasgado, punzonado, agrietamiento, contenido de carbón, dispersión de carbón, envejecimiento, resistencia UV y tiempo de inducción oxidativa.• Los certificados de calidad son asociados de manera física y electrónica a los lotes y rollos producidos para trazabilidad.
5	Oportunidades de mejora.	<ul style="list-style-type: none">• Las principales dificultades se presentan en el manejo y transporte de rollos, cuando se externaliza el despacho, pudiéndose llegar a comprometer la integridad de los rollos despachados.

Tabla 5.8: Resumen entrevista Karol Zenteno de la Jara, Gestora de negocios TDM Chile.

5.2.3. Análisis resultados de encuestas y entrevistas

A partir de los resultados de la encuesta se confecciona un diagrama de Pareto, mostrado en las figuras 5.14 y 5.15, con el fin de identificar la importancia de los procesos y su injerencia en los objetivos del proyecto de construcción. El diagrama de Pareto muestra la recurrencia en las respuestas de los encuestados a las preguntas mostradas en las figuras 5.12 y 5.13, donde cada encuestado marcó los 3 aspectos más relevantes para el cumplimiento de plazos y costos.

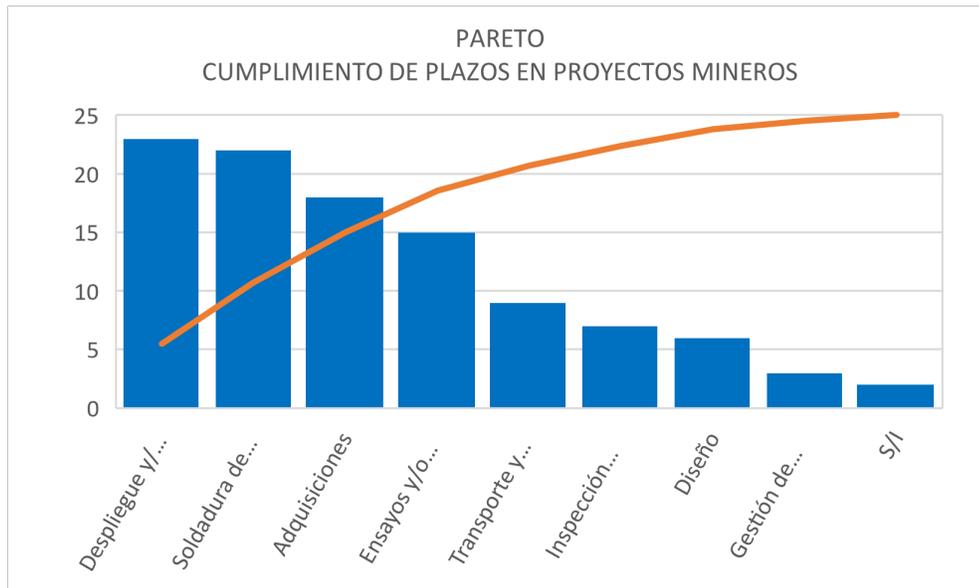


Figura 5.14: Diagrama Pareto para el cumplimiento de plazos.
Fuente: Elaboración propia.

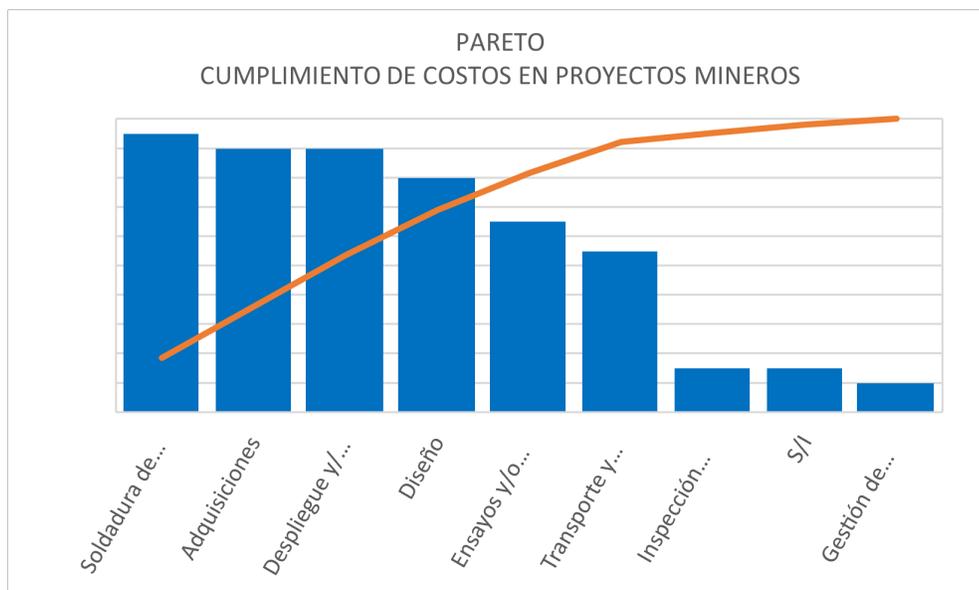


Figura 5.15: Diagrama Pareto para el cumplimiento de plazos.
Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en las figuras 5.14 y 5.15, los encuestados coinciden en sus respuestas para los 3 aspectos más relevantes tanto para el cumplimiento de plazos, como de costos, solo variando su orden. En ambos casos, las 3 principales respuestas son **despliegue y/o montaje, soldadura de láminas y adquisiciones**.

Luego, a partir de los resultados de encuesta y entrevistas se confecciona un diagrama de Ishikawa identificando, analizando y categorizando distintas causas que provocan las principales problemáticas a la hora de ejecutar el revestimiento de una superficie con geomembranas.

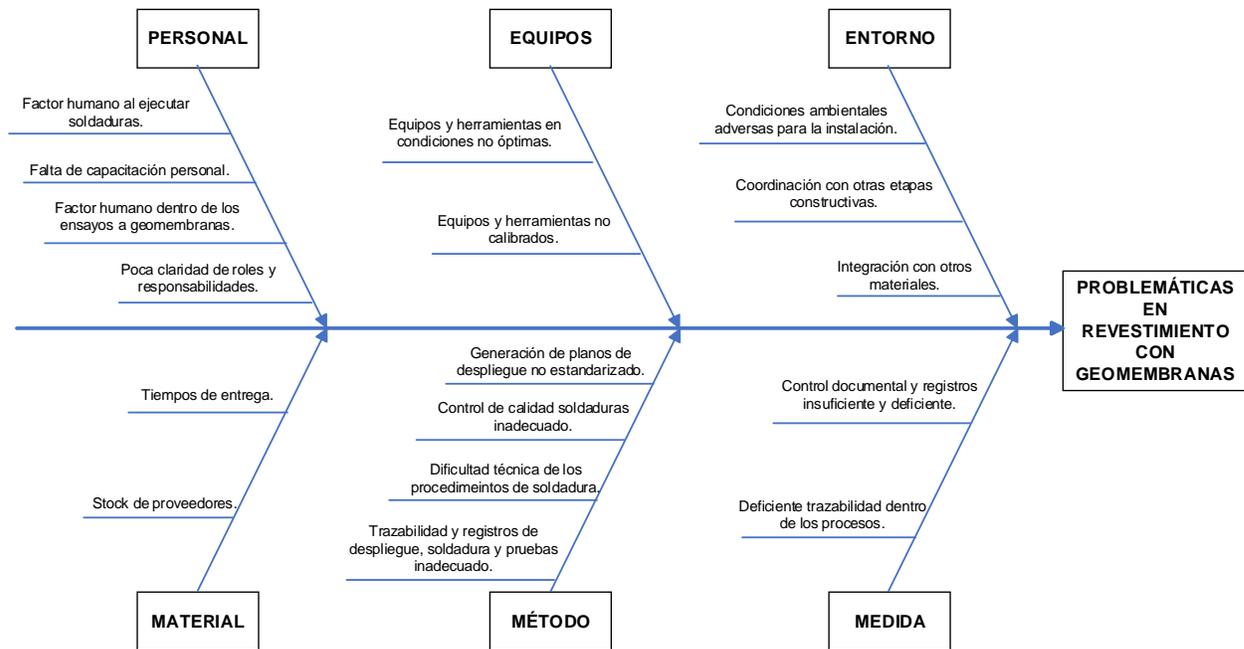


Figura 5.16: Diagrama de Ishikawa problemáticas en revestimiento con geomembranas.

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Selección de aspectos críticos en minería

Como conclusión del diagnóstico a los procesos que implica la ejecución de un revestimiento con geomembranas, se indican los subprocesos o aspectos más relevantes o críticos para el cumplimiento de los objetivos de un proyecto en función del análisis realizado de éstos mediante la encuesta y entrevistas realizadas y las herramientas de calidad empleadas. Además, la selección de estos subprocesos o aspectos servirán de directriz y orientarán las propuestas de mejora.

- Diseño:
 - Confección de planos de despliegue.
 - Definición de roles y responsabilidades.

- Adquisiciones:
 - Control documental.
 - Trazabilidad rollos.
 - Definición de roles y responsabilidades.
- Instalación.
 - Trazabilidad y registro de despliegue.
 - Trazabilidad y registro de soldaduras.
 - Definición de roles y responsabilidades.
- Pruebas:
 - Frecuencia y ubicación de muestreo.
 - Trazabilidad y registro de pruebas y ensayos.
 - Definición de roles y responsabilidades.

Capítulo 6

Propuesta de mejora de los procesos para proyectos mineros

De manera general, cada propuesta busca definir de manera integral objetivos, alcances, definiciones, referencias, responsabilidades, actividades, trazabilidad y registros, con el fin de garantizar el aseguramiento y control de calidad en la ejecución de los procesos.

Para lograr esto, en el capítulo 4 se realizó un estudio técnico de las geomembranas que permitió obtener información clave a incluir dentro de las propuestas de mejora, entre lo que se encuentra recomendaciones para planos de despliegue, detalles típicos de zonas críticas del revestimiento, tipos de soldadura, parámetros a controlar al ejecutar soldaduras, equipos, ensayos, entre otros.

Luego, en el capítulo 5 se realizó un diagnóstico a los procesos mediante el cual se detectaron los aspectos críticos a abordar dentro de las propuestas de mejora en función de la opinión profesional de profesionales de la ingeniería y construcción dedicados en su mayoría a proyectos del rubro minero.

Finalmente, en el presente capítulo se desarrollan las propuestas de mejora a los 4 procesos con un enfoque en el aseguramiento y control de calidad, fundamentadas en criterios técnicos y que aborda de manera integral los aspectos cruciales detectados en el diagnóstico.

6.1. Proceso de diseño

La generación de planos de despliegue es un proceso que debe ser tratado desde una mirada general debido a las particularidades de la superficie a revestir de cada proyecto, la propuesta debe reconocer esta complejidad y recopilar las principales recomendaciones y/o prohibiciones, dando las principales directrices aplicables a todo proyecto con el fin de alinear los diseños con los estándares de calidad requeridos.

Para abordar de manera efectiva los aspectos críticos detectados en el diagnóstico se incorporan las siguientes soluciones al procedimiento propuesto.

Aspecto crítico a abordar	Solución propuesta
Confección de planos de despliegue	<ul style="list-style-type: none"> • Estandarización de planos de despliegue. • Incorporación de principales recomendaciones y prohibiciones de diseño. • Incorporación de detalles típicos. • Estandarización de formato de entregable.
Definición de roles y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Definición completa de actividades y responsabilidades dentro de las actividades del proceso. • Incorporación de tabla resumen de responsabilidades por unidad/cargo.

Tabla 6.1: Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de diseño.

Para lograr la estandarización de planos de despliegue se incluyen detalles típicos para los siguientes puntos clave dentro del diseño. Detalles que finalmente son presentados en un plano de despliegue tipo mostrado en la figura 6.1

- Traslape longitudinal de paneles paralelos.
- Esquinas de taludes.
- Zanjas de anclaje.
- Pie de talud.
- Traslape para soldadura.
- Parches.

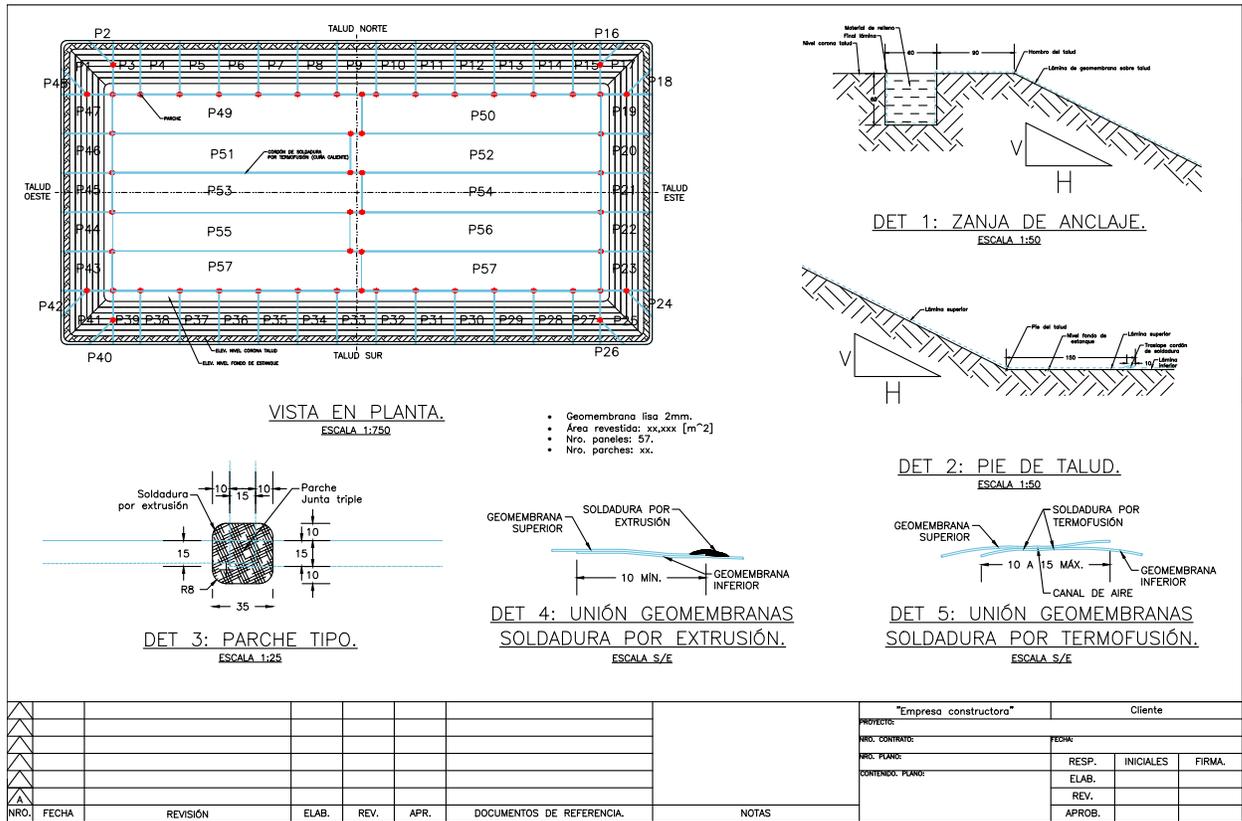


Figura 6.1: Plano de despliegue tipo.
Fuente: Elaboración propia, mediante AutoCAD.

El procedimiento de generación de planos de despliegue propuesto se presenta en el anexo C.

6.2. Proceso de adquisiciones

El procedimiento de adquisición de geomembranas propuesto incluye los principales aspectos a considerar, desde la planificación inicial de la compra de geosintéticos hasta la evaluación final de los proveedores.

Para abordar de manera efectiva los aspectos críticos detectados en el diagnósticos se incorporan las siguientes soluciones al procedimiento propuesto.

Aspecto crítico a abordar	Solución propuesta
Control documental	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de mapa de procesos que permite visualizar información documentada en cada una de las etapas del proceso.
Trazabilidad rollos	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de <i>Registro de geosintéticos</i>.
Definición de roles y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Definición completa de actividades y responsabilidades dentro de las actividades del proceso. • Incorporación de tabla resumen de responsabilidades por unidad/cargo.

Tabla 6.2: Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de adquisiciones.

La figura 6.2 muestra el mapa de procesos incorporado en el procedimiento, en el cual se puede visualizar la secuencia de las etapas descritas, además de los responsables e información documentada de cada etapa. También se incluyen distintas acciones a realizar para gestionar la relación con el proveedor.

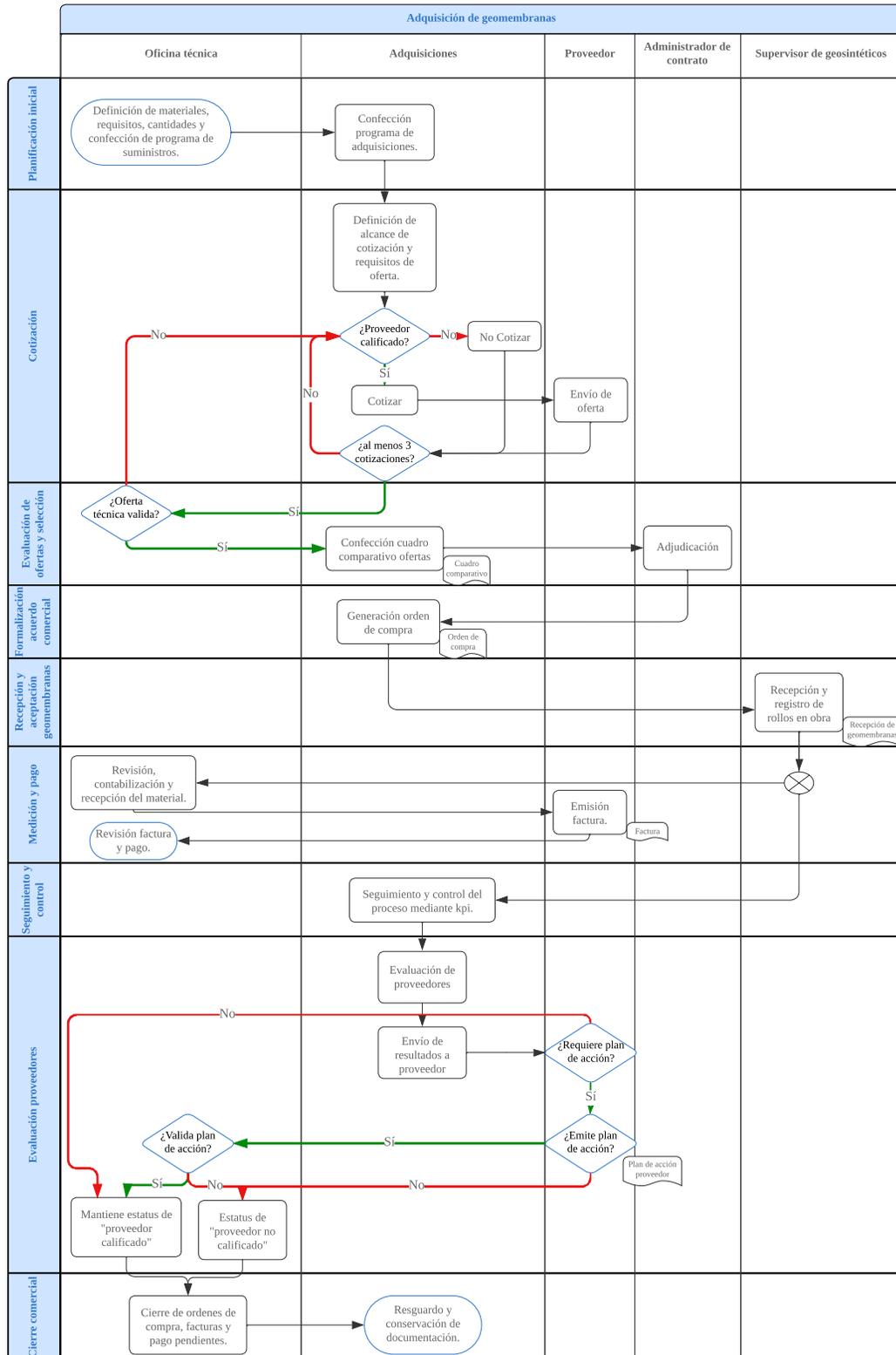


Figura 6.2: Mapa de proceso, adquisición de geosintéticos.
Fuente: Elaboración propia, mediante Lucidchart.

Además, se incorpora el formulario denominado "Recepción de geomembranas" al procedimiento. Este documento detalla información crucial como el material, el número de identificación, el número de orden de compra, fecha y hora de llegada, entre otros. También incluye observaciones relacionadas con la inspección visual del rollo.

El procedimiento de adquisición de geomembranas propuesto se presenta en el anexo D.

6.3. Proceso de instalación

El procedimiento de instalación de geomembranas propuesto se centra en describir de manera completa e integral cada una de las etapas que conlleva la instalación de esta clase de revestimiento, incorporando las principales actividades y controles indicados por las principales empresas e instituciones instaladoras de geosintéticos.

Para abordar de manera efectiva los aspectos críticos detectados en el diagnósticos se incorporan las siguientes soluciones al procedimiento propuesto.

Aspecto crítico a abordar	Solución propuesta
Trazabilidad y registro de despliegue	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación del registro <i>Identificación de paneles</i>.
Trazabilidad y registro de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de <i>Registro de soldaduras</i>.
Definición de roles y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Definición completa de actividades y responsabilidades dentro de las actividades del proceso. • Incorporación de tabla resumen de responsabilidades por unidad/cargo.

Tabla 6.3: Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de instalación.

El procedimiento propuesto describe las actividades de planificación, preparación de superficie, dimensionamiento, despliegue, soldadura y gestión de defectos y reparaciones. Cada una de las actividades mencionadas cuenta con sus respectivos registros que permitirán formalizar la trazabilidad dentro del proceso, permitiendo documentar información clave del procedimiento y correlacionarla con información de otros procesos.

A continuación se detallan los registros incorporados en el proceso. La figura 6.3 muestra el formulario de identificación de paneles de geosintéticos.

- *Aceptación de condiciones de terreno.*
- *Identificación de paneles de geosintéticos.*

Aspecto crítico a abordar	Solución propuesta
Frecuencia y ubicación de muestreo	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de criterios para la determinación de frecuencia y ubicación de cada uno de los ensayos a ejecutar.
Trazabilidad y registro de pruebas y ensayos	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de registros <i>Ensayo de corte y desgarre</i>, <i>Registro de toma de muestras</i>, <i>Prueba de presión</i> y <i>Ensayos no destructivos</i>.
Definición de roles y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Definición completa de actividades y responsabilidades dentro de las actividades del proceso. • Incorporación de tabla resumen de responsabilidades por unidad/cargo.

Tabla 6.4: Relación aspectos críticos y soluciones propuestas, proceso de pruebas.

El procedimiento incorpora una descripción clara de cada uno de los ensayos a realizar, incluyendo para cada ensayo detalle de los siguientes aspectos.

- Descripción de la actividad.
- Responsables de ensayos.
- Frecuencia y ubicación de ensayos.
- Identificación de muestras.
- Personal y equipo requerido.
- Parámetros de muestreo y ensayo.
- Criterios de aceptación de ensayos.
- Acciones ante el rechazo de ensayos.

Además, se indica para cada uno de los ensayos a ejecutar los respectivos registros a realizar, los cuales permiten detallar soldadura ensayada, parámetros de ensayo, condiciones ambientales, número de serie equipo, nombre técnico, resultados de ensayo, entre otros. Los registros incorporados en el proceso se presentan a continuación.

- *Ensayo de corte y desgarre.*
- *Registro de toma de muestras.*
- *Prueba de presión.*
- *Ensayos no destructivos.*

El procedimiento de pruebas y/o ensayos a geomembranas propuesto se presenta en el anexo F.

Capítulo 7

Conclusiones

En primer lugar, respecto a los objetivos de la memoria, se logró desarrollar una propuesta de mejora a los procesos de diseño, adquisición, instalación y pruebas de geomembranas para proyectos mineros enfocada al aseguramiento y control de calidad. A modo general, las propuestas logran abarcar objetivos, alcances, definiciones, responsabilidades, descripción de actividades, trazabilidad, registros específicos de cada uno de los procesos.o.

A partir del estudio técnico de geomembranas se logró una comprensión más profunda de la ejecución de ciertas actividades dentro de los procesos estudiados, lo cual permitió en definitiva la obtención de elementos clave que resultan esenciales para la formulación de propuestas de mejora. Por otra parte, mediante el diagnóstico de los procesos se obtuvieron las principales preocupaciones de los profesionales dedicados a la ingeniería y a la construcción, aspectos que sirvieron para orientar las propuestas de mejora.

La principal dificultad presentada en el trabajo tiene relación con el estudio técnico de geomembranas dada la gran cantidad de fuentes de información disponibles, que incluían normas técnicas, publicaciones de asociaciones especialistas y documentos provenientes de empresas relevantes en el campo de estudio. La diversidad y complejidad de estas fuentes presentaron un desafío significativo al intentar recopilar y sintetizar toda la información en un documento coherente y ordenado. La tarea de analizar, seleccionar y organizar adecuadamente los datos provenientes de estas fuentes requirió un esfuerzo considerable para garantizar la precisión y la relevancia de la información presentada en las propuestas.

A pesar del esfuerzo por sintetizar y organizar toda la información disponible, las propuestas de mejora se ven limitadas por una visión general de los proyectos, lo que facilita la formulación de propuestas de mejora. No obstante, es crucial considerar que estas propuestas no pretenden abordar exhaustivamente situaciones particulares que puedan surgir en cada proyecto o en condiciones específicas de terreno. Por lo tanto, aunque la propuesta ofrece un marco general para la mejora de procesos, se reconoce la necesidad de flexibilidad y adaptabilidad para su implementación efectiva en distintos contextos.

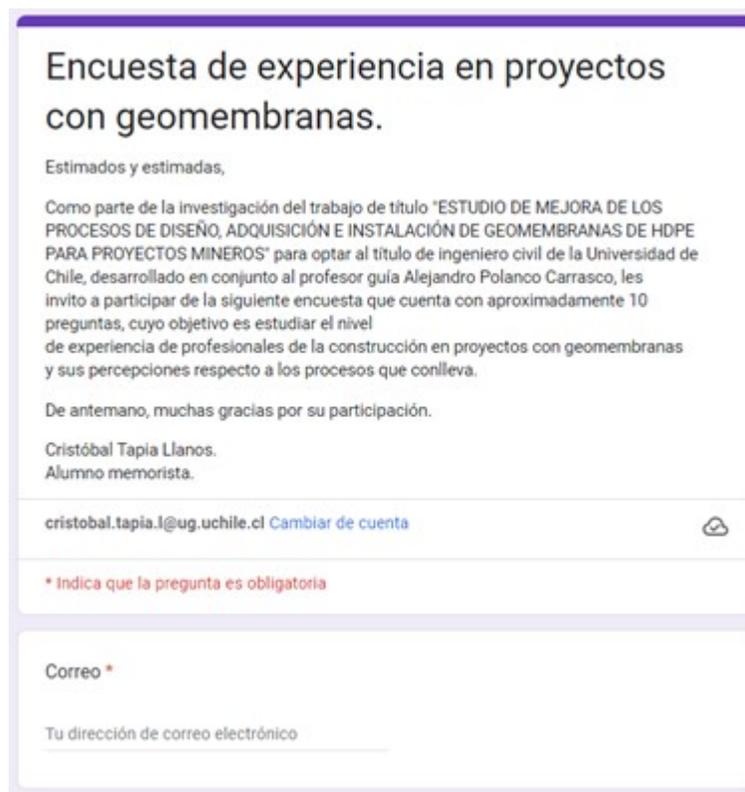
Finalmente, el presente trabajo de título evidencia que la implementación de las propuestas de mejora tendrá impactos significativos en los objetivos de proyectos mineros, pudiéndose eliminar o disminuir casos de retrabajos en la impermeabilización de superficies, junto a los costos y atrasos que esto conlleva.

Bibliografía

- [1] Project Management Institute. (2021). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) (7th ed.). Project Management Institute.
- [2] Polanco, A. (2022). Apuntes de clase CI5511 Curso Dirección de Proyectos. Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- [3] Koerner, R. M. (1998). Designing with geosynthetics (4.a ed.). Prentice Hall.
- [4] Experiencia. EMIN Ingeniería y Construcción. s.f.. Disponible en: [URL](#)
- [5] GSE. (1998). GSE Lining Technology Inc. GSE Standard products.
- [6] IAGI. (2005). International Association of Geosynthetic Installers. Guidelines for Installation of: HDPE and LLDPE Geomembrane Installation Specification.
- [7] Geosynthetic Institute. (2017). GRI-GM19a: Resistencia de la soldadura y propiedades relacionadas de Geomembranas/Barreras Homogéneas de Poliolefina Termo Unidas, 9na revisión. Disponible en [URL](#)
- [8] ASTM. (2018). ASTM D6392-12(2018): Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods. Disponible en [URL](#)
- [9] ASTM. (2018). ASTM D5820-95(2018): Standard Practice for Pressurized Air Channel Evaluation of Dual-Seamed Geomembranes. Disponible en [URL](#)
- [10] ASTM. (2006). ASTM D5641-94(2006): Standard Practice for Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber. Disponible en [URL](#)
- [11] ASTM. (2018). ASTM D6365-99(2018): Standard Practice for Nondestructive Testing of Geomembrane Seams Using the Spark Test. Disponible en [URL](#)

Anexo A

Formato encuesta



Encuesta de experiencia en proyectos con geomembranas.

Estimados y estimadas,

Como parte de la investigación del trabajo de título "ESTUDIO DE MEJORA DE LOS PROCESOS DE DISEÑO, ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS DE HDPE PARA PROYECTOS MINEROS" para optar al título de ingeniero civil de la Universidad de Chile, desarrollado en conjunto al profesor guía Alejandro Polanco Carrasco, les invito a participar de la siguiente encuesta que cuenta con aproximadamente 10 preguntas, cuyo objetivo es estudiar el nivel de experiencia de profesionales de la construcción en proyectos con geomembranas y sus percepciones respecto a los procesos que conlleva.

De antemano, muchas gracias por su participación.

Cristóbal Tapia Llanos.
Alumno memorista.

cristobal.tapia.l@ug.uchile.cl [Cambiar de cuenta](#)

* Indica que la pregunta es obligatoria

Correo *

Tu dirección de correo electrónico

Figura A.1: Introducción y contexto encuesta.
Elaborado mediante Google Forms.

Caracterización del encuestado

En esta sección se desea conocer la profesión, ocupación y experiencia del encuestado.

1. Indique su ocupación principal *

- Ingeniería
- Construcción
- Compras
- Contratos
- Inspección técnica
- Pruebas preoperacionales
- Operaciones
- Otro: _____

(a)

3. Años de experiencia laboral *

- 0 a 5 años de experiencia
- 5 a 10 años de experiencia
- 10 a 15 años de experiencia
- 15 o más años de experiencia

4. Seleccione el sector en el cuál considera que cuenta con más experiencia. *

- Minero
- Industrial
- Edificación
- Infraestructura
- Otro: _____

(b)

Figura A.2: Caracterización del encuestado.
Elaborado mediante Google Forms.

Experiencia en proyectos con geomembranas

En esta sección se desea conocer su nivel de experiencia y conocimiento en proyectos con geomembranas y su familiarización con cada uno de los procesos que conlleva la utilización de este material.

Las geomembranas, pertenecientes al grupo de los geosintéticos, son láminas elaboradas principalmente con polietileno de alta densidad (HDPE) y aditivos en baja proporción. Estas láminas se utilizan comúnmente a modo de revestimiento para contener fluidos debido a sus propiedades de impermeabilidad, resistencia química y flexibilidad.

En la industria minera las geomembranas son utilizadas usualmente como revestimiento de pilas de lixiviación, botaderos de ripios, piscinas, depósitos de residuos, canales, áreas de relaves y estructuras de hormigón, entre otros.

Revestimiento con geomembrana, piscinas proceso de lixiviación, Radomiro Tomic, Codelco.



(a)

5. En su opinión, ¿Qué nivel de conocimiento tiene respecto a las geomembranas * y sus usos?

- Nulo (No ha oído hablar del material)
- Bajo (Conoce algunos aspectos del material)
- Medio (Ha trabajado alguna vez con el material)
- Alto (trabaja habitualmente con el material)

6. En su opinión, ¿En cuál de los siguientes procesos, asociados a las geomembranas, usted se ve más involucrado en el ejercicio de su ocupación?

- Diseño
- Adquisiciones
- Gestión de bodega, transporte y acopio
- Despliegue y/o montaje
- Soldadura de láminas
- Ensayos y/o pruebas
- Inspección técnica
- Ninguno

(b)

Figura A.3: Experiencia en proyectos con geomembranas.
Elaborado mediante Google Forms.

Diseño

En esta sección se desea profundizar en los desafíos del proceso de diseño.

En base a su experiencia, ¿Cuáles son los principales desafíos en el diseño de geomembranas? *

Puede marcar más de una opción.

- Ajustar diseño a dimensiones de proyecto.
- Adaptarse a la topografía.
- Integración con otros materiales
- Selección de espesor de láminas
- Confección de planos de especificación
- Determinación de condiciones de suelo
- Diseño de juntas
- No tengo información

(a) Diseño

Adquisiciones

En esta sección se desea profundizar en los desafíos del proceso de adquisiciones.

En base a su experiencia, ¿Cuáles son los principales desafíos en el proceso de adquisiciones de geomembranas? *

Puede marcar más de una opción.

- Elección de proveedor
- Variabilidad en calidad de los materiales
- Disponibilidad o stock de los proveedores
- Tiempos de entrega de materiales
- Presupuesto del proyecto
- No tengo información

(b) Adquisiciones 1

En base a su opinión profesional, ¿Cuáles son los principales 3 criterios para la selección de proveedores de geomembranas? *

Puede marcar más de una opción.

- Oferta económica competitiva
- Calidad de los materiales ofrecidos
- Plazos de entrega
- Experiencia previa con el proveedor
- Recomendaciones
- Participación en el mercado del proveedor
- Asistencia o apoyo técnico
- Sostenibilidad y responsabilidad social en el proceso productivo
- No tengo información

En base a su experiencia, indique el proveedor de geomembranas con el cuál más a trabajado. *

Tu respuesta _____

(c) Adquisiciones 2

Figura A.4: Preguntas específicas a procesos 1.
Elaborado mediante Google Forms.

Gestión de bodega, transporte y acopio

En esta sección se desea profundizar en los desafíos del proceso de gestión de bodega, transporte y acopio.

En base a su opinión profesional, ¿Cuáles son los 3 principales desafíos en el proceso de gestión de bodega, transporte y acopio? *
Puede marcar más de una opción.

- Falta de integración de tecnología
- Planificación de demanda inadecuada
- Inventario inexacto o desfasado
- Etiquetado u organización de materiales
- Condiciones apropiadas de acopio
- Distribución de materiales ineficiente
- Rotación del inventario
- Seguridad en el izaje de rollos de geomembrana
- Recepción de materiales en obra
- No tengo información

(a) Gestión de bodega, transporte y acopio.

Despliegue y/o montaje

En esta sección se desea profundizar en los desafíos del proceso de despliegue y/o montaje de geomembranas.

En base a su opinión profesional, ¿Cuáles son los 3 principales desafíos en el proceso de despliegue y/o montaje de geomembranas? *
Puede marcar más de una opción.

- Disponibilidad de rollos de geomembrana en terreno
- Seguridad en la operación
- Condiciones del terreno
- Condiciones ambientales
- Capacitación del personal
- Coordinación con otras etapas constructivas
- Condición del material
- Estado o disponibilidad de herramientas a utilizar
- Condiciones y/o cuidados post instalación
- No tengo información

(b) Despliegue y/o montaje.

Soldadura de láminas

En esta sección se desea profundizar en los desafíos del proceso de soldadura de láminas de geomembrana.

En base a su opinión profesional, ¿Cuáles son los 3 principales desafíos en el proceso de soldadura de láminas de geomembranas? *
Puede marcar más de una opción.

- Estado o disponibilidad de herramientas a utilizar
- Alineación de láminas
- Pliegues o arrugas de láminas
- Capacitación del personal
- Calidad de geomembranas
- Dificultad del procedimiento
- Seguridad en el procedimiento
- Eficiencia del procedimiento
- Condiciones ambientales
- Condiciones y/o cuidado post soldadura
- No tengo información

(c) Soldadura de láminas

Ensayos y/o pruebas

En esta sección se desea profundizar en los desafíos del proceso de ensayos y/o pruebas en instalaciones de geomembranas.

En base a su opinión profesional, ¿Cuáles son los 3 principales desafíos en el proceso de ensayos y/o pruebas en instalaciones de geomembranas? *
Puede marcar más de una opción.

- Estado o disponibilidad de herramientas a utilizar
- Calidad de las soldaduras
- Capacitación del personal
- Dificultad del procedimiento
- Seguridad en el procedimiento
- Condiciones ambientales
- Condiciones y/o cuidado post soldadura
- Acciones ante detección de fugas
- Interferencia con otras etapas constructivas
- No tengo información

(d) Ensayos y/o pruebas

Figura A.5: Preguntas específicas a procesos 2.
Elaborado mediante Google Forms.

Inspección técnica

En esta sección se desea profundizar en los desafíos del proceso de inspección técnica en proyectos con geomembranas.

En base a su opinión profesional, ¿Cuáles son los 3 principales desafíos en el proceso de Inspección técnica en proyectos con geomembranas? *

Puede marcar más de una opción.

- Información documentada
- Capacitación del personal
- Detección de defectos ocultos
- Áreas de difícil acceso
- Condiciones y/o cuidado post instalación
- Interferencia con otras etapas constructivas
- Cantidad de recursos empleados en la inspección
- No tengo información

Figura A.6: Preguntas específicas a procesos 3, Inspección Técnica. Elaborado mediante Google Forms.

Percepción personal

En esta sección se desea conocer su opinión respecto a los distintas problemáticas en proyectos con geomembranas.

7. Según su opinión profesional y/o conocimiento, seleccione los 3 aspectos más relevantes para el cumplimiento de los plazos establecidos para proyectos con geomembranas. *

- Diseño
- Adquisiciones
- Gestión de bodega
- Transporte y acopio
- Despliegue y/o montaje
- Soldadura de láminas
- Inspección técnica
- Ensayos y/o pruebas
- No tengo información

8. Según su opinión profesional y/o conocimiento, seleccione los 3 aspectos más relevantes para el cumplimiento de los costos establecidos para proyectos con geomembranas. *

- Diseño
- Adquisiciones
- Gestión de bodega
- Transporte y acopio
- Despliegue y/o montaje
- Soldadura de láminas
- Inspección técnica
- Ensayos y/o pruebas
- No tengo información

9. Esta es una pregunta abierta en la que puede comentar libremente respecto su percepción del estado del arte de los procesos que conllevan los proyectos con geomembranas y cuáles son los aspectos a modificar y/o mejorar.

Tu respuesta

(a)

(b)

Figura A.7: Percepción personal. Elaborado mediante Google Forms.

Anexo B

Formato entrevistas

B.1. Formato entrevista a profesional asociado a Ingeniería y Construcción

1. En su experiencia con el material, ¿Cuáles son los usos más comunes de las geomembranas en Chile?
2. Por lo general, al diseñar, ¿Cuál es la vida útil de las geomembranas? ¿Se diseñan para toda la vida útil del proyecto o se consideran reparaciones en etapas intermedias?
3. ¿Considera que los proyectos con geomembranas presentan defectos frecuentemente? ¿Qué defectos ocurren comúnmente o tiene conocimiento en base a su experiencia?
4. En su opinión, estos defectos tienen su origen en problemáticas en el proceso constructivo o son propios de la etapa de operación del proyecto?
5. En base a su experiencia, ¿Se utilizan registros de defectos y herramientas estadísticas para el análisis de errores?
6. En base a su experiencia, ¿Existe un seguimiento y evaluación de los errores?
7. ¿Considera que una definición completa de los procesos es un factor relevante para la correcta ejecución de proyectos?
8. ¿Qué procesos requieren mejoras o rediseño en la ejecución de proyectos con geomembranas? ¿Por qué? ¿Qué tan factible es aplicar mejoras?

B.2. Formato entrevista a profesional asociado a empresa proveedora de suministros.

1. En su experiencia con el material, ¿Cuáles son los usos más comunes de las geomembranas en Chile?
2. ¿Cuál es el método de fabricación que utilizan? ¿laminado? ¿soplado?
3. ¿Cuál es la mayor dificultad dentro de sus procesos productivos? ¿Cómo logran un control de calidad efectivo?

4. ¿Brindan apoyo o asesoría técnica a sus clientes? ¿Qué clase de situaciones se solucionan en estas instancias?
5. ¿Qué certificados exigen los clientes? o ¿Cuáles son los certificados con los que trabajan?
6. En base a su experiencia, ¿Considera que los procesos constructivos en terreno son apropiados en función de sus recomendaciones técnicas como proveedores?
7. En base a su experiencia técnica como proveedores, ¿Qué mejoras se deben realizar en la ejecución de proyectos con geomembranas?

Anexo C

Propuesta Proceso de diseño

**“Empresa
Constructora”**

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“GENERACIÓN PLANOS DE DESPLIEGUE”**

Revisión: P

Fecha Elab.: XX-X-20XX

Página 1 de 12

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“GENERACIÓN PLANOS DE DESPLIEGUE”**

Rev.P

REV.	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA
P	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	XX.XX.20XX
	Firma	Firma	Firma	

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	DEFINICIONES.....	3
4	REFERENCIAS.....	4
5	RESPONSABILIDADES.....	4
6	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	5
6.1	ACCIONES PREVIAS.....	5
6.2	CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO.....	5
6.3	DETALLE TÍPICO.....	10
6.4	ENTREGABLE.....	11
6.5	CIERRE DE LA ACTIVIDAD, RECEPCIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	12
7	ANEXOS.....	12

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “GENERACIÓN PLANOS DE DESPLIEGUE”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 3 de 12

1 OBJETIVO

El objetivo principal del presente documento es establecer y definir las etapas del proceso de generación de planos de despliegue de geomembranas para asegurar la integridad, servicialidad, durabilidad, trazabilidad y calidad de los revestimientos instalados.

Se busca establecer, de manera genérica, las principales etapas que conlleva la generación de planos de despliegue, pasando por los diseños típicos, recomendaciones, prohibiciones, responsabilidades y formatos, reconociendo la particularidad de cada proyecto. El objetivo es alinear el diseño de planos de despliegue con los estándares de estándares de calidad.

2 ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todo proyecto y/o contratos que ejecuta **“Empresa Constructora”** y consorcios que tengan dentro de su alcance el revestimiento de superficies con geomembranas.

3 DEFINICIONES

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
Geosintéticos	Los geosintéticos son materiales, generalmente producidos a partir de polímeros, ampliamente utilizados en proyectos de infraestructura donde se emplean para conseguir distintas propiedades y/o condiciones, entre las cuales se encuentran principalmente el refuerzo de suelos, drenajes e impermeabilización.
Geomembranas	Las geomembranas son láminas delgadas de material plástico o caucho, sus principales características son su muy baja permeabilidad, flexibilidad y resistencia a ataques químicos, por lo que son utilizadas comúnmente a modo de revestimiento y/o barrera para el almacenamiento o contención de líquidos.
HDPE	Por sus siglas en inglés, High-Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,95$ [g/cm ³].
LLDPE	Por sus siglas en inglés, Linear Low-Density Polyethylene (Polietileno Lineal de Baja Densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,92$ [g/cm ³].
Procedimiento	Forma especificada de llevar a cabo una actividad o un proceso. Según ISO 9000:2015
Requisitos	Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria (Según ISO 9000:2015). Los requisitos son establecidos para evaluar y garantizar conformidad y satisfacción del cliente.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “GENERACIÓN PLANOS DE DESPLIEGUE”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 4 de 12

Calidad	Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Según ISO 9000:2015.
Aseguramiento de la calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Control de calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Trazabilidad	Capacidad para seguir el histórico, la aplicación o la localización de un objeto. Según ISO 9000:2015.
Registro	Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades realizadas. Los registros pueden utilizarse, por ejemplo, para formalizar la trazabilidad y para proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas. Según ISO 9000:2015.
Indicador	Parámetro que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso.

4 REFERENCIAS

- Koerner, R. M. (1998). Diseño con Geosintéticos. Prentice Hall.
- GSE Lining Technology: Standard Products.
- International Association of Geosynthetic Installers: Guidelines for Installation of: HDPE and LLDPE Geomembrane Installation Specification.
- GeoCHEM Field Installation Quality Assurance Manual.
- International Organization for Standardization (ISO)
 - ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario.
 - ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos
- American Society for Testing and Materials (ASTM)
 - D 638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
 - D 4439: Standard Terminology for Geosynthetics.

5 RESPONSABILIDADES

UNIDAD/CARGO	RESPONSABILIDAD
Gerencia técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Generar plano de despliegue siguiendo los lineamientos generales del presente documento y ajustándose de manera específica a las características únicas de cada proyecto.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “GENERACIÓN PLANOS DE DESPLIEGUE”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 5 de 12

Administrador de contrato	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer entrega de los planos y documentos del proyecto para la generación de planos de despliegue. • Revisar y aprobar planos de despliegue. • Asegurar la distribución y conocimiento de planos de despliegue generados.
Oficina técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y aprobar planos de despliegue. • Asegurar la distribución y conocimiento de planos de despliegue generados.
Jefe de Terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y aprobar planos de despliegue. • Asegurar la distribución y conocimiento de planos de despliegue generados.
Supervisor de geosintéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y aprobar planos de despliegue. • Asegurar la distribución y conocimiento de planos de despliegue generados.
Control de documentos	<ul style="list-style-type: none"> • Resguardar y organizar la información documentada del proyecto. • Resguardar y organizar los planos generados. • Mantener actualizada la plataforma de documentación. • Informar de forma oportuna el extravío, falta u obsolescencia de información documentada del proyecto u registros del procedimiento.

6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

6.1 ACCIONES PREVIAS

- A. La gerencia técnica será responsable de la generación de los planos de despliegue del proyecto.
- B. El administrador de contrato deberá hacer entrega de los planos del proyecto a la gerencia técnica para el desarrollo de los planos de despliegue.

6.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO

- A. La Topografía típica de la zona a revestir corresponde a estanques para la contención de líquidos.
 1. Por lo general se trata de estanque cuadriláteros de grandes dimensiones.
 2. En bordes de los estanques los taludes cuentan con relación de aspecto típicas de 3:1 o 2:1.
 3. La siguiente figura muestra un estanque típico a revestir.

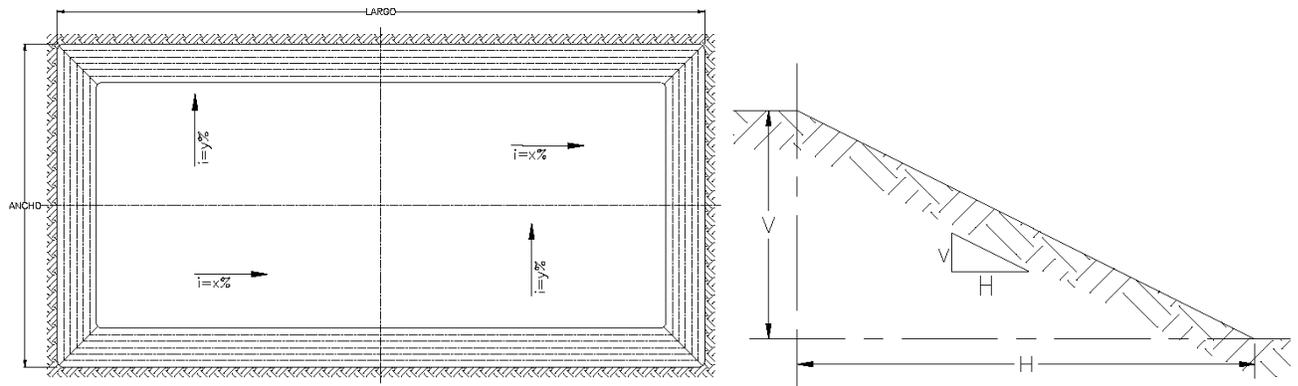


Figura 6.1: Planta y corte de estanque típico.

- B. Cada panel será identificado mediante números naturales (1,2,3,4, etc.) en caso de ser una lámina de geosintético. En caso de ser 2 o más, los paneles se deben identificar utilizando un prefijo que denote el número de capa.
1. Capa primaria: P1, P2, P3, P4, etc.
 2. Capa secundaria: S1, S2, S3, S4, etc.
 3. Capa terciaria: T1, T2, T3, T4, etc.
- C. Para mantener la integridad y funcionalidad del estanque, las soldaduras serán orientadas en paralelo a la línea de máxima pendiente de la superficie revestida, evitando que las soldaduras trabajen a corte.
1. Las siguientes figuras muestran la consideración en el fondo del talud.

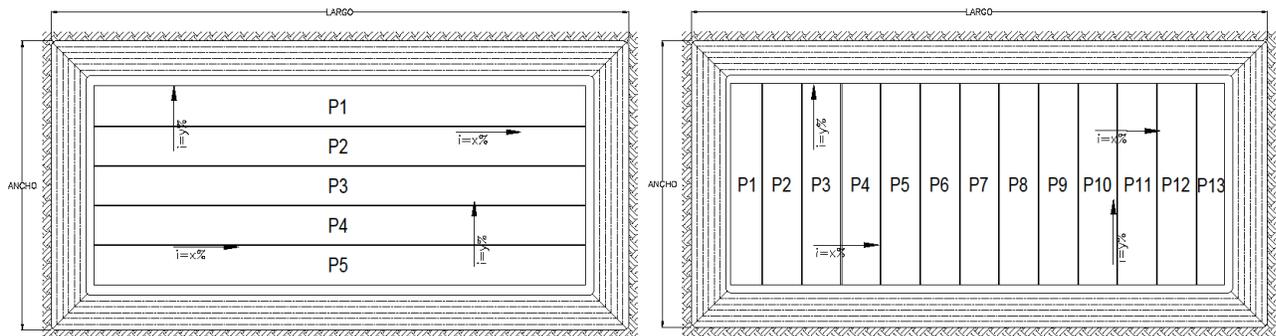


Figura 6.2: Esquema paneles en fondo de estanque.
Imagen izq. Pendiente en x mayor a pendiente en y.
Imagen der. Pendiente en y mayor a pendiente en x.

2. La siguiente figura muestra la consideración en los taludes del estanque.

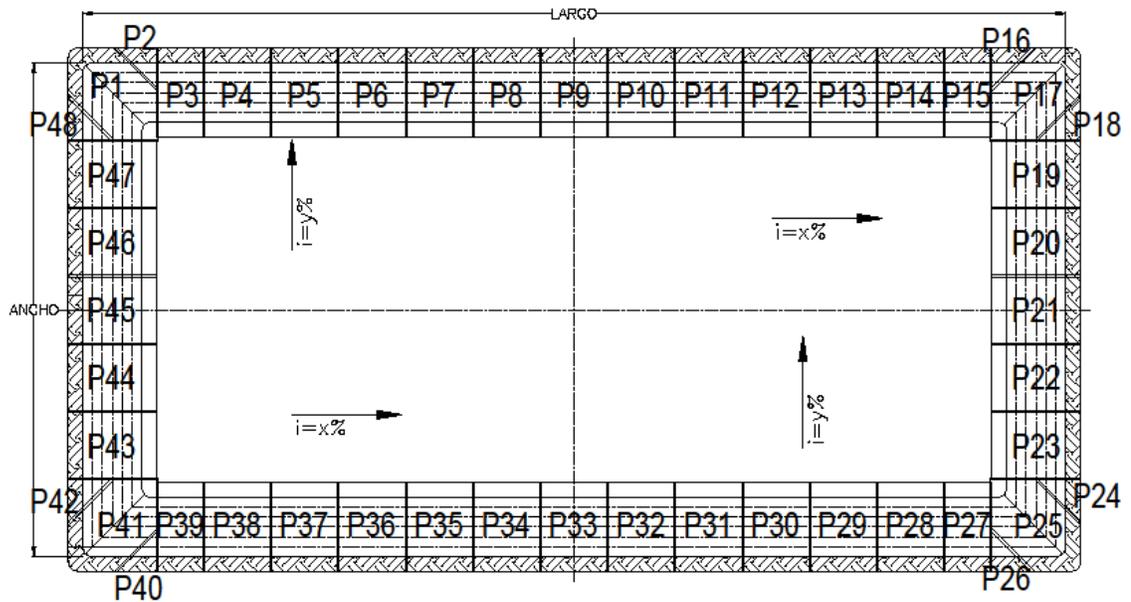


Figura 6.3: Esquema paneles en taludes.

D. Para fondos de estanque de grandes dimensiones en los que se necesita más de un panel a lo largo, las juntas serán traslapadas por un largo de al menos 2 metros de manera intercalada como se muestra en la siguiente figura.

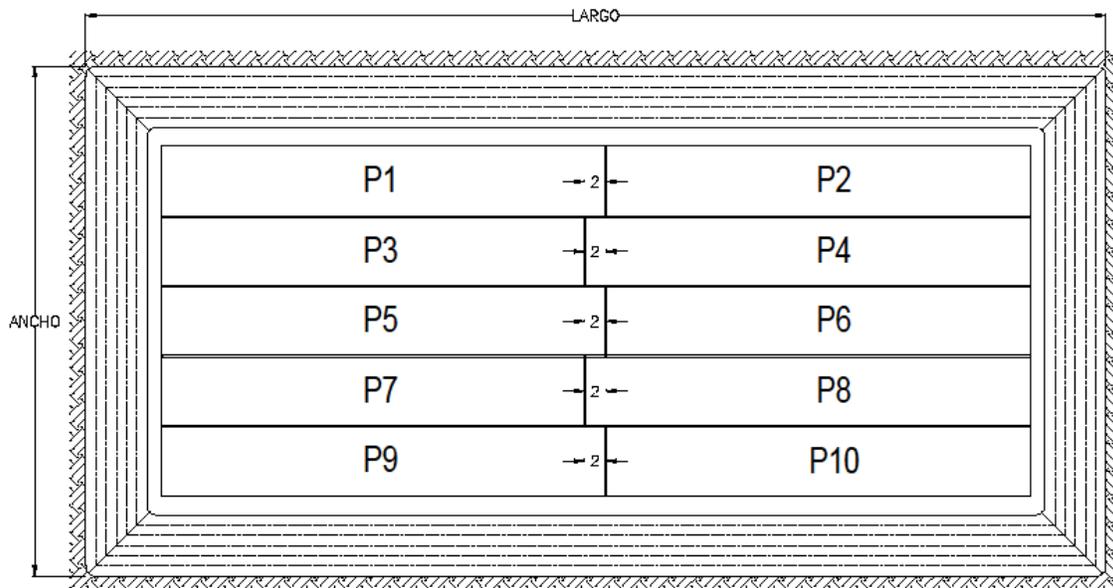


Figura 6.4: Esquema paneles en fondo de estanque de grandes dimensiones.

- E. Las esquinas y zonas con geometrías inusuales serán diseñadas en busca de reducir al mínimo el largo de la soldadura a realizar. En la siguiente figura se muestra la disposición de paneles en una esquina de estanque típica

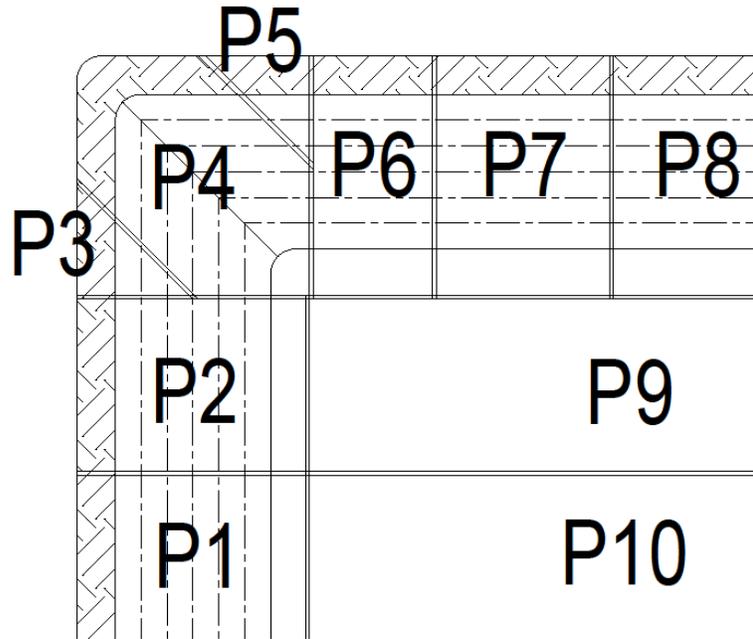


Figura 6.5: Detalle esquina estanque.

- F. Para evitar los deslizamientos de lámina sobre la pendiente de los taludes, los paneles serán anclados en su corona. La zanja tendrá sección cuadrada de al menos 60[cm] de lado (24[in]) y se ubicará a al menos 90[cm] del hombro de talud, como lo muestra la siguiente figura.

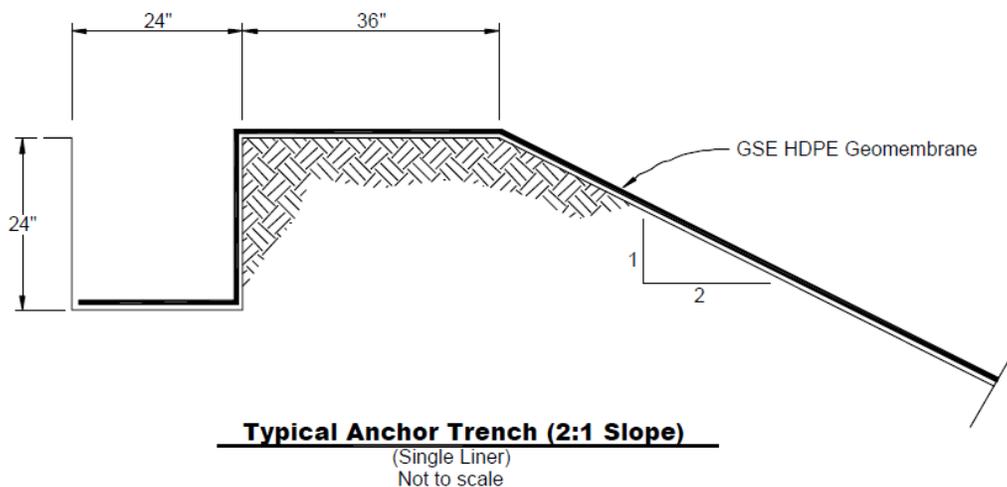
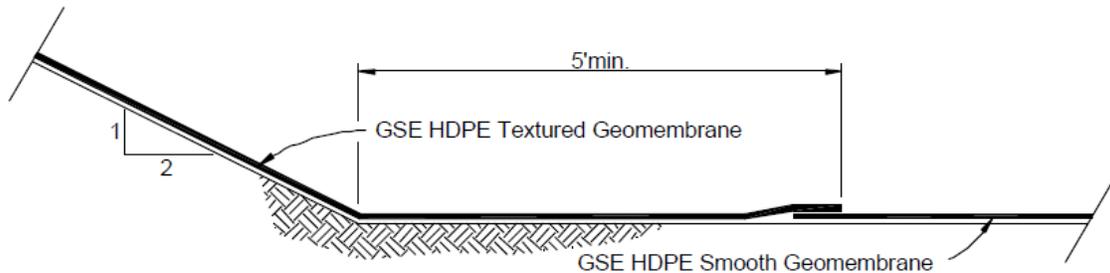


Figura 6.6: Corte típico de zanjas de anclaje,
Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products.

G. Las láminas sobre taludes se extenderán hacia el fondo del estanque al menos 1,5[m] desde el pie del talud, evitando que la soldadura trabaje a corte. Esquema en la siguiente figura.



Toe Of Slope Transition (2:1 Slope)

(Single Liner)
Not to scale

Figura 6.7: Corte típico al pie del talud.

Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products.

H. Para asegurar una correcta ejecución y adhesión en el proceso de soldadura los paneles deben ser traslapados en una distancia no menor a 10[cm] (4[in]) para soldaduras por extrusión con material de aporte, mientras que para soldaduras por cuña caliente se debe considerar 10[cm] (4[in]) como mínimo y 15[cm] (6[in]) como máximo.

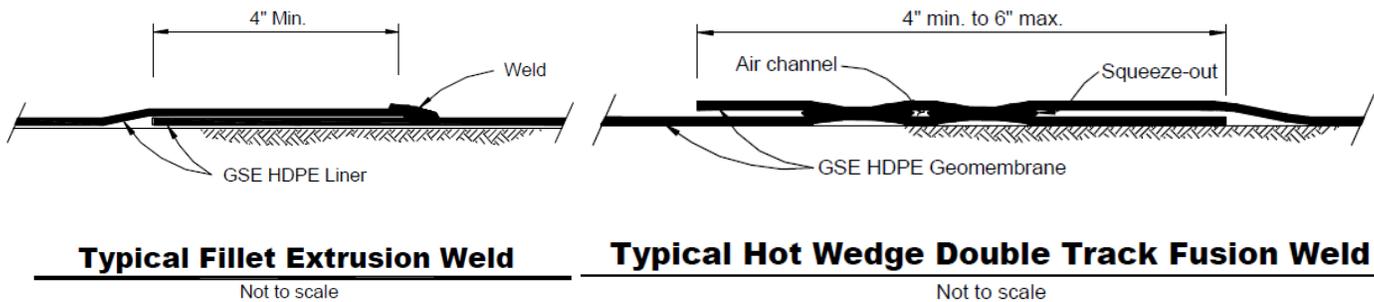


Figura 6.7: Corte típico soldaduras.
Imagen izq. soldaduras por extrusión con material de aporte.
Imagen der. soldadura por cuña caliente.
Fuente: GSE Lining Technology: Standard Products.

I. Los cordones de soldadura no deben ubicarse en puntos bajos de la subrasante dado que pueden verse expuestos a sollicitaciones no deseables y comprometer la integridad del revestimiento.

J. En las juntas triples de lámina se ubicarán parches, los cuales deben extenderse a lo menos 10 [cm] del borde de la junta triple o defecto a soldar, además debe contar con esquinas redondeadas con radio de giro no menor a 8[cm].

6.3 DETALLE TÍPICO

A. Vista en planta.

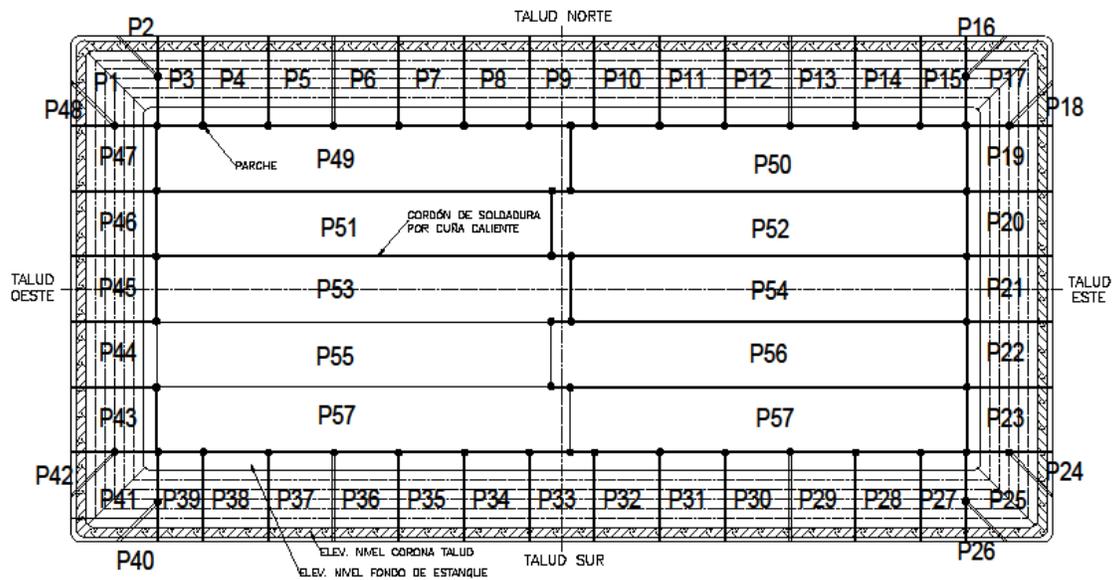


Figura 6.8: Vista en planta plano de despliegue.

B. Zanja de anclaje.

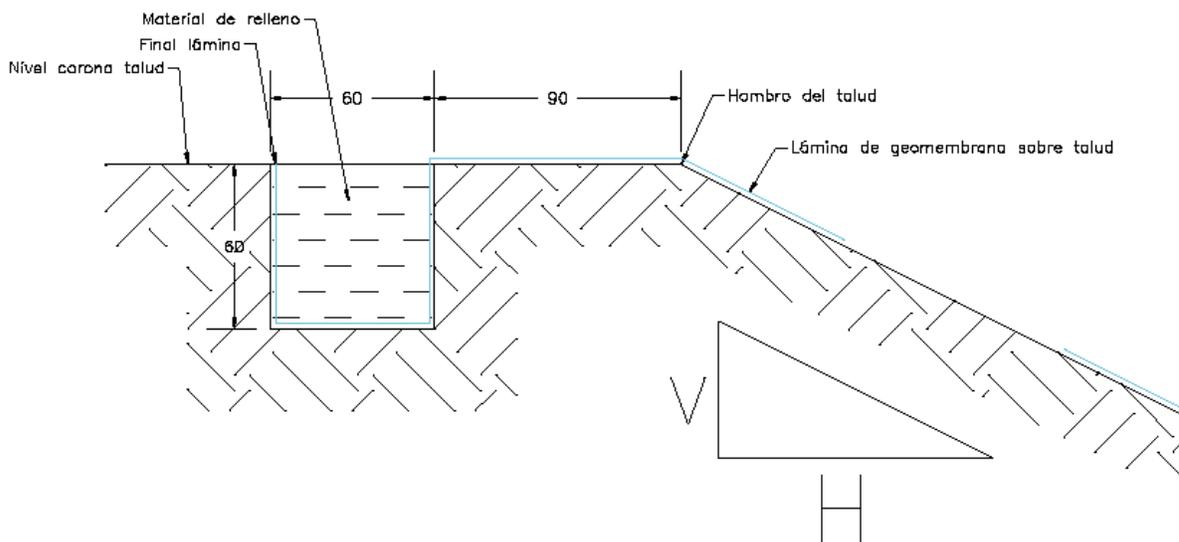


Figura 6.9: Detalle zanja de anclaje.

C. Pie del talud.

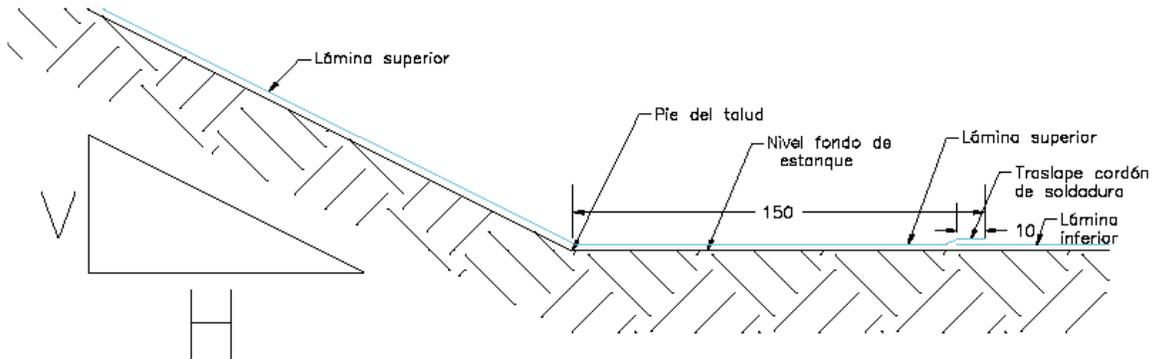


Figura 6.10: Detalle pie de talud.

D. Detalle parches, dimensiones mínimas.

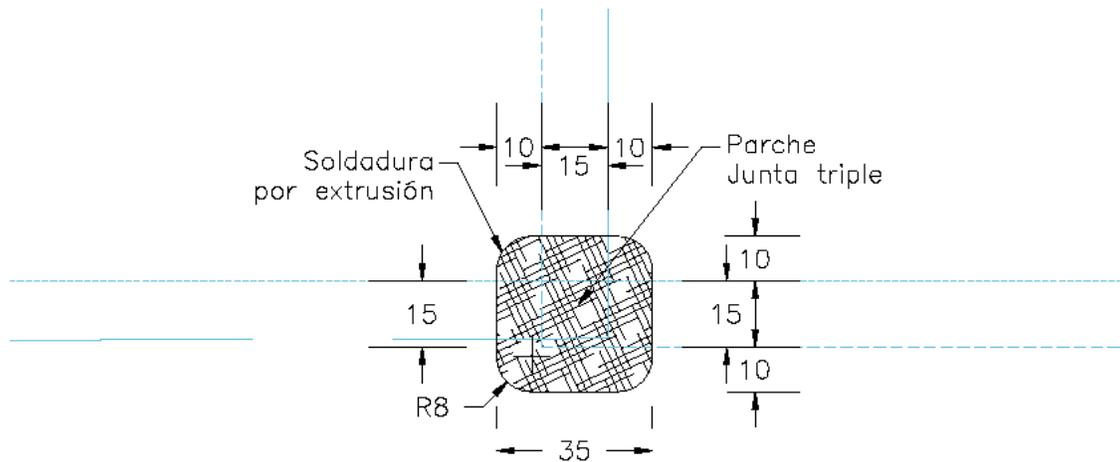


Figura 6.11: Detalle parche.

6.4 ENTREGABLE

A. Los planos serán entregados en formato A4 y utilizando la plantilla correspondiente propia de **“Empresa Constructora”**.

1. En el plano se hará registro de los siguientes datos.
 - a. Cliente.
 - b. Proyecto.
 - c. Nro. de plano.
 - d. Contenido plano.
 - e. Revisiones.
 - f. Documentos y/o planos de referencia.
 - g. Autor plano.
 - h. Revisor plano.
 - i. Aprobador plano.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “GENERACIÓN PLANOS DE DESPLIEGUE”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 12 de 12

B. El o los planos de despliegue generados deben contar con lo siguiente:

1. Vista en planta de la zona a revestir.
2. Detalles de taludes o zonas irregulares.
3. Detalles de zanjas de anclaje.
4. Detalle de pie de talud.
5. Detalle de parches.
6. Conteo total de paneles y parches.
7. Área total a revestir.

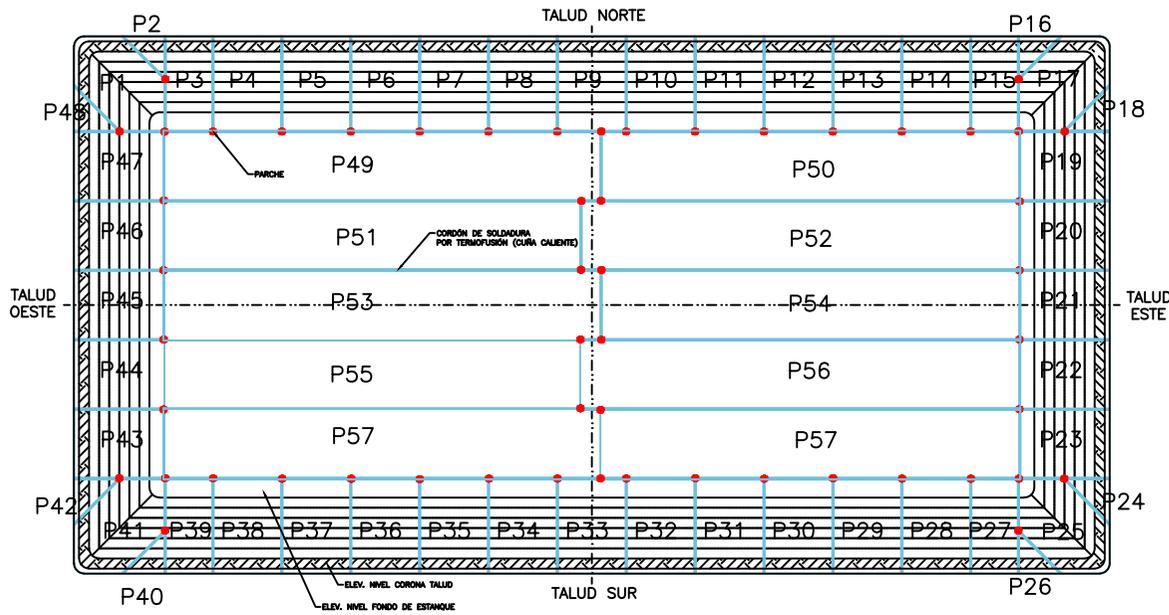
C. Plano de despliegue típico en **Anexo A**.

6.5 CIERRE DE LA ACTIVIDAD, RECEPCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

- A. Una vez generado el plano de despliegue por la gerencia técnica, este será revisado y aprobado por los partícipes de la reunión pre-instalación de geomembranas.
- B. Los comentarios serán recibidos por la gerencia técnica para el respectivo, mejoramiento o modificación de los planos de despliegue.
- C. Una vez aprobada la versión definitiva, el administrador de contrato, Oficina técnica, Jefe de Terreno y supervisor de geosintéticos serán responsables por la distribución y conocimiento del plano de despliegue a todo trabajador relacionado con las labores de adquisición, instalación y/o pruebas en geomembranas.

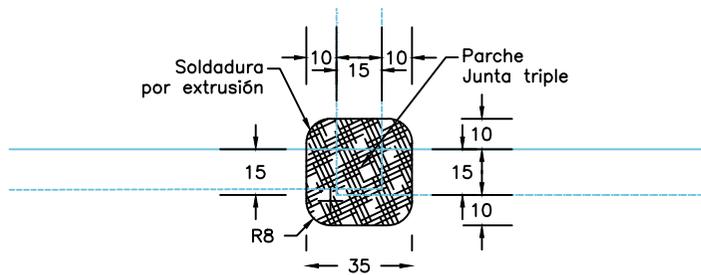
7 ANEXOS

- ANEXO A: PLANO DE DESPLIEGUE TÍPICO.

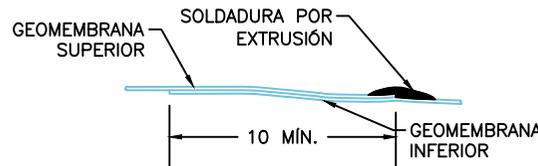


VISTA EN PLANTA.
ESCALA 1:750

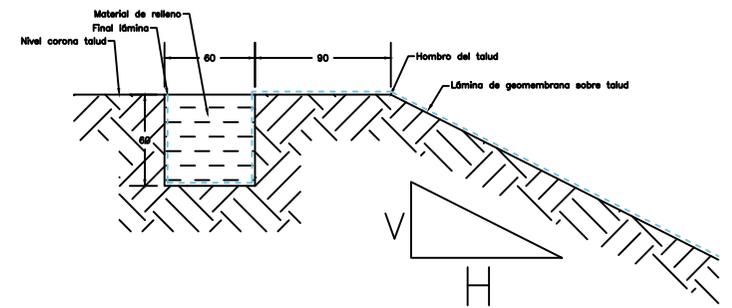
- Geomembrana lisa 2mm.
- Área revestida: xx,xxx [m²]
- Nro. paneles: 57.
- Nro. parches: xx.



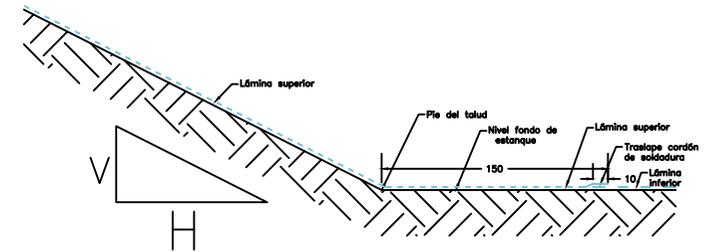
DET 3: PARCHES TIPO.
ESCALA 1:25



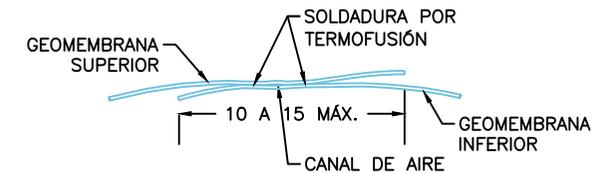
DET 4: UNIÓN GEOMEMBRANAS
SOLDADURA POR EXTRUSIÓN.
ESCALA S/E



DET 1: ZANJA DE ANCLAJE.
ESCALA 1:50



DET 2: PIE DE TALUD.
ESCALA 1:50



DET 5: UNIÓN GEOMEMBRANAS
SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN.
ESCALA S/E

A							
NRO.	FECHA	REVISIÓN	ELAB.	REV.	APR.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA.	NOTAS

"Empresa constructora"		Cliente	
PROYECTO:			
NRO. CONTRATO:		FECHA:	
NRO. PLANO:		RESP.	INICIALES
CONTENIDO. PLANO:		ELAB.	FIRMA.
		REV.	
		APROB.	

Anexo D

Propuesta Proceso de adquisición

**“Empresa
Constructora”**

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”**

Revisión: P

Fecha Elab.: XX-X-20XX

Página 1 de 9

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”**

Rev.P

REV.	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA
P	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	XX.XX.20XX
	Firma	Firma	Firma	

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 2 de 9

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	DEFINICIONES.....	3
4	REFERENCIAS.....	4
5	RESPONSABILIDADES.....	5
6	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	6
6.1	PLANIFICACIÓN INICIAL.....	6
6.2	PROVEEDORES, ENTREGABLES Y COTIZACIÓN.....	6
6.3	EVALUACIÓN OFERTAS Y SELECCIÓN.....	7
6.4	FORMALIZACIÓN DEL ACUERDO COMERCIAL.....	8
6.5	RECEPCIÓN Y ACEPTACIÓN DE GEOMEMBRANAS.....	8
6.6	MEDICIÓN Y PAGO.....	8
6.7	SEGUIMIENTO Y CONTROL.....	8
6.8	EVALUACIÓN DE PROVEEDORES.....	9
6.9	CIERRE COMERCIAL.....	9
7	TRAZABILIDAD Y REGISTROS.....	9
8	ANEXOS.....	9

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 3 de 9

1 OBJETIVO

El objetivo principal del presente documento es establecer y definir las etapas del proceso adquisición de geomembranas para asegurar la integridad, servicialidad, durabilidad, trazabilidad y calidad de los revestimientos instalados.

Se busca definir de forma clara y precisa las etapas que conlleva la adquisición de geomembranas, desde la planificación inicial de la compra de geosintéticos hasta la evaluación final de los proveedores, precisando en cada una de las etapas responsabilidades, actividades, requisitos, restricciones, registros e información documentada para asegurar la integridad del revestimiento, además de cumplir los estándares de calidad.

2 ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todo proyecto y/o contratos que ejecuta **“Empresa Constructora”** y consorcios que tengan dentro de su alcance el revestimiento de superficies con geomembranas.

3 DEFINICIONES

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
Geosintéticos	Los geosintéticos son materiales, generalmente producidos a partir de polímeros, ampliamente utilizados en proyectos de infraestructura donde se emplean para conseguir distintas propiedades y/o condiciones, entre las cuales se encuentran principalmente el refuerzo de suelos, drenajes e impermeabilización.
Geomembranas	Las geomembranas son láminas delgadas de material plástico o caucho, sus principales características son su muy baja permeabilidad, flexibilidad y resistencia a ataques químicos, por lo que son utilizadas comúnmente a modo de revestimiento y/o barrera para el almacenamiento o contención de líquidos.
HDPE	Por sus siglas en inglés, High-Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,95$ [g/cm ³].
LLDPE	Por sus siglas en inglés, Linear Low-Density Polyethylene (Polietileno Lineal de Baja Densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,92$ [g/cm ³].
Procedimiento	Forma especificada de llevar a cabo una actividad o un proceso. Según ISO 9000:2015
Requisitos	Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria (Según ISO 9000:2015). Los requisitos son establecidos para evaluar y garantizar conformidad y satisfacción del cliente.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 4 de 9

Calidad	Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Según ISO 9000:2015.
Aseguramiento de la calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Control de calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Ensayo y/o prueba	Actividad para encontrar una o más características y sus valores característicos de acuerdo con los requisitos para un uso o aplicación previsto específico. Según ISO 9000:2015.
Ensayo no destructivo (END)	Ensayo y/o prueba en la que no se alteran las propiedades o servicialidad del material ya instalado.
Ensayo destructivo (ED)	Ensayo y/o prueba en la que se “sacrifica” parte del material ya instalado.
Trazabilidad	Capacidad para seguir el histórico, la aplicación o la localización de un objeto. Según ISO 9000:2015.
Registro	Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades realizadas. Los registros pueden utilizarse, por ejemplo, para formalizar la trazabilidad y para proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas. Según ISO 9000:2015.
Indicador	Parámetro que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso.

4 REFERENCIAS

- Bustos Riquelme, G. (2019). Propuesta de mejora en el proceso de adquisición de equipos principales para grandes proyectos desarrollados por CODELCO. Disponible en [URL](#).
- EMIN Procedimiento de abastecimiento.
- GSE Installation Quality Assurance Manual: Geomembrane Products.
- International Association of Geosynthetic Installers: Guidelines for Installation of: HDPE and LLDPE Geomembrane Installation Specification.
- GeoCHEM Field Installation Quality Assurance Manual.
- International Organization for Standardization (ISO)
 - ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 5 de 9

- ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos
- American Society for Testing and Materials (ASTM)
 - D 638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
 - D 4439: Standard Terminology for Geosynthetics.
 - D 4873: Identification, Storage, and Handling of Geosynthetic Rolls.
- Geosynthetic Research Institute (GRI)
 - GM 13: Test Properties, Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes.
 - GM 14: Test Frequencies for Destructive Seam Testing Selecting, variable intervals for taking geomembrane destructive samples using the method of attributes.
 - GM 17: Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Smooth and Textured Geomembranes.

5 RESPONSABILIDADES

UNIDAD/CARGO	RESPONSABILIDAD
Administrador de contrato	<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar la contratación de personal competente y calificado. • Asegurar la adquisición de todo recurso necesario para la ejecución del presente procedimiento. • Difundir los procedimientos de trabajo. • Selección y validación de adjudicación. • Evaluar proveedores.
Oficina técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Definir los materiales, requisitos y cantidades a adquirir. • Confeccionar programa de suministros en función del programa de construcción y ruta crítica. • Validar ofertas técnicas de proveedores. • Generar cuadro comparativo de ofertas para selección. • Selección de adjudicación. • Recepción de material. • Revisión y pago de factura asociada. • Evaluar proveedores.
Adquisiciones	<ul style="list-style-type: none"> • Confeccionar programa de adquisiciones. • Identificar potenciales proveedores calificados. • Definir de forma clara y precisa el alcance del producto y/o servicio requerido. • Cotizar con al menos 3 proveedores. • Selección de adjudicación. • Formalizar adjudicación mediante orden de compra. • Asegurar recepción conforme del proveedor de la orden de compra. • Seguimiento y control de actividades mediante indicadores.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 6 de 9

	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de acciones correctivas y comunicación con proveedor ante deficiencias. • Evaluar proveedores. • Gestionar cierre de órdenes de compra, facturas y pagos para el cierre comercial.
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de adjudicación. • Evaluar proveedores.
Supervisor geosintéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Recepcionar y dejar registro de los rollos de geosintéticos recibidos en obra. • Supervisar e inspeccionar el izaje de rollos de geosintéticos y su almacenamiento.
Control de documentos	<ul style="list-style-type: none"> • Resguardar y organizar la información documentada del proyecto. • Resguardar y organizar los registros del procedimiento. • Mantener actualizada la plataforma de documentación. • Informar de forma oportuna el extravío, falta u obsolescencia de información documentada del proyecto u registros del procedimiento.

6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

La secuencia de actividades dentro del proceso de adquisición de geomembranas se ilustra en el diagrama de flujo presente en el Anexo A. Las actividades se detallan a continuación.

6.1 PLANIFICACIÓN INICIAL

- A. El Jefe de oficina técnica deberán definir claramente los materiales, características, requisitos técnicos y cantidades para iniciar el proceso de adquisición. Esto en función de las especificaciones técnicas del proyecto.
- B. La oficina técnica será responsable de confeccionar un programa de suministros en base al programa de construcción y ruta crítica.
- C. La unidad de adquisiciones identificará la documentación necesaria para el proceso de adquisición.
- D. La unidad de adquisiciones será responsable por confeccionar un programa de adquisiciones en función del programa de suministros, tiempo de fabricación y despacho, entre otros. Se debe incluir fechas clave dentro del proceso como lo son hitos de solicitud de cotizaciones, recepción de ofertas, evaluación y selección, y cierre del acuerdo comercial.
- E. La unidad de adquisiciones será responsable por la identificación temprana de potenciales proveedores en función de su reputación, participación en el mercado, experiencia y/o capacidad. En caso de tratarse de proveedores que ya han colaborado con **“Empresa Constructora”** se debe analizar su respectiva participación en proyectos previos.

6.2 PROVEEDORES, ENTREGABLES Y COTIZACIÓN

- A. La unidad de adquisiciones será responsable por definir de forma clara y concisa el alcance de la cotización y sus requerimientos técnicos y de calidad.
- B. La cotización del material se realizará con al menos 3 proveedores que cuenten con el estatus de **“proveedor calificado”**.
- C. La oferta de los proveedores debe contemplar al menos la siguiente documentación.
 - 1. Oferta económica.
 - 2. Dossier de Calidad: Conjunto de documentos que certifican y respaldan que un producto ha sido fabricado de acuerdo con las especificaciones técnicas correspondientes. Los documentos serán solicitados tanto para el material, como para el fabricante.
 - 3. Plan de inspección y ensayo: Plan de inspección y ensayo propio del proveedor mediante el cual controla la calidad en la fabricación de sus productos.
 - 4. Garantía y postventa: Documento que establece términos, condiciones y responsabilidades en caso de defectos, incumplimientos o productos no conforme.
 - 5. Cronograma: Documento que especifique los plazos de cada una de las etapas del proceso, permitiendo además realizar seguimiento. El documento debe incluir, como mínimo, los siguientes aspectos.
 - a. Ítem o material.
 - b. Periodo de fabricación.
 - c. Fecha de pruebas y/o ensayos.
 - d. Fecha de liberación.
 - e. Periodos de transporte.
 - f. Fecha de entrega.
 - 6. Cronograma de envío: Documento específico para los plazos, fechas y lugares de envío de suministros.
 - 7. Informe de avance: Documento que entrega el proveedor respecto de su avance en la solicitud que se entregará de forma periódica en un plazo a definir.

6.3 EVALUACIÓN OFERTAS Y SELECCIÓN

- A. El Jefe de oficina técnica será responsable de validar la oferta técnica y económica de los proveedores, asegurándose que cumplan todos los requisitos de la cotización.
- B. En ningún caso la selección de la oferta se hará en base solo a la oferta económica.
- C. Para la evaluación de las ofertas, la unidad de adquisiciones será responsable de la confección de un cuadro comparativo entre las ofertas. El cuadro comparativo incluirá al menos los siguientes aspectos.
 - 1. Cantidad material y oferta económica.
 - 2. Cumplimiento aspectos de calidad y entrega de certificados.
 - 3. Plazo de entrega.
 - 4. Costo y plazo de transporte.
 - 5. Forma de pago, retenciones, anticipo, etc.
 - 6. Garantía y postventa.
 - 7. Vigencia cotización.
 - 8. Diferencia con valor de estudio.
- D. El cuadro comparativo será revisado por Administrador de contrato, Jefe de oficina técnica, Adquisiciones y calidad para la decisión de adjudicación.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 8 de 9

E. La adjudicación de ser validada y firmada por el Administrador de contrato.

6.4 FORMALIZACIÓN DEL ACUERDO COMERCIAL

- A. Una vez tomada la decisión de adjudicación se formalizará el acuerdo comercial mediante orden de compra al proveedor, emitida por la unidad de adquisiciones.
- B. La unidad de adquisiciones debe solicitar la recepción conforme de la orden de compra por parte del proveedor y hacer registro de aquello.

6.5 RECEPCIÓN Y ACEPTACIÓN DE GEOMEMBRANAS

- A. Cada rollo recepcionado en obra debe presentarse etiquetado firmemente por el proveedor con al menos la siguiente información: Nombre proveedor, producto, espesor, número de serie proveedor, dimensiones y peso.
- B. El Supervisor de geosintéticos es el encargado de la recepción de los rollos en obra dejando constancia de esto en el registro **Recepción de geomembranas (Anexo B)**.
- C. El material recepcionado debe contar con su respectivo certificado de calidad emitido por el fabricante, y debe ser correlacionado con los números de serie de cada rollo.
- D. Al realizar la descarga de los rollos, estos deben ser inspeccionados visualmente, dejando registro de cualquier condición anormal de los rollos.
- E. Toda falta de material o material evidentemente dañado en la entrega debe ser notado en el registro **Recepción de geomembranas (Anexo B)**. Respecto a materiales dañados estos deben ser marcados claramente con lápiz indeleble para su posterior apartado del resto de materiales recepcionados.
- F. Los materiales dañados serán inspeccionados en conjunto por el Jefe de terreno, el supervisor de geosintéticos y por el área de calidad para determinar la aceptación o rechazo de dicho material,
- G. Los productos rechazados en la inspección secundaria serán identificados por productos no conforme (PNC), se deberán informar al proveedor.

6.6 MEDICIÓN Y PAGO

- A. Una vez recepcionado el material por el Supervisor de geosintéticos el material será revisado y contabilizado por el Jefe de oficina técnica para su posterior recepción ante el proveedor.
- B. Con la recepción por parte de oficina técnica el proveedor emitirá la respectiva factura asociada al material recepcionado.
- C. Oficina Técnica verificará la factura y autorizará el pago de esta.

6.7 SEGUIMIENTO Y CONTROL

- A. La unidad de adquisiciones será la encargada del seguimiento y control dentro del presente documento.
- B. Para la seguimiento y control en la adquisición de geomembranas se establecerán distintos indicadores para la medición de cumplimiento, plazos u otros. A lo menos se utilizarán los siguientes indicadores.
 1. Entrega de informe de avance: Porcentaje de informes de avance entregados según periodicidad establecida.
 2. Cumplimiento fabricación: Avance de fabricación respecto a cronograma.
 3. Cumplimiento entrega: Cumplimiento fecha de entrega de productos respecto a cronograma de envío.
 4. Entrega certificado de calidad: Porcentaje de certificados de calidad entregados asociados a cada rollo recepcionado.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 9 de 9

5. No conformidad productos: Productos no conformes respecto del total.
 6. Comunicación con el proveedor: Tiempo de respuesta promedio ante consultas y solicitudes.
- C. En caso de detectarse deficiencias en el proceso la unidad de Adquisiciones será responsable de tomar acciones correctivas y preventivas para evitar impacto negativo en los objetivos del proyecto.

6.8 EVALUACIÓN DE PROVEEDORES

- A. Todo proveedor de geomembranas será evaluado para contribuir a la mejora continua y el fortalecimiento de relaciones comerciales.
- B. Participará de la evaluación Administrador de contrato, Adquisiciones, Oficina técnica, Supervisor de geosintéticos y Jefe de calidad.
- C. La evaluación mediará a lo menos los siguientes aspectos de la empresa proveedora.
 1. Desempeño: Cumplimiento de requisitos acordados.
 2. Cumplimiento de plazos.
 3. Calidad de productos.
 4. Comunicación y postventa.
 5. Eficiencia y costos.
 6. Cumplimiento de términos y condiciones contractuales.
 7. Gestión de riesgos.
- D. La evaluación será documentada, resguardada y conservada por la unidad de control de documentos como antecedente para posteriores relaciones comerciales.
- E. La unidad de Adquisiciones será responsable de comunicar a la empresa proveedora los resultados de su evaluación y solicitar un plan de acción para la corrección de deficiencias en caso de ser necesario.
- F. La unidad de adquisiciones será responsable por acreditar y validar el plan de acción de la empresa proveedora, o en caso contrario, calificar a la empresa proveedora como **“proveedor no calificado”**.

6.9 CIERRE COMERCIAL

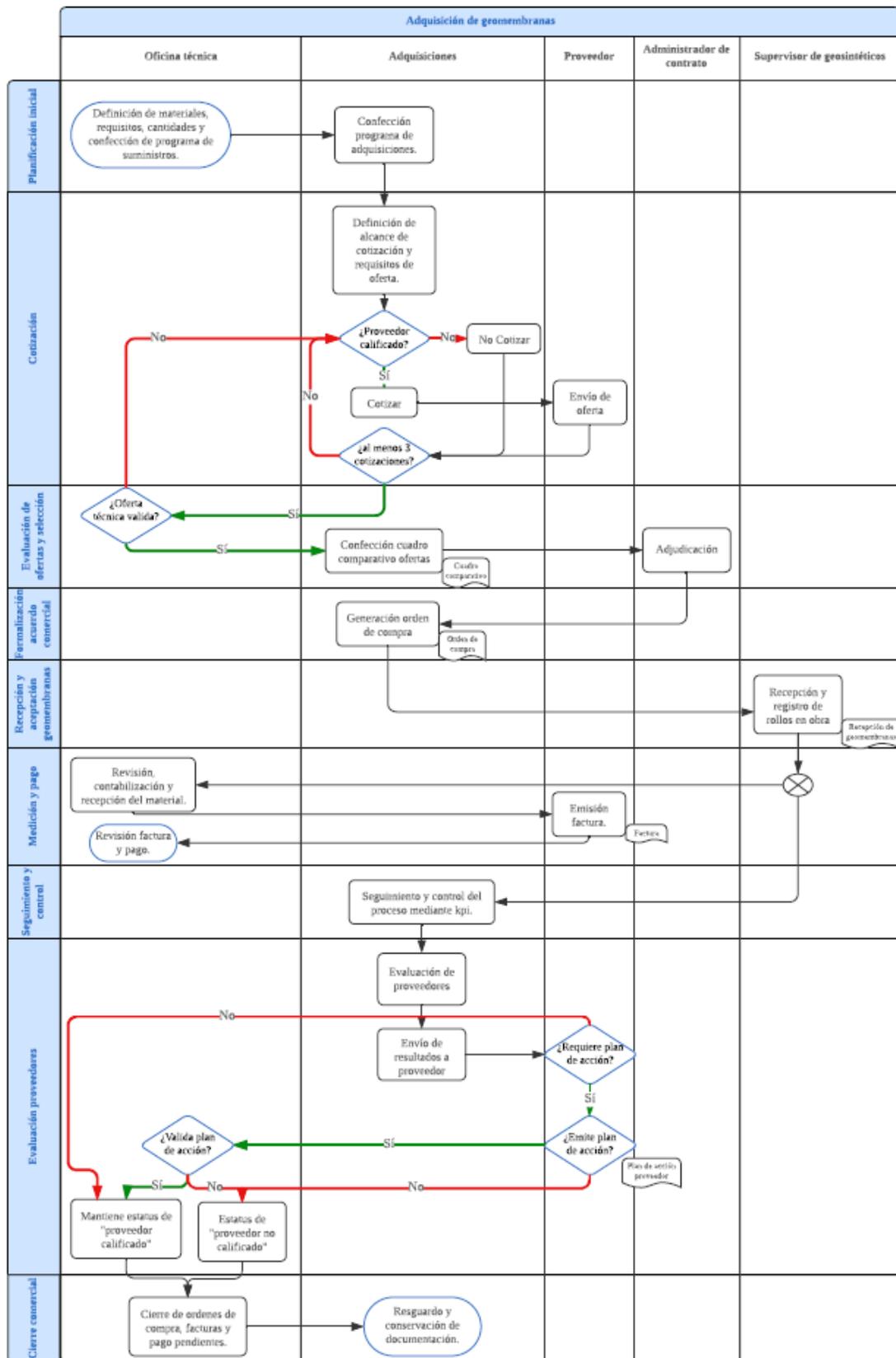
- A. La unidad de adquisiciones debe gestionar el cierre de todas las órdenes de compra pendientes, así como las facturas y pagos asociadas a estas.
- B. La unidad de control de documentos hará resguardo y conservación de todo documento relativo a la relación comercial con a la empresa proveedora.

7 TRAZABILIDAD Y REGISTROS

NRO.	NOMBRE	RESPONSABLE REGISTRO	RESPONSABLE CUSTODIA
1	RECEPCIÓN DE GEOMEMBRANAS	Supervisor de geosintéticos	Control de documentos.

8 ANEXOS

- ANEXO A: DIAGRAMA DE FLUJO ADQUISICIÓN DE GEOMEMBRANAS.
- ANEXO B: RECEPCIÓN DE GEOMEMBRANAS.



Anexo E

Propuesta Proceso de instalación

**“Empresa
Constructora”**

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”**

Revisión: P

Fecha Elab.: XX-X-20XX

Página 1 de 13

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”**

Rev.P

REV.	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA
P	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	XX.XX.20XX
	Firma	Firma	Firma	

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 2 de 13

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	DEFINICIONES.....	3
4	REFERENCIAS.....	4
5	RESPONSABILIDADES.....	5
6	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	7
6.1	PLANIFICACIÓN INICIAL.....	7
6.2	IDENTIFICACIÓN, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE ROLLOS DE GEOSINTÉTICO	8
6.3	PREPARACIÓN Y ACEPTACIÓN DE TERRENO	9
6.4	DIMENSIONAMIENTO, CORTE E IDENTIFICACIÓN DE PANELES.....	9
6.5	DESPLIEGUE DE PANELES	10
6.6	SOLDADURA DE PANELES Y PARCHES.....	10
6.7	PRUEBAS Y/O ENSAYOS.....	12
6.8	DEFECTOS Y REPARACIONES	12
6.9	CIERRE DE LA ACTIVIDAD.....	12
7	TRAZABILIDAD Y REGISTROS.....	13
8	ANEXOS.....	13

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 3 de 13

1 OBJETIVO

El objetivo principal del presente documento es establecer y definir las etapas del proceso de instalación de geomembranas para asegurar la integridad, servicialidad, durabilidad, trazabilidad y calidad de los revestimientos instalados.

Se busca definir de forma clara y precisa las etapas que conlleva la instalación de esta clase de revestimiento, desde la preparación del terreno hasta la soldadura de los paneles, precisando en cada una de las etapas responsabilidades, actividades, requisitos, restricciones, registros e información documentada para asegurar la integridad del revestimiento, además de cumplir los estándares de seguridad y de calidad.

2 ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todos los proyectos y/o contratos que ejecuta **“Empresa Constructora”** y consorcios que tengan dentro de su alcance el revestimiento de superficies con geomembranas.

3 DEFINICIONES

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
Geosintéticos	Los geosintéticos son materiales, generalmente producidos a partir de polímeros, ampliamente utilizados en proyectos de infraestructura donde se emplean para conseguir distintas propiedades y/o condiciones, entre las cuales se encuentran principalmente el refuerzo de suelos, drenajes e impermeabilización.
Geomembranas	Las geomembranas son láminas delgadas de material plástico o caucho, sus principales características son su muy baja permeabilidad, flexibilidad y resistencia a ataques químicos, por lo que son utilizadas comúnmente a modo de revestimiento y/o barrera para el almacenamiento o contención de líquidos.
HDPE	Por sus siglas en inglés, High-Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,95$ [g/cm ³].
LLDPE	Por sus siglas en inglés, Linear Low-Density Polyethylene (Polietileno Lineal de Baja Densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,92$ [g/cm ³].
Procedimiento	Forma especificada de llevar a cabo una actividad o un proceso. Según ISO 9000:2015
Requisitos	Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria (Según ISO 9000:2015). Los requisitos son establecidos para evaluar y garantizar conformidad y satisfacción del cliente.

Calidad	Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Según ISO 9000:2015.
Aseguramiento de la calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Control de calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Ensayo y/o prueba	Actividad para encontrar una o más características y sus valores característicos de acuerdo con los requisitos para un uso o aplicación previsto específico. Según ISO 9000:2015.
Ensayo no destructivo (END)	Ensayo y/o prueba en la que no se alteran las propiedades o servicialidad del material ya instalado.
Ensayo destructivo (ED)	Ensayo y/o prueba en la que se “sacrifica” parte del material ya instalado.
Trazabilidad	Capacidad para seguir el histórico, la aplicación o la localización de un objeto. Según ISO 9000:2015.
Registro	Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades realizadas. Los registros pueden utilizarse, por ejemplo, para formalizar la trazabilidad y para proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas. Según ISO 9000:2015.
Indicador	Parámetro que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso.

4 REFERENCIAS

- GSE Installation Quality Assurance Manual: Geomembrane Products.
- International Association of Geosynthetic Installers: Guidelines for Installation of: HDPE and LLDPE Geomembrane Installation Specification.
- EMIN Procedimiento de instalación de geosintéticos.
- GeoCHEM Field Installation Quality Assurance Manual.

- Procedimiento: Generación de planos de despliegue.
- Procedimiento: Adquisición de geosintéticos.
- Procedimiento: Pruebas y/o ensayos a geomembranas.
- Instructivo: Soldadura de geomembranas por cuña.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 5 de 13

- Instructivo: Soldadura de geomembranas con material de aporte.
- Instructivo: Ensayo de corte y desgarre.
- Instructivo: Ensayos destructivos.
- Instructivo: Ensayos no destructivos.

- International Organization for Standardization (ISO)
 - ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario.
 - ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos

- American Society for Testing and Materials (ASTM)
 - D 638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
 - D 4439: Standard Terminology for Geosynthetics.
 - D 4873: Identification, Storage, and Handling of Geosynthetic Rolls.
 - D 5641: Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber.
 - D 5818: Obtaining Samples of Geosynthetics from a Test Section for Assessment of Installation Damage.
 - D 5820: Pressurized Air Channel Evaluation of Dual Seamed Geomembranes.
 - D 6365: Nondestructive Testing of Geomembrane Seams Using the Spark Test.
 - D6392: Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods.

- Geosynthetic Research Institute (GRI)
 - GM 9: Cold Weather Seaming of Geomembranes.
 - GM 13: Test Properties, Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes.
 - GM 14: Test Frequencies for Destructive Seam Testing Selecting, variable intervals for taking geomembrane destructive samples using the method of attributes.
 - GM 17: Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Smooth and Textured Geomembranes.
 - GM 20: Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using Control Charts.
 - GM 29: Field Integrity Evaluation of Geomembrane Seams (and Sheet) Using Destructive and/or Nondestructive Testing.

5 RESPONSABILIDADES

UNIDAD/CARGO	RESPONSABILIDAD
Gerencia técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Confeccionar planos de despliegue según lo establecido en el Procedimiento: Generación de planos de despliegue. • Confeccionar memorias de cálculo para el izaje de rollos de geosintéticos y diseño de contrapesos.
Administrador de contrato	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinar y presidir reunión pre-instalación. • Asegurar la contratación de personal competente y calificado. • Asegurar la adquisición de todo recurso necesario para la ejecución del presente procedimiento.

	<ul style="list-style-type: none">• Difundir los procedimientos de trabajo.
Adquisiciones	<ul style="list-style-type: none">• Adquirir materiales y equipos que se ajusten a lo indicado por las especificaciones técnicas del proyecto.• Solicitar y documentar los estándares de calidad de productos y equipos.
Jefe de terreno	<ul style="list-style-type: none">• Participar en la reunión pre-instalación.• Planificar y ejecutar los trabajos de preparación de subrasante.• Realizar el despliegue de paneles, asegurando la integridad física de personal, maquinarias, equipos y material, de acuerdo a planos de despliegue.• Hacer registro de condiciones ambientales en terreno.• Certificar a los técnicos soldadores en los respectivos instructivos de soldaduras.• Certificar los equipos para la ejecución de soldaduras.• Ejecutar, supervisar y registrar soldaduras de paneles.• Inspeccionar la zona revestida en busca de defectos.• Hacer inspección final al sitio de trabajo para el cierre de la actividad y gestionar la aceptación de la zona revestida con aprobación del cliente,
Supervisor geosintéticos	<ul style="list-style-type: none">• Participar en la reunión pre-instalación.• Recepcionar y dejar registro de los rollos de geosintéticos recibidos en obra.• Supervisar e inspeccionar el izaje de rollos de geosintéticos y su almacenamiento.• Inspeccionar y hacer registro de avances parciales en la preparación de subrasante.• Dimensionar, hacer corte, identificar y hacer registro de los paneles de geomembrana de acuerdo a los planos de despliegue.• Certificar a los técnicos soldadores en los respectivos instructivos de soldaduras.• Certificar los equipos para la ejecución de soldaduras.• Confección, prueba y registro de ensayos de puesta en marcha.• Ejecutar, supervisar y registrar soldaduras de paneles.• Ejecutar y registrar ensayos de soldaduras de paneles.• Inspeccionar la zona revestida en busca de defectos y ejecutar las respectivas reparaciones.• Hacer inspección final al sitio de trabajo para el cierre de la actividad y gestionar la aceptación de la zona revestida con aprobación del cliente.
Jefe de calidad	<ul style="list-style-type: none">• Participar en la reunión pre-instalación.• Asegurar la distribución y conocimiento de los procedimientos.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 7 de 13

	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar plan de inspección y ensayo del proyecto. • Asegurar la trazabilidad dentro del proceso de instalación de geomembranas. • Controlar y asegurar la implementación de lo dispuesto en el presente procedimiento.
Técnico soldador	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer, respetar y cumplir con lo dispuesto en los procedimientos, normas, códigos e instructivos asociados al revestimiento con geomembranas.
Técnico laboratorista	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer, respetar y cumplir con lo dispuesto en los procedimientos, normas, códigos e instructivos asociados a ensayos y/o pruebas en geomembranas. • Informar de forma oportuna y fiel los resultados de ensayos y/o pruebas.
Control de documentos	<ul style="list-style-type: none"> • Resguardar y organizar la información documentada del proyecto. • Resguardar y organizar los registros del procedimiento. • Mantener actualizada la plataforma de documentación. • Informar de forma oportuna el extravío, falta u obsolescencia de información documentada del proyecto u registros del procedimiento.

6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

6.1 PLANIFICACIÓN INICIAL

- A. El administrador de contrato junto al jefe de terreno serán responsables por la organización y desarrollo de una reunión pre-instalación, la cual debe contar con la participación del Administrador de contrato, Jefe de terreno, supervisor de geosintéticos, encargado de calidad y representante del cliente, además se tratará, al menos, los siguientes temas.
1. Salud y seguridad.
 2. Jerarquías de autoridad y comunicación.
 3. Resolución de ambigüedades en planos y/o especificaciones técnicas del proyecto.
 4. Métodos de documentación, reporte, registro y distribución de documentos.
 5. Plan de inspección y ensayo.
 6. Procedimientos para el almacenamiento de muestras y probetas.
 7. Revisión de cronograma de instalación y de pruebas y ensayos.
 8. Revisión de planos de despliegue.
 9. Limitaciones de climáticas y/o de temperatura.
 10. Procedimientos en condiciones climáticas adversas.
 11. Secuencia de despliegue y plan para control de arrugas por expansión o contracción térmica.
 12. Métodos de medición.
 13. Responsabilidades de cada partícipe.
- B. El administrador de contrato deberá asegurar la contratación de personal competente y calificado, la adquisición de maquinarias y equipos operativos y certificados, adquisición de materiales de acuerdo a

las especificaciones técnicas, y todo recurso necesario para la correcta ejecución del presente procedimiento.

- C. El Jefe de terreno y el supervisor de geosintéticos deberán planificar semanalmente sus actividades en función del cronograma de trabajo de manera de evitar interferencias o dificultades con otras actividades o trabajos en la zona a revestir.
- D. El Administrador de contrato será responsable de difundir los procedimientos de trabajo a todo el personal involucrado en las actividades de revestimiento.

6.2 IDENTIFICACIÓN, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE ROLLOS DE GEOSINTÉTICO

A. De la Identificación.

- 1. La identificación de rollos de geomembranas se debe realizar según lo establecido en el **Procedimiento: Adquisición de geomembranas.**
 - a. Cada rollo recepcionado en obra debe presentarse etiquetado firmemente por el proveedor con al menos la siguiente información: Nombre proveedor, producto, espesor, número de serie proveedor, dimensiones y peso.
 - b. El Supervisor de geosintéticos es el encargado de la recepción de los rollos en obra dejando constancia de esto en el registro **Recepción de geomembranas (Procedimiento: Adquisición de geomembranas: Anexo B).**
 - c. El material recepcionado debe contar con su respectivo certificado de calidad emitido por el fabricante, y debe ser correlacionado con los números de serie de cada rollo.
 - d. Al realizar la descarga de los rollos, estos deben ser inspeccionados visualmente, dejando registro de cualquier condición anormal de los rollos.
 - e. Toda falta de material o material evidentemente dañado en la entrega debe ser notado en el registro **Recepción de geomembranas.** Respecto a materiales dañados estos deben ser marcados claramente con lápiz indeleble para su posterior apartado del resto de materiales recepcionados.
 - f. Los materiales dañados serán inspeccionados en conjunto por el Jefe de terreno, el supervisor de geosintéticos y por el área de calidad para determinar la aceptación o rechazo de dicho material,
 - g. Los productos rechazados en la inspección secundaria serán identificados por productos no conforme (PNC), se deberán informar al proveedor.

B. Del manejo.

- 1. Los rollos de geosintéticos deben ser manejados de manera de proteger su integridad.
- 2. La gerencia técnica debe confeccionar una memoria de cálculo para las maniobras de izaje de los rollos de geosintético.
- 3. El supervisor de geosintéticos debe asegurarse que se cuente con eslingas certificadas para las maniobras, y que estas no presenten ningún tipo de daño. En caso de encontrarse eslingas con cualquier tipo de daño se debe descartar de inmediato y en ningún caso reutilizar.

C. Del almacenamiento.

- 1. Los rollos de geosintéticos deben almacenarse en un lugar práctico y lo más cercano posible a la obra.
- 2. La superficie de apoyo debe ser plana y debe permitir el drenaje. Además, debe estar libre de rocas angulosas u otros objetos que puedan ser dañinos para la integridad del rollo.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 9 de 13

3. Los rollos deben almacenarse en una zona lo suficientemente alejada del paso de vehículos que puedan levantar partículas dañinas para los rollos con su paso.

6.3 PREPARACIÓN Y ACEPTACIÓN DE TERRENO

- A. Una vez recepcionado el terreno, el Jefe de terreno debe solicitar el levantamiento topográfico para planificar e iniciar con los trabajos de preparación de la superficie de despliegue.
- B. La subrasante debe ser preparada ajustándose a lo estipulado por las especificaciones técnicas del proyecto.
 1. La subrasante debe estar libre vegetación, irregularidades, agua estancada, suelo suelto o cambios abruptos de tipo de suelo.
 2. La subrasante debe tener aspecto uniforme y sin objetos con puntos o angulosos que puedan generar daños a las láminas durante o posterior a la instalación.
- C. Los avances parciales en la preparación de terreno deben quedar documentados mediante el registro **Aceptación de condiciones de terreno (Anexo A)** junto a su respectivo plano de referencia. El documento debe ser firmado tanto por el Jefe de geosintéticos como por el representante del cliente en obra.
- D. El jefe de terreno junto al supervisor de geosintéticos deben hacer inspección visual de a la superficie cada día de trabajo para verificar las condiciones de la superficie y asegurar la viabilidad del despliegue de láminas.
- E. Si en cualquier momento el Jefe de terreno detecta que una superficie ya aceptada se encuentra deteriorada, dañada o en condiciones no aceptables a su criterio, todos los trabajos de instalación de láminas deben detenerse para remediar la integridad de la superficie.

6.4 DIMENSIONAMIENTO, CORTE E IDENTIFICACIÓN DE PANELES

- A. Para el dimensionamiento de los paneles, el Jefe de geosintéticos debe seguir lo descrito por los respectivos planos de despliegue del proyecto.
- B. El Supervisor de geosintéticos es el encargado del dimensionamiento, corte e identificación de paneles dejando constancia de esto en el registro **Identificación de paneles geosintéticos (Anexo B)**. En el registro se documenta el número de identificación de cada panel, rollo de origen, dimensiones, y fecha y hora de despliegue.
- C. Cada panel será identificado mediante números naturales (1,2,3,4, etc.) en caso de ser una lámina de geosintético. En caso de ser 2 o más, los paneles se deben identificar utilizando un prefijo que denote el número de capa.
 1. Capa primaria: P1, P2, P3, P4, etc.
 2. Capa secundaria: S1, S2, S3, S4, etc.
 3. Capa terciaria: T1, T2, T3, T4, etc.
- D. El supervisor de geosintéticos será el encargado del corte de los paneles, para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes aspectos.
 1. El corte debe ser realizado por personal calificado para el uso de la herramienta de corte y bajo inspección del supervisor de geosintéticos.
 2. La herramienta de corte debe encontrarse en óptimas condiciones para su utilización, es decir, con hoja debidamente afilada, sin signos notorios de desgaste y con todas sus piezas funcionales.
 3. En ningún caso las actividades de corte de paneles se realizarán sobre paneles ya desplegados.

4. Para las actividades de corte deben tomarse todas las medidas de seguridad pertinentes. El personal que realiza el corte en todo momento debe utilizar guantes anticorte y vestimenta apropiada. El corte se debe ejecutar en todo momento en dirección contraria al cuerpo, evitando dar tirones o sacudidas. Se debe respetar una zona de seguridad de al menos 1 metro a la redonda del trabajador que realiza el corte.
- E. El supervisor de geosintéticos debe asegurarse que cada panel sea marcado con lápiz indeleble. El número de panel debe escribirse con letras de gran tamaño en el centro de cada panel, mientras que el número de rollo, dimensiones y espesor se deben anotar en un menor tamaño bajo el número de panel. Para paneles de gran longitud es recomendable escribir la información en ambos extremos.

6.5 DESPLIEGUE DE PANELES

- A. El Jefe de terreno debe asegurar que el despliegue de las geomembranas se realice de forma que tanto la lámina desplegada, como la subrasante no sufran daños que comprometan la integridad del revestimiento.
- B. El jefe de terreno será responsable por asegurar que las arrugas de los paneles causadas por el despliegue o por expansión termal sean minimizados.
- C. Todo personal que deba movilizarse sobre los paneles debe realizarlo con zapatos apropiados para evitar daños a la geomembrana. En ningún caso se podrá fumar sobre o en cercanías a los paneles desplegados.
- D. El Jefe de terreno será el encargado de posicionar contrapesos sobre los paneles desplegados para evitar el levantamiento de estos por condiciones desfavorables de viento. La gerencia técnica será responsable por el diseño, geometría y espaciamiento de los contrapesos mediante una memoria de cálculo que justifique las condiciones consideradas.
- E. El jefe de terreno será responsable de restringir el tráfico de vehículos pesados sobre la lámina. El tráfico de vehículos con neumáticos de goma es aceptable si la presión de contacto es menor a 8 [psi], el jefe de terreno junto al supervisor de geosintéticos será responsable por verificar esta condición. Los vehículos deben, dentro de lo posible, recorrer la lámina lo más recto posible, evitando hacer curvas bruscas, frenados repentinos o partidas rápidas. Las áreas por donde hubo tráfico vehicular deben estar bajo constante inspección por parte del supervisor de geosintéticos en busca posibles daños.

6.6 SOLDADURA DE PANELES Y PARCHES

- A. Toma de datos ambientales.
 1. Previo a la ejecución de cualquier soldadura el jefe de terreno será responsable de hacer registro de las condiciones ambientales en terreno, lo cual se dejará documentado mediante el **Registro de condiciones de viento y temperatura (Anexo C)**.
- B. Del personal y de los equipos.
 1. Todo técnico soldador deberá contar con las respectivas certificaciones relativos al **Instructivo: Soldadura de geomembranas por cuña, Instructivo: Soldadura de geomembranas con material de aporte** y para la operación de los equipos. El Jefe de terreno junto al Supervisor de geosintéticos serán responsables por la aprobación individual de cada técnico soldador mediante soldaduras de ensayo.
 2. Los equipos tanto de cuña caliente, como extrusora deben contar con sus respectivos certificados de operación.

C. Ensayos de puesta en marcha.

1. Previo a las soldaduras de los paneles desplegados, se realizarán ensayos de puesta en marcha, los cuales permiten ajustar y verificar los parámetros de soldadura de los equipos, además de precalificar al personal.
2. El Supervisor de geosintéticos será responsable por la confección de las muestras, tanto para cuña caliente, como para extrusión, buscando acercarse a las condiciones que se tienen en terreno para obtener ensayos representativos. Además, registrando velocidad, temperatura y presión en la soldadura.
3. Las muestras deben ser de al menos 0.3[m] de ancho por 0.45[m] de largo con la respectiva soldadura ubicada en la mitad de la muestra, de la muestra se obtienen 10 probetas de 25[mm] de ancho por 150[mm] de largo (1[in]x6[in]), 5 destinadas a ensayo de corte y 5 a ensayo de desgarre como lo muestra la figura 6.1.

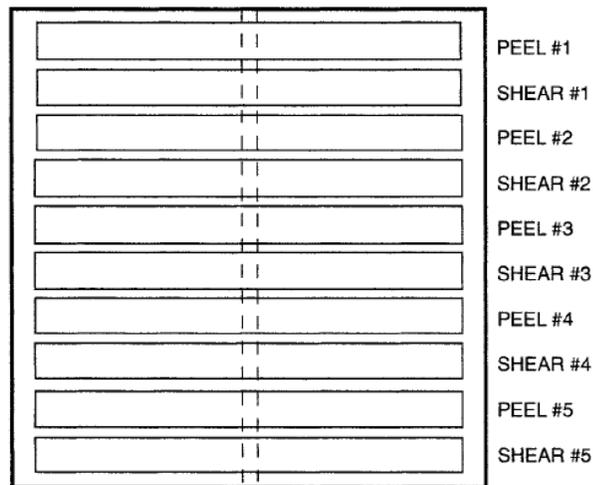


Figura: 6.1: Esquema tira de ensayo.

Fuente: ASTM D6392.

4. Las probetas deben dejar enfriarse antes de ejecutar los ensayos de corte y desgarre.
 5. Los ensayos de corte y desgarre a las probetas obtenidas de cada muestra serán ejecutados según lo establecido en el **Procedimiento: Pruebas y/o ensayos a geomembranas**.
 6. El Supervisor de geosintéticos será responsable por la documentación datos de confección en el **Registro de ensayos de puesta en marcha (Anexo D)**.
 7. En caso de rechazarse los resultados de los ensayos, se modificarán los parámetros de velocidad, temperatura y tiempo de ejecución de las soldaduras.
- D. Soldadura por cuña caliente.
1. Las soldaduras por cuña se ejecutarán exclusivamente para la unión entre paneles.
 2. Las soldaduras por cuña caliente se ejecutarán según lo establecido en el **Instructivo: Soldadura de geomembranas por cuña**.
- E. Soldadura por extrusión.
1. Las soldaduras por extrusión se ejecutarán para la ejecución de parches, reparaciones y unión entre paneles que por su naturaleza no sea posibles soldar mediante cuña caliente.
 2. Los parches deben extenderse a lo menos 10 [cm] del borde de la junta triple o defecto a soldar, además debe contar con esquinas redondeadas con radio de giro no menor a 8[cm].

3. Las soldaduras por extrusión se ejecutarán según lo establecido en el **Instructivo: Soldadura de geomembranas con material de aporte.**

F. Registro de soldaduras.

1. Cada soldadura tomará como código de identificación los números de paneles que son unidos. Por ejemplo, la soldadura entre paneles 1 y 2 toma el código de identificación 1 / 2.
2. El Jefe de geosintéticos será el responsable de documentar cada soldadura, de cualquier tipo, mediante el **Registro de soldaduras (Anexo E).**

6.7 PRUEBAS Y/O ENSAYOS

- A. Las pruebas y ensayos a soldaduras se ejecutarán según lo indicado en el **Procedimiento: Pruebas y/o ensayos a geomembranas.**

6.8 DEFECTOS Y REPARACIONES

A. Identificación de defectos.

1. El Jefe de terreno junto al Supervisor de geosintéticos será responsables por la inspección de todo el sistema de revestimiento en busca de defectos.
2. En caso de detectar un defecto, se marcará un círculo la zona con lápiz indeleble.

B. Reparaciones: Cada defecto detectado será reparado mediante uno de los siguientes métodos o combinación de ellos.

1. Parches: Para reparación de agujeros o rasgaduras tanto en lámina como en soldaduras.
2. Desbaste y resoldado: Para reparación de pequeñas secciones o defectos localizados.
3. Soldadura puntual: Para reparación de defectos pequeños y localizados.
4. Soldadura de rebabas: Soldadura de rebaba de una unión por cuña.
5. Tapado: Para la reparación de soldaduras fallidas.

C. Condiciones de para reparaciones

1. La superficie donde se ejecutará la reparación debe estar limpia y seca.
2. Los equipos y el personal deben contar con las respectivas certificaciones y conocimiento en los procedimientos e instructivos.
3. Los parches deben con dimensionarse considerando lo indicado en el punto 6.6 E del presente documento.
4. Los parches serán enumerados mediante orden numérico. Es decir, PR1, PR2, PR3, etc.

B. Toda soldadura ejecutada en actividades de reparación será ensayada según lo indicado en **Procedimiento: Pruebas y/o ensayos a geomembranas.**

6.9 CIERRE DE LA ACTIVIDAD

- A. El Jefe de terreno junto al Supervisor de geosintéticos realizarán una inspección visual final recorriendo por completo la superficie revestida.
- B. El Jefe de terreno junto al Supervisor de geosintéticos deben confirmar que todas las reparaciones se han realizado de manera satisfactoria, que todos los resultados de ensayos son aceptables y que la superficie se encuentra libre de basura, escombros o despuntes.
- C. La gerencia técnica confeccionará y proveerá al cliente de los respectivos planos As-Build. Los planos incluirán de manera explícita números de paneles y rollo de origen, además de la ubicación de todo ensayo destructivo y/o reparación ejecutada.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 13 de 13

- D. El cierre de la actividad se podrá realizar una vez la instalación del revestimiento esté completa, la documentación y registros se encuentre completa y disponible y se cuente con la aprobación del cliente.
- E. El jefe de terreno junto al representante autorizado del cliente dejarán registro del cierre de la actividad mediante el registro **Certificado de aceptación de revestimiento (Anexo F)**.

7 TRAZABILIDAD Y REGISTROS

NRO.	NOMBRE	RESPONSABLE REGISTRO	RESPONSABLE CUSTODIA
1	ACEPTACIÓN DE CONDICIONES DE TERRENO.	Supervisor de geosintéticos.	Control de documentos.
2	IDENTIFICACIÓN DE PANELES GEOSINTÉTICOS.	Supervisor de geosintéticos.	Control de documentos.
3	REGISTRO DE CONDICIONES DE VIENTO Y TEMPERATURA.	Jefe de terreno.	Control de documentos.
4	REGISTRO DE ENSAYOS DE PUESTA EN MARCHA.	Supervisor de geosintéticos.	Control de documentos.
5	REGISTRO DE SOLDADURAS.	Supervisor de geosintéticos.	Control de documentos.
6	CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DE REVESTIMIENTO.	Jefe de terreno.	Control de documentos.

8 ANEXOS

- ANEXO A: ACEPTACIÓN DE CONDICIONES DE TERRENO.
- ANEXO B: IDENTIFICACIÓN DE PANELES GEOSINTÉTICOS.
- ANEXO C: REGISTRO DE CONDICIONES DE VIENTO Y TEMPERATURA.
- ANEXO D: REGISTRO DE ENSAYOS DE PUESTA EN MARCHA.
- ANEXO E: REGISTRO DE SOLDADURAS.
- ANEXO F: CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DE REVESTIMIENTO.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA ACEPTACIÓN DE CONDICIONES DE TERRENO	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 1 de 1

ACEPTACIÓN DE CONDICIONES DE TERRENO

Proyecto:	Cliente:
Nro. Contrato:	Fecha: XX/XX/XXXX
Ubicación:	Nro. Emisión: XX
Área Parcial aceptada: % Parcial avance:	Área Total aceptada: % Total avance:
Nro. Plano de referencia:	
Descripción superficie:	

El firmante, representante autorizado de **“Empresa Constructora”**, certifica que las condiciones de terreno cumplen con los criterios de instalación de geomembranas estipulados por las especificaciones técnicas del presente proyecto y se hace responsable de mantener la integridad de dicha superficie hasta completar la instalación del revestimiento.

Al firmar, **“Empresa Constructora”** no toma responsabilidad por el diseño de la superficie, grado de humedad o compactación, elevación o integridad estructural.

“Empresa Constructora”
NOMBRE REPRESENTANTE
FECHA
FIRMA

“Cliente”
NOMBRE REPRESENTANTE
FECHA
FIRMA

“Empresa Constructora”	PROPUESTA	Revisión: P
	REGISTRO CONDICIONES DE VIENTO Y TEMPERATURA	Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 2 de 2

NOTA: Sensación térmica según Paul Sipple (1948) :

$$T_{eq} = -0,4544 \cdot (10,45 + 10 \cdot \sqrt{V} - V) \cdot (33 - T_a) + 33^{\circ}\text{C}$$

Donde:

- V: Velocidad del viento [m/s].
- Ta: Temperatura ambiente [°C].

Tabla 1: Sensación térmica en para temperaturas y velocidad de viento, según Paul Sipple (1948).

VELOCIDAD DEL VIENTO		TEMPERATURA [°C]										
[KM/HR]	[M/S]	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
CALMO	CALMO	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
5	1.4	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
10	2.8	7.6	2.0	-3.5	-9.0	-14.6	-20.1	-25.6	-31.1	-36.7	-42.2	-47.7
15	4.2	5.1	-1.0	-7.0	-13.1	-19.2	-25.2	-31.3	-37.4	-43.4	-49.5	-55.6
20	5.6	3.3	-3.2	-9.7	-16.2	-22.6	-29.1	-35.6	-42.0	-48.5	-55.0	-61.4
25	6.9	1.8	-5.0	-11.8	-18.6	-25.3	-32.1	-38.9	-45.7	-52.5	-59.3	-66.0
30	8.3	0.6	-6.4	-13.5	-20.5	-27.5	-34.6	-41.6	-48.7	-55.7	-62.7	-69.8
35	9.7	-0.3	-7.6	-14.8	-22.1	-29.3	-36.6	-43.8	-51.1	-58.3	-65.6	-72.8
40	11.1	-1.1	-8.6	-16.0	-23.4	-30.8	-38.3	-45.7	-53.1	-60.5	-68.0	-75.4
45	12.5	-1.8	-9.4	-16.9	-24.5	-32.1	-39.6	-47.2	-54.8	-62.3	-69.9	-77.5
50	13.9	-2.4	-10.0	-17.7	-25.4	-33.1	-40.8	-48.5	-56.2	-63.8	-71.5	-79.2
55	15.3	-2.8	-10.6	-18.4	-26.2	-33.9	-41.7	-49.5	-57.3	-65.1	-72.9	-80.6
60	16.7	-3.2	-11.0	-18.9	-26.8	-34.6	-42.5	-50.3	-58.2	-66.1	-73.9	-81.8
65	18.1	-3.5	-11.4	-19.3	-27.2	-35.2	-43.1	-51.0	-58.9	-66.9	-74.8	-82.7

“Empresa Constructora”	PROPUESTA CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DE REVESTIMIENTO	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 1 de 1

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DE REVESTIMIENTO

Proyecto:	Cliente:
Nro. Contrato:	Fecha: XX/XX/XXXX
Ubicación:	Nro. Emisión: XX
Área total revestida:	
Nro. Plano de referencia:	
Descripción superficie:	

El firmante, representante autorizado de “**Cliente**”, acepta el trabajo descrito a la fecha indicada y confirma que dentro de su conocimiento el trabajo fue realizado en concordancia con las especificaciones técnicas del proyecto y los términos y condiciones del contrato, también verifica que no parece haber daños en la zona revestida, que toda clase de basura, escombros o retazos han sido retirados del sitio de trabajo y que se hace entrega del revestimiento limpio y seco.

La “**Empresa constructora**”, mediante su representante autorizado, se compromete a rectificar cualquier tipo de daño resultante de materiales o mano de obra defectuosa de acuerdo con su garantía estándar como instalador y garantía del proveedor.

“Empresa Constructora”
NOMBRE REPRESENTANTE
FECHA
FIRMA

“Cliente”
NOMBRE REPRESENTANTE
FECHA
FIRMA

Anexo F

Propuesta Proceso de pruebas y/o ensayos

**“Empresa
Constructora”**

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”**

Revisión: P

Fecha Elab.: XX-X-20XX

Página 1 de 15

**PROPUESTA
PROCEDIMIENTO
“PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”**

Rev.P

REV.	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	FECHA
P	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	Nombre Apellido Cargo	XX.XX.20XX
	Firma	Firma	Firma	

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 2 de 15

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	DEFINICIONES.....	3
4	REFERENCIAS.....	4
5	RESPONSABILIDADES.....	5
6	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	7
6.1	PLAN DE INSPECCIÓN Y ENSAYO	7
6.2	ENSAYO DE CORTE Y DESGARRE.....	7
6.3	ENSAYOS DESTRUCTIVOS (ED).....	10
6.3.1	ESTÁNDAR DE MUESTRAS Y PROBETAS.....	10
6.3.2	ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN.....	11
6.3.3	ACCIONES ANTE RECHAZO DE ENSAYO.....	11
6.4	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END).....	11
6.4.1	PRUEBA DE PRESIÓN.....	11
6.4.2	PRUEBA DE VACÍO.....	12
6.4.3	PRUEBA DE CHISPA ELÉCTRICA.....	13
6.5	ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS Y PROBETAS.....	15
6.6	CIERRE DE LA ACTIVIDAD.....	15
7	TRAZABILIDAD Y REGISTROS.....	15
8	ANEXOS.....	15

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 3 de 15

1 OBJETIVO

El objetivo principal del presente documento es establecer y definir las etapas del proceso de pruebas y/o ensayos a geomembranas para asegurar la integridad, servicialidad, durabilidad, trazabilidad y calidad de los revestimientos instalados.

Se busca definir de forma clara y precisa las etapas que conllevan las pruebas y/o ensayos a esta clase de revestimiento, desde la confección de un plan de inspección y ensayo hasta el registro de resultados, precisando en cada una de las etapas responsabilidades, actividades, requisitos, restricciones, registros e información documentada para asegurar la integridad del revestimiento, además de cumplir los estándares de seguridad y de calidad.

2 ALCANCE

Este procedimiento es aplicable a todas las soldaduras por cuña y por extrusión realizados en los proyectos y/o contratos que ejecuta **“Empresa Constructora”** y consorcios que tengan dentro de su alcance el revestimiento de superficies con geomembranas.

3 DEFINICIONES

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
Geosintéticos	Los geosintéticos son materiales, generalmente producidos a partir de polímeros, ampliamente utilizados en proyectos de infraestructura donde se emplean para conseguir distintas propiedades y/o condiciones, entre las cuales se encuentran principalmente el refuerzo de suelos, drenajes e impermeabilización.
Geomembranas	Las geomembranas son láminas delgadas de material plástico o caucho, sus principales características son su muy baja permeabilidad, flexibilidad y resistencia a ataques químicos, por lo que son utilizadas comúnmente a modo de revestimiento y/o barrera para el almacenamiento o contención de líquidos.
HDPE	Por sus siglas en inglés, High-Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,95$ [g/cm ³].
LLDPE	Por sus siglas en inglés, Linear Low-Density Polyethylene (Polietileno Lineal de Baja Densidad) es un polímero termoplástico de alta resistencia, versátil y propiedades químicas inertes. Densidad del material: $\rho \approx 0,92$ [g/cm ³].
Procedimiento	Forma especificada de llevar a cabo una actividad o un proceso. Según ISO 9000:2015
Requisitos	Necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria (Según ISO 9000:2015). Los requisitos son establecidos para evaluar y garantizar conformidad y satisfacción del cliente.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 4 de 15

Calidad	Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Según ISO 9000:2015.
Aseguramiento de la calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Control de calidad	Parte de la gestión de la calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad. Según ISO 9000:2015.
Ensayo y/o prueba	Actividad para encontrar una o más características y sus valores característicos de acuerdo con los requisitos para un uso o aplicación previsto específico. Según ISO 9000:2015.
Ensayo no destructivo (END)	Ensayo y/o prueba en la que no se alteran las propiedades o servicialidad del material ya instalado.
Ensayo destructivo (ED)	Ensayo y/o prueba en la que se “sacrifica” parte del material ya instalado.
Trazabilidad	Capacidad para seguir el histórico, la aplicación o la localización de un objeto. Según ISO 9000:2015.
Registro	Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades realizadas. Los registros pueden utilizarse, por ejemplo, para formalizar la trazabilidad y para proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas. Según ISO 9000:2015.
Indicador	Parámetro que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso.

4 REFERENCIAS

- GSE Installation Quality Assurance Manual: Geomembrane Products.
- International Association of Geosynthetic Installers: Guidelines for Installation of: HDPE and LLDPE Geomembrane Installation Specification.
- EMIN Instructivo ensayos destructivos (ED) y ensayos no destructivos (END).
- GeoCHEM Field Installation Quality Assurance Manual.
- Procedimiento: Generación de planos de despliegue.
- Procedimiento: Adquisición de geosintéticos.
- Procedimiento: Instalación de geomembranas.
- Instructivo: Soldadura de geomembranas por cuña.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 5 de 15

- Instructivo: Soldadura de geomembranas con material de aporte.
- Instructivo: Ensayo de corte y desgarre.
- Instructivo: Ensayos destructivos.
- Instructivo: Ensayos no destructivos.

- International Organization for Standardization (ISO)
 - ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario.
 - ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos

- American Society for Testing and Materials (ASTM)
 - D 638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
 - D 4439: Standard Terminology for Geosynthetics.
 - D 4873: Identification, Storage, and Handling of Geosynthetic Rolls.
 - D 5641: Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber.
 - D 5818: Obtaining Samples of Geosynthetics from a Test Section for Assessment of Installation Damage.
 - D 5820: Pressurized Air Channel Evaluation of Dual Seamed Geomembranes.
 - D 6365: Nondestructive Testing of Geomembrane Seams Using the Spark Test.
 - D 6392: Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods.

- Geosynthetic Research Institute (GRI)
 - GM 9: Cold Weather Seaming of Geomembranes.
 - GM 13: Test Properties, Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes.
 - GM 14: Test Frequencies for Destructive Seam Testing Selecting, variable intervals for taking geomembrane destructive samples using the method of attributes.
 - GM 17: Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Smooth and Textured Geomembranes.
 - GM 20: Selecting Variable Intervals for Taking Geomembrane Destructive Seam Samples Using Control Charts.
 - GM 29: Field Integrity Evaluation of Geomembrane Seams (and Sheet) Using Destructive and/or Nondestructive Testing.

5 RESPONSABILIDADES

UNIDAD/CARGO	RESPONSABILIDAD
Administrador de contrato	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinar y presidir reunión pre-instalación. • Asegurar la contratación de personal competente y calificado. • Asegurar la adquisición de todo recurso necesario para la ejecución del presente procedimiento. • Difundir los procedimientos de trabajo.
Supervisor geosintéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Participar en la reunión pre-instalación.

	<ul style="list-style-type: none">• Certificar a todo trabajador relacionado con pruebas en geomembranas en los respectivos procedimientos e instructivos de pruebas.• Certificar a los técnicos laboratoristas en los respectivos procedimientos e instructivos de pruebas.• Certificar los equipos para la ejecución de ensayos.• Confección y registro de ensayos de puesta en marcha.• Ejecutar y registrar ensayos de soldaduras de paneles.• Tomar muestras y probetas (ED) en cordones de soldadura.• Registrar la toma de muestras.• Ejecutar las respectivas reparaciones según el Procedimiento: Instalación de geomembranas.• Ejecutar y registrar ensayos no destructivos (END) en cordones de soldadura.
Jefe de calidad	<ul style="list-style-type: none">• Participar en la reunión pre-instalación.• Proponer un plan de inspección y ensayo para el proyecto.• Asegurar la distribución y conocimiento de los procedimientos.• Certificar a todo trabajador relacionado con pruebas en geomembranas en los respectivos procedimientos e instructivos de pruebas.• Certificar a los técnicos laboratoristas en los respectivos procedimientos e instructivos de pruebas.• Certificar los equipos para la ejecución de ensayos.• Asegurar la trazabilidad dentro del proceso de pruebas y ensayos a geomembranas.• Controlar y asegurar la implementación de lo dispuesto en el presente procedimiento.
Técnico laboratorista	<ul style="list-style-type: none">• Conocer, respetar y cumplir con lo dispuesto en los procedimientos, normas, códigos e instructivos asociados a ensayos y/o pruebas en geomembranas.• Ejecutar y documentar el ensayo de corte y desgarre.• Informar de forma oportuna y fiel los resultados de ensayos y/o pruebas.• Identificar, almacenar, resguardar y conservar las probetas ya ensayadas del proyecto.
Control de documentos	<ul style="list-style-type: none">• Resguardar y organizar la información documentada del proyecto.• Resguardar y organizar los registros del procedimiento.• Mantener actualizada la plataforma de documentación.• Informar de forma oportuna el extravío, falta u obsolescencia de información documentada del proyecto u registros del procedimiento.

6 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

6.1 PLAN DE INSPECCIÓN Y ENSAYO

- A. En la reunión pre-instalación el Jefe de calidad será el encargado de presentar un plan de inspección y ensayo para su discusión y modificación en caso de ser necesario.
- B. Frecuencia de muestreo.
1. Ensayos de puesta en marcha: Serán realizadas al menos al inicio de cada jornada laboral. También se ejecutarán para la precalificación de personal y equipos de soldado, y al cambiar las propiedades del material a soldar.
 2. Ensayos destructivos:
 - a. Proyectos que requieran menos de 15 000 metros lineales de soldadura en terreno: Una muestra cada 150 metros lineales de soldadura.
 - b. Proyectos que requieran más de 15 000 metros lineales de soldadura en terreno: Se tomarán muestras en intervalos variables que aumenta o disminuye la frecuencia de muestreo en cada intervalo o lote en función de un porcentaje esperado de fallas. **Norma de referencia GRI GM14.**
 3. Ensayos no destructivos: Al total del largo de soldadura.
- C. Tanto los ensayos destructivos, como los no destructivos deben realizarse a medida que progresa la ejecución de soldaduras y no cuando se haya completado el proceso de soldaduras del proyecto.
- D. El técnico laboratorista deberá conocer, respetar y cumplir con lo dispuesto en el presente procedimiento y en las normas y códigos aplicables.
- E. El supervisor de geosintéticos junto al Jefe calidad serán responsables por certificar y aprobar de manera individual tanto a los técnicos laboratoristas, como a los respectivos equipos de prueba.

6.2 ENSAYO DE CORTE Y DESGARRE.

- A. Aplicable para ensayos de puesta en marcha y ensayos destructivos. Se ensayarán muestras de 10 probetas.
- B. Para la ejecución de los ensayos se utilizará un tensiómetro. Se ajustará el equipo a un ratio de 2 [in/min] para geomembranas de HDPE y 20[in/min] para geomembranas de LLDPE.
- C. La posición de las probetas.

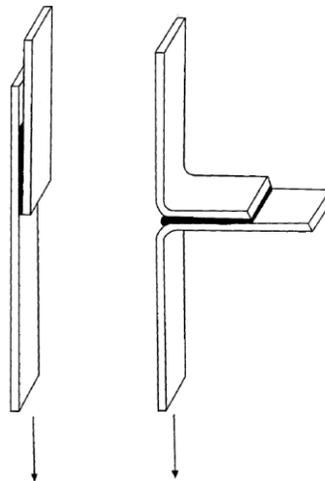


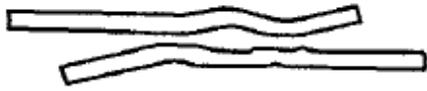
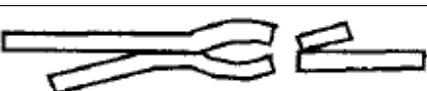
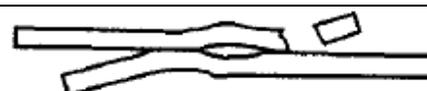
Figura 6.1: Esquema ensayo de corte (Izq.) y desgarre (Der.)

Fuente: ASTM D6392

D. La soldadura ensayada será aprobada si la probeta cumple con los siguientes requisitos.

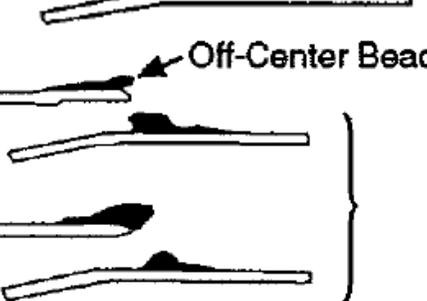
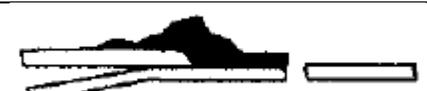
1. La probeta muestra tipo de falla FTB (Film Tearing Bond) y no debe fallar en el cordón de soldadura.

Tabla 1: Tipos de falla soldadura por cuña.

NRO.	TIPO DE FALLA	DESCRIPCIÓN	ACEPTACIÓN
1		Falla de adhesión.	✗
2		Falla en la lámina. Puede ocurrir en lámina inferior o superior.	✓
3		Falla en el borde externo de la soldadura. Puede ocurrir en lámina inferior o superior.	✓
4		Falla en el borde interno de la soldadura. Falla sobre ambas láminas.	✓
5		Quiebre en la soldadura por falla de adhesión. Puede ocurrir en lámina inferior o superior.	✗
6		Separación en el plano de la lámina. Puede ocurrir en lámina inferior o superior.	✓

Fuente: ASTM D6392.

Tabla 2: Tipos de falla soldadura por extrusión.

NRO.	TIPO DE FALLA	DESCRIPCIÓN	ACEPTACIÓN
1		Falla de adhesión.	✗
2		Falla de adhesión.	✗
3		Falla en el cordón de soldadura.	✗
4		Falla en la lámina inferior, en el borde de la soldadura. Aplicable solo a ensayo de corte.	✓

5		Falla en la lámina superior, en el borde de la soldadura. Aplicable solo a ensayo de corte.	✓
6		Falla en la lámina inferior, en el borde de la soldadura. Aplicable solo a ensayo de desgarre.	✓
7		Falla en la lámina inferior. Quiebre en la zona fortificada.	✓
8		Falla en la lámina superior. Quiebre en la zona fortificada.	✓
9		Falla en la lámina inferior luego de una falla de adhesión entre el cordón de soldadura y la lámina inferior.	✓
10		Falla en el borde del cordón de soldadura para especímenes que no pudieron ser	✓
11		Separación en el plano de la lámina. Puede ocurrir en lámina inferior o superior.	✓

Fuente: ASTM D6392.

- 4 de 5 probetas ensayadas deben alcanzar o superar los valores presentados en las siguientes tablas.
- La 5ta probeta debe alcanzar o exceder un 80% del valor especificado en las tablas.

Tabla 3: Valores requeridos para ensayos de corte y desgarre, HDPE.

ESPESOR [mm]	CUÑA				EXTRUSIÓN			
	CORTE		DESGARRE		CORTE		DESGARRE	
	lbf x in	kgf x in	lbf x in	kgf x in	lbf x in	kgf x in	lbf x in	kgf x in
0,75	54	24	44	20	54	24	35	16
1	81	37	65	29	81	37	52	24
1,5	121	55	98	44	121	55	78	35
2	162	73	130	59	162	73	104	47
2,5	203	92	162	73	203	92	130	59
3	236	107	179	81	236	107	152	69

Fuente: GRI GM19.

Tabla 4: Valores requeridos para ensayos de corte y desgarre, LLDPE.

ESPESOR [mm]	CUÑA				EXTRUSIÓN			
	CORTE		DESGARRE		CORTE		DESGARRE	
	lbf x in	kgf x in	lbf x in	kgf x in	lbf x in	kgf x in	lbf x in	kgf x in
0,75	40	18	34	15	40	18	32	15
1	60	27	50	23	60	27	48	22
1,5	90	41	75	34	90	41	72	33
2	120	54	100	45	120	54	96	44
2,5	150	68	125	57	150	68	120	54
3	176	80	148	67	176	80	134	61

Fuente: GRI GM19.

E. El técnico laboratorista será responsable por documentar los datos del ensayo mediante el **Ensayo de corte y desgarre (Anexo A)**.

6.3 ENSAYOS DESTRUCTIVOS (ED).

6.3.1 ESTÁNDAR DE MUESTRAS Y PROBETAS.

- A. La toma de muestras se realizará tanto a soldaduras por cuña, como a soldaduras por extrusión.
- B. El Supervisor de geosintéticos será responsable por la obtención de muestras siguiendo el plan de inspección y ensayos del proyecto.
- C. Identificación.
 1. Cada ensayo destructivo será identificado usando el prefijo ED (ED-1, ED-2, ED-3, ED-4, etc.).
 2. El supervisor de geosintéticos debe asegurarse que tanto la muestra, como la zona contigua a la muestra en la lámina queden marcadas con lápiz indeleble con el número de muestra y el número de soldadura.
- B. Cada muestra debe ser de al menos 0.3[m] de ancho por 0.45[m] de largo con la respectiva soldadura ubicada en la mitad de la muestra.
- C. De cada muestra se obtienen 10 probetas de 25[mm] de ancho por 150[mm] de largo, equivalentemente 1[in] por 6[in].
- D. 5 de las probetas obtenidas serán destinadas a ensayo de corte y 5 a ensayo de desgarre como lo muestra la figura 6.1.

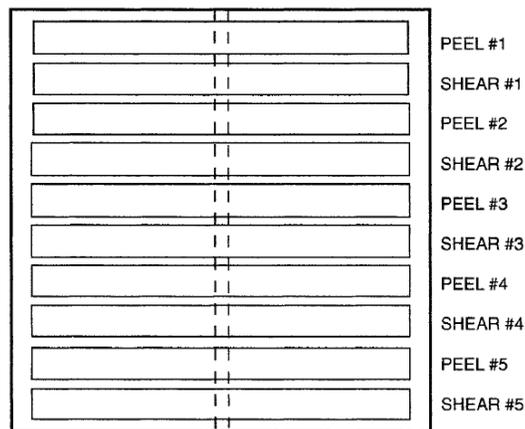


Figura 6.1: Esquema tira de ensayo.

Fuente: ASTM D6392.

E. El supervisor de geosintético será responsable por documentar los datos de la muestra mediante el **Registro de toma de muestras (Anexo B)**.

6.3.2 ENSAYO Y CRITERIO DE ACEPTACIÓN

A. Las probetas serán ensayadas a corte y desgarre según lo indicado en la sección 6.2 del presente documento.

6.3.3 ACCIONES ANTE RECHAZO DE ENSAYO

- A. En caso que una muestra no cumpla con los requisitos para su aceptación debe considerarse que la totalidad de la soldadura correspondiente a la muestra puede estar ejecutada de manera inadecuada.
- B. El supervisor de geosintéticos será responsable de obtener dos muestras adicionales, aproximadamente, a 3 metros de cada extremo de la muestra rechazada. Ambas muestras serán identificadas con el código de la muestra original en adición de los sufijos A y B (ED-XX-A y ED-XX-B).
- C. Las muestras adicionales serán ensayadas a corte y desgarre según lo indicado en la sección 6.2 del presente documento.
- D. La toma de muestras adicionales en los extremos será repetida hasta que las muestras en ambos extremos sean aprobadas.
- E. La zona con soldadura fallida será reparada según lo indicado en el **Procedimiento: Instalación de geomembranas**.

6.4 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END).

- A. Las soldaduras serán ensayadas en toda su extensión mediante ensayos no destructivos para chequear la continuidad de las soldaduras y detección temprana de defectos.
- B. Para soldaduras por cuña será aplicable la prueba de vacío.
- C. Para soldaduras por extrusión con material de aporte será aplicable la prueba de vacío y la prueba de chispa eléctrica.
- D. El supervisor de geosintéticos será responsable por la ejecución de ensayos no destructivos en toda la extensión de las soldaduras.

6.4.1 PRUEBA DE PRESIÓN.

- A. La prueba de presión es aplicable a soldadura por cuña caliente y debe ejecutarse en toda la extensión de soldaduras de este tipo presente en el proyecto.
- B. La prueba consiste en evaluar la continuidad del canal de aire producido por las dos fajas de soldadura mediante la aplicación de aire al canal a determinada presión. Esquema de la prueba en la siguiente figura.

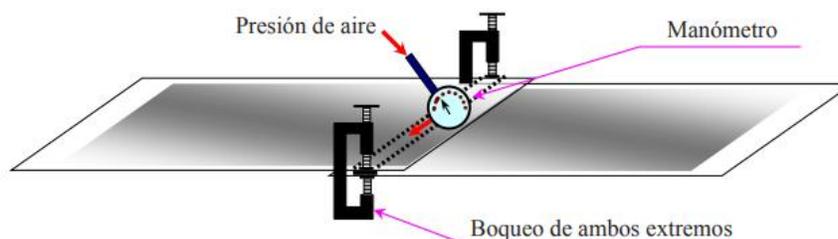


Figura 6.2: Esquema prueba de vacío.
Fuente: ML Ingeniería.

- C. Para la realización del ensayo el Supervisor de geosintéticos se asegurará de contar con un compresor de aire capaz de ejercer una presión mínima de 35 [psi] y con herramientas de sellado apropiadas para sellar ambos extremos del canal de aire.
- D. Una vez sellado el canal de aire se presuriza el canal de aire a 30 [psi] y permitir la estabilización por al menos 2 minutos.
- E. El ensayo será exitoso si la presión luego de 5 minutos no ha caído en más de 2[psi].
- F. Se debe liberar el extremo más lejano del canal de aire para verificar que la totalidad de la soldadura fue ensayada correctamente, es decir, que no existan interrupciones intermedias en el canal de aire y existan tramos sin testear.
- G. En caso de existir una caída de presión mayor a 2[psi] se debe seguir el siguiente procedimiento.
 - 1. El supervisor de geosintéticos debe realizar una caminata a lo largo de la soldadura presurizada atento al sonido del posible defecto.
 - 2. Se aplicará una solución jabonosa a la soldadura para ayudar en la búsqueda del defecto mediante las burbujas producidas por el aire escapando.
 - 3. Se repetirá la prueba de presión reduciendo los tramos testeados hasta encontrar la fuga.
- H. El defecto será reparado según lo indicado en el **Procedimiento: Instalación de geomembranas**.
- I. El supervisor de geosintético será responsable por documentar los datos del ensayo mediante el **Prueba de presión (Anexo C)**.

6.4.2 PRUEBA DE VACÍO.

- A. La prueba de vacío es aplicable a soldadura por extrusión con material de aporte y debe ejecutarse en toda la extensión de soldaduras de este tipo presente en el proyecto.
- B. La prueba consiste en evaluar la continuidad de la soldadura aplicando una solución jabonosa y aplicar vacío al área mediante una caja de vacío, la presencia de burbujas en algún punto de la soldadura podría indicar un defecto. Esquema de la prueba en la siguiente figura.

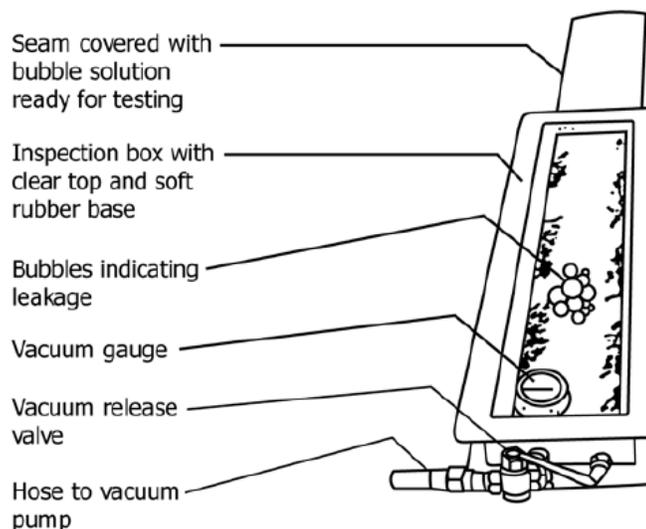


Figura 6.3: Esquema prueba de vacío.
Fuente: ASTM D5641.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 13 de 15

- C. Para la realización del ensayo el Supervisor de geosintéticos se asegurará de contar con una caja de vacío y un agente espumoso.
- D. Procedimiento.
1. Para ejecutar el ensayo, el Supervisor de geosintéticos debe asegurar que la zona se encuentre limpia. Libre de partículas u objetos extraños que interfieran en el sello de geomembrana y caja de vacío.
 2. Se debe cubrir la superficie de la soldadura con la solución jabonosa. Aproximadamente se debe cubrir el doble del área de la caja de vacío con la solución.
 3. Se posiciona la caja de vacío sobre el área, posicionando el cordón de soldadura sobre la mitad de la caja de vacío y se aplica fuerza sobre la cara superior de la caja para asegurar el sello.
 4. En este punto se aplica el vacío a la caja, de aproximadamente -5[psi], y se inspecciona el cordón de soldadura en busca de burbujas por un mínimo de 10 segundos.
- E. El ensayo será exitoso si dentro de los 10 segundos no se presentan burbujas en el cordón de soldadura.
- F. Para continuar con el ensayo se debe traslapar las áreas ensayadas en mínimo del 10% del largo de la caja de vacío o al menos 50[mm], el que sea mayor.
- G. La presencia de burbujas en el cordón de soldadura durante el ensayo indica un defecto.
- H. El defecto será reparado según lo indicado en el **Procedimiento: Instalación de geomembranas.**
- I. El supervisor de geosintético será responsable por documentar los datos del ensayo mediante el **Ensayos no destructivos (Anexo D).**

6.4.3 PRUEBA DE CHISPA ELÉCTRICA.

- A. La chispa eléctrica es aplicable a soldadura por extrusión con material de aporte y debe ejecutarse en toda la extensión de soldaduras de este tipo presente en el proyecto.
- B. La prueba consiste en evaluar la continuidad eléctrica entre el equipo emisor del campo y el cable de cobre instalado a lo largo de la soldadura, en caso de detectarse continuidad se generará una chispa y un sonido debido a la descarga. El ensayo se basa en las propiedades aislantes de las geomembranas por lo que una soldadura por extrusión correctamente ejecutada no debiese generar descargas eléctricas. Esquema de la prueba en la siguiente figura.

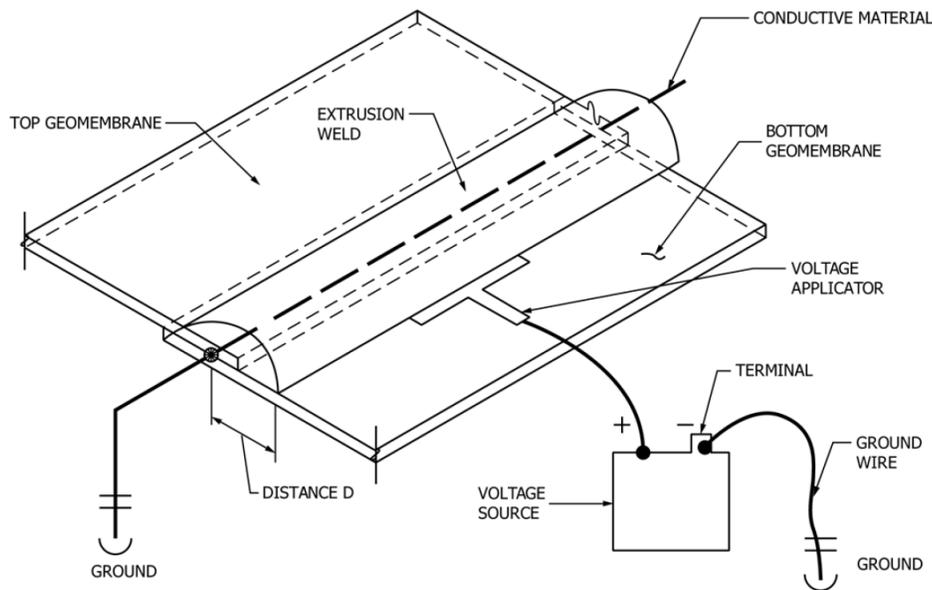


Figura 6.4: Esquema prueba de chispa eléctrica.
Fuente: ASTM D6365.

C. Para la realización del ensayo el Supervisor de geosintéticos se asegurará de contar con una fuente de poder, un aplicador de voltaje y que el alambre de cobre se encuentre instalado en la soldadura según lo estipulado en el **Instructivo: Soldadura de geomembranas con material de aporte**.

D. Procedimiento.

1. La soldadura por extrusión con material de aporte debe contar con el alambre de cobre instalado.
2. El voltaje aplicado dependerá de la distancia (D) entre el extremo de la soldadura hasta el material conductor según la siguiente tabla.

Tabla 3: Voltajes de ensayo.

Distancia esperada (D) [mm]	Voltaje de prueba [V]
6	20 000
10	25 000
13	28 000
16	31 000
19	35 000

Fuente: ASTM D6365.

$$V = K\sqrt{D}; \text{ Cte. } K = 7900 \left[\frac{\text{volts}}{\sqrt{\text{mm}}} \right]$$

3. Previo a la prueba, se debe testear la selección del voltaje aplicando en una soldadura de prueba para verificar que no se dañe la geomembrana.
 4. Para la ejecución de la prueba el aplicador de voltaje debe ponerse en contacto con la soldadura a testear y avanzar a lo largo de ella a una velocidad entre 6 y 9 metros por minuto.
- E. El ensayo será exitoso si no se genera una chispa al pasar por alguna zona de la soldadura.

“Empresa Constructora”	PROPUESTA PROCEDIMIENTO “PRUEBAS Y/O ENSAYOS A GEOMEMBRANAS”	Revisión: P
		Fecha Elab.: XX-X-20XX
		Página 15 de 15

- F. La generación de una chispa al pasar el aplicador de voltaje por la soldadura durante el ensayo podría indicar un defecto en la soldadura.
- G. El defecto será reparado según lo indicado en el **Procedimiento: Instalación de geomembranas**.
- H. El supervisor de geosintéticos será responsable por documentar los datos del ensayo mediante el **Ensayos no destructivos (Anexo D)**.

6.5 ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS Y PROBETAS.

- A. Toda muestra y probeta ya ensayada será almacenada y resguardada por el técnico laboratorista en condiciones óptimas para su conservación.
- B. Las probetas serán identificadas para conocer el ensayo realizado y su origen.
- C. Las probetas fallidas serán de especial interés para su posterior estudio de verificación y validez, análisis de fracaso y mejora continua de los procesos.

6.6 CIERRE DE LA ACTIVIDAD.

- A. El cierre de la actividad se dará una vez el proceso de instalación se haya dado por finalizado y se obtenga el **Certificado de aceptación de revestimiento (Procedimiento: Instalación de geomembranas: Anexo F)**.

7 TRAZABILIDAD Y REGISTROS

NRO.	NOMBRE	RESPONSABLE REGISTRO	RESPONSABLE CUSTODIA
1	ENSAYO DE CORTE Y DESGARRE.	Técnico laboratorista.	Control de documentos.
2	REGISTRO DE TOMA DE MUESTRAS.	Supervisor de geosintéticos.	Control de documentos.
3	PRUEBA DE PRESIÓN.	Supervisor de geosintéticos.	Control de documentos.
4	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.	Supervisor de geosintéticos.	Control de documentos.

8 ANEXOS

- ANEXO A: ENSAYO DE CORTE Y DESGARRE.
- ANEXO B: REGISTRO DE TOMA DE MUESTRAS.
- ANEXO C: PRUEBA DE PRESIÓN.
- ANEXO D: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

“Empresa Constructora”

**PROPUESTA
REGISTRO TOMAS DE MUESTRAS**

Revisión: P

Fecha Elab.: XX-X-20XX

Página 1 de 1

REGISTRO TOMA DE MUESTRAS

Proyecto:	Cliente:
Nro. Contrato:	Fecha: XX/XX/XXXX
Ubicación:	Nro. Emisión: XX
Nro. plano de referencia:	Nro. plano de referencia:
Supervisor geosintéticos:	Jefe Calidad:
Material:	Espesor: mm

NRO. MUESTRA	FECHA	HORA	NRO. REGISTRO CONDICIONES AMBIENTALES	NÚMERO DE SOLDADURA	OBSERVACIONES

