

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA

**GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO DE  
PETRÓLEO DIÉSEL TIPO ATMOSFÉRICO**

Trabajo de Titulación para optar al Título de  
Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Nombre del Alumno:  
Sr. Juan Gabriel Sandoval Collante

Profesor Guía:  
Sr. Carlos Boris Garay Burgos

**2024**

## **DEDICATORIA**

En reconocimiento a su constante aliento y motivación, dedico mi tesis a mis abuelos maternos, mi madre y su pareja, mis hermanos y en especial a mi hijo Vicente Sandoval, gracias a por su apoyo y por creer en cada meta que me he propuesto en mi trayectoria, siendo capaz de lograrlas a cabalidad. A lo largo de mi vida eh tenido experiencias bastante dificiles, que me han hecho más fuertes en cuanto a lo personal y querer sobresalir en lo profesional, dando así mi cien por ciento en cada cosa que hago de corazón.

Agradecer a una persona muy especial que impulso la idea de lograr superarme en lo profesional, para tener un mejor futuro, aunque ya no este conmigo, le quiero agradecer profundamente su apoyo y cariño, esto en gran parte es por ti, gracias.

Quiero agradecer en especial al Sr. Antonio Collante, siendo un apoyo a lo largo de mi vida de manera fundamental, creyendo siempre en mis capacidades, impulsándome a nuevos desafíos, siempre superando la oportunidad anterior, desde que comencé mi vida profesional lo veo como un gran referente, gracias por su gran colaboración en este paso importante en mi vida, mi anhelado título profesional, estaré siempre agradecido de tu dedicación y cariño.

Por último, quiero concluir con el agradecimiento a grandes docentes que tiene esta prestigiosa universidad, personas con grandes valores, gran nivel de empatía y apoyo a la superación de mi persona y mis compañeros, también, agradecer a mis compañeros con los cuales vivimos grandes momentos en el camino a la adquisición de conocimientos.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación se ha estructurado para definir en forma general, las consideraciones técnicas de diseño, construcción, puesta en marcha y operación de un estanque de almacenamiento de petróleo diésel, tipo atmosférico, con techo cónico soportado y fondo plano, cuyas dimensiones principales son 25 m de diámetro y 10 m de altura. Estas consideraciones implican abordar aspectos de mantenibilidad, confiabilidad, constructibilidad y riesgo, permitiendo, por tanto, desde la ingeniería de detalle hasta la operación de este, disponer de un equipo confiable y seguro.

## ÍNDICE TEMÁTICO

DEDICATORIA.....	2
RESUMEN.....	3
ÍNDICE TEMÁTICO.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	7
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA .....	8
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
ALCANCES.....	5
LIMITACIONES/EXCLUSIONES .....	5
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DIÉSEL .....	7
1.2 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	8
1.3 NORMATIVA .....	11
1.4 CIENCIA DE LA CORROSIÓN .....	12
1.5 ENTREGABLES DE INGENIERÍA .....	13
CAPITULO 2: PROBLEMA .....	15
2.1 SITUACIÓN ACTUAL .....	16
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	16
2.3 DEFINICIONES .....	20
2.4 PROCESO PRODUCTIVO .....	21
CAPITULO 3: SOLUCIÓN.....	29
3.1 PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO (PEP).....	30
3.2 PLAN DE CONSTRUCCIÓN.....	30
3.3 CAMINATAS DE TÉRMINO CONSTRUCCIÓN .....	36

3.4	PLAN DE PRECOMISIONAMIENTO Y COMISIONAMIENTO .....	40
3.5	DOCUMENTACIÓN Y PLANOS AS-BUILT .....	44
3.6	VERIFICACIÓN Y TRASPASO .....	45
3.7	PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN .....	47
3.8	CONTROL DE CALIDAD.....	51
3.9	INNOVACIONES TECNOLÓGICAS.....	56
CAPITULO 3: SOLUCIÓN.....		64
4.1	SOLUCIÓN INTEGRAL A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	65
4.2	PRINCIPALES PROBLEMAS EN ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DIÉSEL	65
4.3	ENFOQUE PRINCIPAL DE ACUERDO CON LA LEY DE PARETO .....	67
4.4	PLAN DE MANTENIMIENTO PARA ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DIÉSEL .....	68
4.5	MATRIZ DE COSTOS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	74
4.6	MATRIZ DE COSTOS ESTIMADA IMPLEMENTACIÓN INNOVACIONES TECNOLÓGICAS.....	77
RECOMENDACIONES.....		79
CONCLUSIÓN.....		80
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN .....		81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Emplazamiento General Estanques de Almacenamiento. ....	1
Figura 2: Corrosión en Estanques de Almacenamiento tipo Atmosférico. ....	12
Figura 3: Esquema General de Instalación Planchas de Fondo. ....	24
Figura 4: Esquema de Instalación Planchas del Manto (Traslapadas). ....	25
Figura 5: Esquema de Montaje Planchas de Fondo y Primer Anillo del Manto. ....	25
Figura 6: Esquemas Generales Montaje Estructura Soporte de Techo. ....	26
Figura 7: Esquema Montaje Vigas de Techo. ....	26
Figura 8: Esquema General Montaje de Planchas de Techo. ....	27
Figura 9: Esquema General Estanque de Almacenamiento de Diésel. ....	28
Figura 10: Modelo 3D – Referencia de Trabajo Colaborativo por Utilización de Tecnologías. ....	57
Figura 11: Sistema de Georeferenciación por Dron. ....	58
Figura 12: Modelo 3D por Nube de Puntos – Generado por Escaneo Láser. ....	60
Figura 13: Termografía Infrarroja Obtenida con la Utilización de Drones. ....	62
Figura 14: Representación Gráfica de Gemelo Digital. ....	63
Figura 15: Esquema General Plan de Mantenimiento de Estanques de Almacenamiento Tipo Atmosférico. ....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Plantilla Categorización Caminatas de Construcción. ....	39
Tabla 2: Plantilla Programa de Caminatas de Construcción. ....	39
Tabla 3: Plantilla Acta de Terminaciones en Terreno. ....	40
Tabla 4: Esquema Fases de Control de Calidad en Estanque. ....	52
Tabla 5: Esquema Planilla Protocolo Controles. ....	52
Tabla 6: Esquema Planilla Procedimientos de Aseguramiento de Calidad Técnica. ....	53
Tabla 7: Medidas de Mitigación de Causa – Efecto por Variables de Falla Comunes. ....	68
Tabla 8: Esquema Planilla Actividades de Mantenimiento en Estanques de Almacenamiento de Diésel. ....	69
Tabla 9: Matriz de Costo de Mantenimiento por Actividad y Estrategia (Parte I). ....	75
Tabla 10: Matriz de Costo de Mantenimiento por Actividad y Estrategia (Parte II). ....	76
Tabla 11: Matriz de Costos – Implementación de Tecnologías 1 de 2. ....	77
Tabla 12: Matriz de Costos – Implementación de Tecnologías 2 de 2. ....	78

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relación Causa – Efecto (Fallas Comunes y % de Incidencia) – Ley de Pareto .....	67
--	----

## SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
∅	Diámetro
H	Altura
#	Libra
AS-BUILT	Como construido
Punch List	Lista de pendientes

## INTRODUCCIÓN

En toda actividad industrial, los estanques de almacenamiento juegan un rol preponderante, esto, no sólo debido a la naturaleza de la operación misma de estos equipos, sino, por el riesgo que supone el almacenar líquidos combustibles, ante la posibilidad de riesgos de derrame y/o explosión, sean estas, por causas atribuibles a agentes y/o condiciones externas, como así también, por causas atribuibles a un diseño, construcción y operación deficiente, que ponga en riesgo la salud y seguridad de las personas e instalaciones.

Bajo el contexto anterior y, por tanto, debido a la naturaleza crítica de estos equipos, sumado a la necesidad de operaciones continuas y seguras, no sólo se hace imperante que los diseños de ingeniería, construcción y montaje, como así también, la operación de estos, cumplan con todas las exigencias de diseño, reglamentaciones nacionales e internacionales que soportan y rigen los diseños de estos equipos, sino también, se establezcan procedimientos y protocolos especiales para lograr una gestión de mantenimiento eficiente y eficaz, que minimice cualquier potencial riesgo durante su operación.

La gestión integral de mantenimiento de estos equipos no sólo optimiza y asegura la vida útil de estos equipos, sus sistemas y subsistemas asociados, sino que también reduce el riesgo de fallas catastróficas, incidentes ambientales y pérdidas económicas. En este sentido, la integración de criterios de mantenibilidad y confiabilidad, constructibilidad y operatividad, desde las fases iniciales de diseño, es clave para garantizar un desempeño óptimo durante la operación.



Figura 1: Emplazamiento General Estanques de Almacenamiento.

Durante el desarrollo de la ingeniería de detalle (ingeniería para construir), se establecen y definen todos los aspectos multidisciplinarios que aplicarán a los diseños de ingeniería, teniendo en consideración la aplicabilidad de las normas y regulaciones, nacionales e internacionales, que rigen para estos casos.

El diseño multidisciplinario a nivel de ingeniería de detalle abordará desde esta fase de ejecución del proyecto, el desarrollo de todos los entregables técnicos y de gestión necesarios para comprar, fabricar, construir, montar, poner en marcha y operar este equipo, así como también, todos sus sistemas y subsistemas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Definir una gestión integral de mantenimiento en estanques de almacenamientos de diésel, tipo atmosféricos, abarcando todas las fases de la cadena de suministro y/o ciclo de vida de estos, que sin ser limitado son las siguientes:

- ✓ Ingeniería de detalle y compras.
- ✓ Construcción.
- ✓ Puesta en marcha (precomisionamiento, comisionamiento y puesta a régimen).
- ✓ Operación.

Lo anterior permitirá dar a conocer las diversas consideraciones, metodologías y estrategias que aplican a las diversas actividades de mantenimiento de este equipo, sean estas; mantenimiento preventivo, sintomático, predictivo y correctivo, así como también, definir un plan de mantenimiento estratégico cuyo objetivo es incrementar la disponibilidad y seguridad del equipo.

Bajo el contexto anterior, el presente trabajo de titulación representa una guía práctica para abordar el diseño, construcción, puesta en marcha y operación de estos equipos, en donde las consideraciones de mantenimiento contribuyen de manera eficiente y eficaz, a mitigar riesgos y mejorar la confiabilidad, seguridad y disponibilidad de estos equipos.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los siguientes objetivos específicos detallan los aspectos clave y de valor, que serán implementados en este trabajo de titulación, con objeto de visualizar un programa maestro, lógico y secuencial, que aborde los aspectos y consideraciones definidos en el Objetivo General:

- ✓ Definir metodologías que aborden aspectos de mantenibilidad, confiabilidad y constructibilidad.
- ✓ Describir una metodología que aborde aspectos de puesta en marcha.
- ✓ Desarrollar la estimación de costos de mantenimiento, en base a la clasificación de sus actividades.
- ✓ Definir una metodología, que aborde aspectos integrales de mantenimiento en fases de operación, que permita reducir los índices de riesgo y aumentar la disponibilidad del equipo, con foco en la optimización de recursos y en el establecimiento de procedimientos y protocolos específicos para la predicción, sintomatología, prevención y corrección de fallas.

### **ALCANCES**

- ✓ Presentar las consideraciones de planificación, programación y diseño a nivel de ingeniería de detalle del equipo.
- ✓ Presentar una metodología de diseño, construcción y montaje del activo, considerando aspectos de constructibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.
- ✓ Desarrollar una estrategia para la implementación del control de fallas durante la operación del equipo.

### **LIMITACIONES/EXCLUSIONES**

- ✓ Diseño de ingeniería de detalle del equipo.
- ✓ Estimación de recursos de capital (CAPEX) del equipo.
- ✓ Estimación de recursos de operación (OPEX) del equipo.

Nota: La estimación de recursos será general y, para cada clasificación de actividades de mantenimiento (sintomático, predictivo, preventivo y correctivo).

**CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO**

## **1.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DIÉSEL**

### Hacia una Gestión Predictiva

El mantenimiento industrial ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, pasando de enfoques correctivos y preventivos tradicionales a estrategias avanzadas fundamentadas en la predicción y el análisis de datos. Este cambio responde a la creciente demanda de mejorar la confiabilidad y eficiencia de los sistemas industriales, así como a la necesidad de reducir los costos asociados a fallas y paradas de planta inesperadas. En el caso de los estanques de almacenamiento de diésel, considerados **activos**<sup>1</sup> críticos debido a su papel fundamental en la cadena de suministro energético, esta evolución representa un paso clave hacia una gestión más eficiente y sostenible.

Inicialmente, el mantenimiento correctivo se enfocaba exclusivamente en reparar fallas una vez ocurridas, lo que implicaba altos costos y riesgos operativos debido a las interrupciones imprevistas. Posteriormente, el mantenimiento preventivo surgió como una alternativa que permitía programar actividades periódicas para reducir la probabilidad de fallas. Aunque esta estrategia representó una mejora respecto al enfoque reactivo, todavía carecía de la capacidad para abordar la complejidad creciente de los sistemas industriales modernos. Con la llegada de la tecnología y el desarrollo de herramientas avanzadas de monitoreo y análisis, el mantenimiento predictivo ha ganado protagonismo al permitir anticipar fallas potenciales mediante el uso de datos en tiempo real y algoritmos avanzados.

Para el caso de los estanques de almacenamiento de diésel, la transición hacia una gestión predictiva se fundamenta en el monitoreo constante de variables clave como; presión, temperatura, corrosión y vibraciones. Estas tecnologías no sólo mejoran la detección temprana de fallas, sino que también optimizan la planificación de recursos y reducen los costos operativos. Además, contribuyen a garantizar la seguridad de las personas e instalaciones, así como también, a mitigar los riesgos ambientales, aspectos especialmente relevantes en la gestión de infraestructuras relacionadas con productos inflamables como el diésel.

Este capítulo describe la evolución del mantenimiento industrial aplicado a estos activos (estanques), explorando las ventajas que ofrecen las estrategias predictivas frente a los enfoques

---

<sup>1</sup> ¿Qué es un activo?: Un activo es todo aquello que represente un valor tangible y/o intangible para la organización.

tradicionales. Asimismo, se discutirá el impacto positivo de esta transición en la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la reducción de riesgos, estableciendo un marco integral para comprender cómo la tecnología está redefiniendo el mantenimiento moderno.

En conclusión, la gestión predictiva no solo representa un avance tecnológico, sino también un cambio de paradigma en la manera en que se planifican y ejecutan las actividades de mantenimiento. A través de la integración de herramientas tecnológicas y metodologías basadas en datos, esta estrategia permite afrontar los desafíos actuales del mantenimiento industrial, promoviendo operaciones más seguras, eficientes y sostenibles.

## **1.2 METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El mantenimiento predictivo, como estrategia avanzada, se complementa con una serie de metodologías y herramientas que comparten objetivos similares de optimización y eficiencia.

Estas metodologías y herramientas permiten complementar las estrategias predictivas tradicionales, proporcionando una visión integral que mejora la confiabilidad, reduce los costos operativos y refuerza la sostenibilidad en la gestión de estos activos.

### 1.2.1 Metodologías de mantenimiento predictivo.

- ✓ Mantenimiento basado en condición (CBM): Este enfoque se centra en el monitoreo continuo del estado de los equipos a través de sensores y análisis de datos. Al detectar cambios en las variables clave, se pueden programar tareas de mantenimiento antes de que ocurra una falla.
- ✓ Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM): Esta metodología se enfoca en identificar las funciones críticas de un equipo y las fallas que pueden afectar esas funciones. A partir de este análisis, se establecen tareas de mantenimiento específicas para garantizar la disponibilidad del equipo.
- ✓ Gestión de activos físicos (PAM): Este enfoque integral combina elementos de mantenimiento, ingeniería, finanzas y gestión de riesgos para optimizar el ciclo de vida de los activos.

- ✓ Pronóstico de vida útil: Mediante el análisis de datos históricos y modelos matemáticos, se pueden estimar las fechas de falla de los componentes y programar el mantenimiento de manera proactiva.

#### 1.2.2 Tecnologías y herramientas de mantenimiento predictivo.

- ✓ IoT (Internet de las Cosas): Permite conectar sensores y dispositivos a una plataforma centralizada para recopilar y analizar datos en tiempo real.
- ✓ Big data: Facilita el almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos generados por los sensores y otros sistemas.
- ✓ Inteligencia artificial (IA): Incluye técnicas como el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo para analizar patrones en los datos y realizar predicciones.
- ✓ Gemelos digitales: Son representaciones virtuales de los equipos físicos que permiten simular diferentes escenarios y optimizar las operaciones de mantenimiento.

#### 1.2.3 Aplicación en estanques de diésel.

- ✓ Monitoreo de la corrosión: Utilizar sensores para medir la tasa de corrosión y predecir la vida útil residual de las paredes del estanque.
- ✓ Detección de fugas: Implementar sistemas de detección de fugas basados en sensores ultrasónicos o acústicos.
- ✓ Análisis de vibraciones: Utilizar análisis de vibraciones para detectar desbalances, desalineaciones y otros problemas mecánicos en las bombas y equipos auxiliares.
- ✓ Predicción de la degradación de recubrimientos: Monitorear la integridad de los recubrimientos internos del estanque para prevenir la contaminación del combustible.

#### 1.2.4 Consideraciones adicionales.

- ✓ Costos: La implementación de sistemas de mantenimiento predictivo puede requerir una inversión inicial significativa, pero a largo plazo puede generar ahorros importantes al reducir los costos de mantenimiento reactivo y aumentar la disponibilidad de los equipos.
- ✓ Calidad de los datos: La calidad de los datos recopilados es fundamental para la efectividad de los sistemas de mantenimiento predictivo. Es importante asegurarse de que los sensores estén correctamente calibrados y que los datos sean limpios y consistentes.

- ✓ Integración con otros sistemas: Los sistemas de mantenimiento predictivo deben integrarse con otros sistemas de gestión empresarial, como los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) y los sistemas de gestión de la cadena de suministro.

### 1.3 NORMATIVA

La normativa relacionada con el diseño, construcción y mantenimiento industrial constituye un pilar fundamental para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las operaciones. En el caso de los estanques de almacenamiento de diésel, el cumplimiento normativo adquiere una relevancia crítica, dado el impacto potencial de estos activos en el medio ambiente, la seguridad de las personas y la continuidad operativa de la planta de proceso, en donde se encuentren insertos. Las normas y regulaciones establecen lineamientos específicos para la inspección, operación y mantenimiento de los equipos.

- ✓ API 650 Standard Welded Steel Tank for Oil Storage.
- ✓ API 653 Tank Inspection, Repair, Alteration and Reconstruction.
- ✓ API 2000 Guide for Venting Atmospheric and Low Pressure Storage Tanks.
- ✓ NFPA 30 National Fire Protection Association Flammable and Combustible Liquids.
- ✓ SSPC Structural Steel Painting Council.
- ✓ OSHA Occupational Safety and Health Administration.
- ✓ ASTM American Society for Testing and Materials.
- ✓ NACE National American Corrosion Engineers.
- ✓ SEC Superintendencia de Electricidad y Combustibles

#### 1.4 CIENCIA DE LA CORROSIÓN

Este análisis se centra en la comprensión de los mecanismos de degradación que afectan a diversos componentes estructurales, así como en la implementación de estrategias efectivas para mitigarlos.

Los estanques atmosféricos se encuentran sometidos a una serie de factores que aceleran su deterioro, entre los que destacan la corrosión, erosión, impacto y fatiga. La corrosión, en particular, es un fenómeno complejo influenciado por múltiples variables, como la composición química del petróleo, presencia de agua, temperatura, humedad relativa y concentración de iones cloruro.

Existen diversas técnicas de inspección por ensayos no destructivos (NDT), como los ultrasonidos, la radiografía industrial y los ensayos de líquidos penetrantes, para evaluar la integridad estructural de los estanques y detectar posibles fallas. Por otro lado, existen sistemas de protección catódica, como herramientas de control de corrosión del acero estructural del estanque, lo cual permite prolongar la vida útil de estos activos.

Es fundamental destacar que la selección de las estrategias de mitigación de la corrosión se basa en una evaluación de las condiciones específicas de cada estanque.



Figura 2: Corrosión en Estanques de Almacenamiento tipo Atmosférico.

## 1.5 ENTREGABLES DE INGENIERÍA

Durante el proceso de ejecución de la ingeniería de detalle, el equipo de ingeniería desarrolla todos los entregables suficientes y necesarios, para materializar el diseño, fabricación, construcción, montaje y puesta en marcha del estanque, sus componentes, sistemas y subsistemas multidisciplinarios que, sin ser limitado ni exhaustivo, son los siguientes:

### Entregables de Diseño

- ✓ Criterios de diseño multidisciplinarios.
- ✓ Especificación técnica estanques fabricados en terreno.
- ✓ Especificación técnica de pintura.
- ✓ Especificación técnica instrumentos de control.
- ✓ Especificación técnica bombas de desplazamiento positivo.
- ✓ Especificación técnica protección catódica.
- ✓ Especificación técnica obras de hormigón armado.
- ✓ Especificación técnica variadores de frecuencia.
- ✓ Especificación técnica motores baja tensión.
- ✓ Especificación técnica materiales eléctricos.
- ✓ Especificación técnica materiales de instrumentación.
- ✓ Hoja de datos estanque.
- ✓ Hoja de datos instrumentos de control.
- ✓ Memoria de cálculo.
  - ❖ Memoria de cálculo 1: Determinación de capacidad del estanque; cálculo de espesor de placas del manto (API 650 – método 1-foot), fondo y techo; estabilidad estructural del estanque frente a cargas de sismo (deslizamiento) y viento (volcamiento); diseño de sillas y pernos de anclaje.
  - ❖ Memoria de cálculo 2: Análisis por elementos finitos.
  - ❖ Memoria de cálculo 3: Análisis fluidodinámicos.
  - ❖ Memoria de cálculo 4: Diseño de componentes estructurales (columna central, columna intermedia, vigas soportantes de techo y plataforma de mantenimiento)
  - ❖ Memoria de cálculo 5: Diseño de pretil de contención de derrames.

❖ Memoria de cálculo 6: Diseño de anillo de fundación del estanque.

- ✓ Cubicaciones materiales (MTO).
- ✓ Listados de equipos.
- ✓ Listados de materiales.
- ✓ Plano de disposición general.
- ✓ Planos de diseño (plantas y elevaciones).
- ✓ Planos estándares.
- ✓ Diagrama de flujo de proceso (PFD).
- ✓ Diagrama de proceso e instrumentación (P&ID).
- ✓ Plan de inspección y ensayos (PIE).
- ✓ Planos de fabricación (conjuntos y partes).
- ✓ Planos de montaje (Estructural, mecánico, eléctricos y de sistemas de control e instrumentación).
- ✓ Modelo 3D.

**CAPITULO 2: PROBLEMA**

## **2.1 SITUACIÓN ACTUAL**

El proponer este trabajo de titulación ha sido un gran desafío, pues he planteado éste, posicionándome en el rol de “Consultor” (**JS Ingeniería SpA.**), en adelante **JS-ING**, en aspectos de mantenibilidad y confiabilidad para el diseño, construcción, montaje, puesta en marcha y operación de estanques de almacenamiento de diésel.

Esta mirada permite un visión global, ya que posibilita integrar todos los aspectos de mantenibilidad y confiabilidad, abordados en este trabajo de titulación, en cada una de las fases de ejecución de un proyecto de esta envergadura y tipología, aportando a un diseño confiable y seguro, que cumpla con las especificaciones y regulaciones técnicas nacionales e internacionales, mitigando cualquier impacto negativo que signifique riesgos a las personas e instalaciones, como así también, aumento de costos mantenimiento, significativos, durante la operación.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Supuesto: El Contratista **ASTRAL Ingeniería y Construcción SpA.**, en adelante el Contratista, se ha adjudicado el servicio EPC (ingeniería, adquisiciones y construcción) para el suministro de un estanque de almacenamiento de diésel, tipo atmosférico, el cual debe ser diseñado bajo norma API 650 y NFPA 30.

El servicio incluye las actividades de puesta en marcha del estanque, siendo éstas; precomisionamiento, comisionamiento y puesta a régimen (ramp-up).

### Alcance Detallado del Proyecto:

- ✓ Suministro de un estanque de almacenamiento de diésel, tipo atmosférico, completo, incluido todos sus sistemas y subsistemas multidisciplinario, en condición “listo para entrar en operación”.

### Obras Mecánicas

- ❖ Manto, fondo y techo (pendiente 9,5°) del estanque.
- ❖ Bombas de desplazamiento positivos, para alimentación y descarga.
- ❖ Accesorios del estanque; venteo, manholes de manto y techo, boquillas de alimentación y descarga, línea de espuma, drenaje, control de nivel estándar y ultrasónico. En general, se requieren todos los accesorios, necesarios y suficientes, para la correcta operación del equipo.

### Obras Estructurales

- ❖ Estructura soportante de techo (columna central e intermedias, vigas principales y secundarias).
- ❖ Plataforma – pasillo estructural de techo, incluido barandas, grating y guardapiés.
- ❖ Escala tipo espiral (sector perimetral exterior) para acceso a plataforma – pasillo de techo.
- ❖ Placas de conexión, incluido conectores (pernos y soldaduras)
  - Para conexión de elementos principales (vigas y columnas): Pernos A325-TC.
  - Para conexión de estructuras misceláneas (pasillos y barandas): Pernos A307.
  - El diseño de soldaduras definirá la preparación de materiales y electrodos, siendo requisito mínimo, AWS E70-XX.

### Obras Civiles

- ❖ Anillo de fundación.
- ❖ Pretel contención de derrames y losa de operación.
- ❖ Fundaciones columnas central e intermedias.
- ❖ Fundación estala espiral perimetral.
- ❖ Foso sumidero.

### Obras Sistemas de Control de Instrumentación

- ❖ Sensor de nivel ultrasónico.
- ❖ Control de nivel de presión (LIT).
- ❖ Transmisores de presión (PIT) para bombas alimentación y descarga.
- ❖ Control de nivel de líquido estándar (vidrio).
- ❖ Flujómetros entrada / salida (FIT) – Flow Indicator Transmitter.

- ❖ Válvulas HV (hand valves).
- ❖ Válvula de retención (válvula check) para línea de carga y descarga.
- ❖ Manómetros (bomba alimentación y descarga).
- ❖ Canalizaciones de instrumentación.
- ❖ Conductores de instrumentación y control.
- ❖ Tablero de instrumentación (TDI).
- ❖ Tablero de fuerza y control (TDF).

#### Obras Eléctricas

- ❖ Variador de frecuencia para bombas de alimentación y descarga.
- ❖ Conductores y canalizaciones eléctricas (desde equipos mecánicos y de instrumentación hasta sala eléctrica).

**Nota:** Todos los componentes, sistemas y subsistemas multidisciplinarios, deben ser a prueba de explosión.

- ✓ El contratista deberá diseñar el equipo completo, incluido sus componentes, sistemas y subsistemas multidisciplinarios, de acuerdo con los criterios de diseño, especificaciones técnicas suministradas por el Mandante.
- ✓ El contratista deberá desarrollar todas las actividades de compra de los equipo, componentes, sistemas y subsistemas, considerando para ello, el desarrollo de todos los entregables de compra (planos de diseño, disposiciones generales, criterios de diseño, especificaciones técnicas, hoja de datos, cubicaciones, memorias de cálculo y requisiciones).
- ✓ Las requisiciones de materiales serán la base de cotización de cada equipo, componentes, sistema y subsistema.
- ✓ El contratista deberá fabricar o subcontratar el servicio de fabricación (previa aprobación del Mandante) y, deberá cumplir con las especificaciones de materiales de forma rigurosa (no se aceptan otros materiales, salvo los indicados o, bajo cualquier aprobación expresa del mandante, si existe inconveniente en el suministro de alguno de ellos). La fabricación deberá incluir todo plan de inspección y ensayo (PIE) para el equipo completo, por lo que deberá ser emitido, para aprobación del mandante. Esto, con objeto de verificar la correcta

implementación del proceso de aseguramiento y control de calidad (QA/QC), de acuerdo con el manual de procedimientos del Mandante.

- ✓ El contratista deberá ejecutar cada una de las obras de construcción encomendadas y detalladas por disciplina, definiendo controles periódicos de construcción, para cada una de las fases de ejecución del proyecto, incluidas; precomisionamiento, comisionamiento y puesta a régimen.

#### Alcance de los Servicios JS-ING

El Mandante, requiere contratar los servicios del **JS Ingeniería SpA.**, el Consultor, bajo el siguiente acuerdo.

**JS-ING** deberá desarrollar una consultoría experta, como soporte al Contratista, velando por la inclusión de todos los aspectos de mantenibilidad y confiabilidad, para cada una de las fases de ejecución del proyecto, esto es, iniciando sus labores, al inicio de la ingeniería de detalle, hasta la puesta a régimen del equipo, sistemas y subsistemas. De esta forma, definir los parámetros técnicos y de gestión, necesarios y suficientes, para mejorar y optimizar el diseño a nivel de ingeniería de detalle del Contratista, como así también, establecer las consideraciones que deben ser incluidas en las actividades de construcción y puesta en marcha, con objeto central en la entrega del proyecto al equipo de operaciones del mandante, donde finalmente y, bajo su participación en las distintas fases de ejecución del proyecto, preparará un plan de mantenimiento integral, que considere las estrategias de mantenimiento preventivo, sintomático, predictivo y correctivo.

### 2.3 **DEFINICIONES**

- ✓ Mandante: Compañía que adjudica el servicio al Contratista (**ASTRAL Ingeniería y Construcción SpA.**) y Consultor (**JS Ingeniería SpA.**).
- ✓ Contratista: Empresa de construcción a cargo del servicio de ingeniería de detalle, adquisiciones y construcción (EPC, por sus siglas en inglés).
- ✓ Instalaciones: Corresponde a las obras encomendadas al Contratista, que incluye; estructuras, equipos, materiales, sistemas y subsistemas multidisciplinarios asociados al servicio contratado.
- ✓ Equipo: Definido a un artículo individual, que forma parte de un sistema permanente o temporal, cuyo detalle se encuentra descrito en los listados de equipos del proyecto y se encuentra definido bajo el correspondiente número TAG.
- ✓ Materiales: Elemento o componente que puede transformarse o agruparse en un sistema (cables, canalizaciones, pernos, enfierradura, cañerías, hormigón, planchas de acero, vigas, columnas de acero, etc.)
- ✓ Sistema: Grupo de componentes y/o equipo que, al agruparse e integrarse, funcionan juntos, formando un proceso único o parte de un proceso.
- ✓ Subsistema: Partes en que se divide un sistema definido para facilitar el cumplimiento mecánico, pruebas de funcionamiento (precomisionamiento), comisionamiento y entrega de la planta completa.
- ✓ Cumplimiento mecánico: Etapa que comúnmente se asocia al término de la construcción y pruebas de precomisionamiento. Esta etapa es finalizada, tan pronto la lista de pendientes (punch list) haya sido completada satisfactoriamente y certificada a través de protocolos.
- ✓ Punch List: Lista de actividades pendientes de las instalaciones, elaborada durante las caminatas de traspaso y custodia.
- ✓ Precomisionamiento: Pruebas que permiten certificar las instalaciones del proyecto, en etapa de operación inicial, sin carga real (en vacío) y/o con carga simulada (agua).
- ✓ Comisionamiento: Periodo en que los equipos e instalaciones se prueban como un conjunto completo, con carga real (diésel), ya sea, como sistema o subsistemas, verificando su funcionalidad y la sincronización de todos sus componentes.
- ✓ Puesta a Régimen: Periodo después de entregar la primera carga de combustible (diésel), incrementando gradualmente la capacidad de la planta hasta su capacidad nominal.

## 2.4 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo de un estanque de almacenamiento de diésel abarca, desde el diseño de ingeniería de detalle, hasta la operación de este activo.

### 2.4.1 Diseño a nivel de ingeniería de detalle.

El diseño a nivel de ingeniería de detalle (para construir), involucra en general, sin ser limitado ni exhaustivo, las siguientes consideraciones:

- ✓ Definición de la capacidad del estanque.
- ✓ Diseño de la disposición general de las instalaciones e infraestructura.
- ✓ Cálculos multidisciplinarios.
- ✓ Selección de materiales.
- ✓ Diseño de estándares y detalles constructivos.

Durante el diseño de ingeniería de detalle, el equipo de ingeniería define y desarrolla los criterios de diseño, especificaciones técnicas de los materiales, equipos, sistemas y subsistemas, planos de diseño, entre otros. Esta documentación denominada “entregables de ingeniería de detalle” define el proceso de compra del servicio de fabricación, construcción y puesta en marcha del equipo completo, incluido sus sistemas y subsistemas.

### 2.4.2 Fabricación.

La fabricación del estanque obedecerá primero que todo, a lo definido en la ingeniería de detalle, es decir, a la determinación de su capacidad de almacenamiento y características particulares de diseño de detalle. Debido a las dimensiones del estanque ( $D = 25 \text{ m}$  y  $H = 10 \text{ m}$ ), el proceso constructivo será desarrollado “en terreno”.

La fabricación de los componentes estructurales del estanque se llevará a cabo en maestranza, siendo, las siguientes actividades, sin ser limitadas ni exhaustivas, las más relevantes:

- ✓ Logística (compra, traslado y disposición de materiales).
- ✓ Preparación de material (corte y cilindrados de virolas, fabricación de boquillas y spools de drenaje).
- ✓ Fabricación de vigas y columnas
- ✓ Transporte de partes y componentes del estanque (incluido embalaje) al sitio final de construcción (terreno)
- ✓ Control de calidad.

### 2.4.3 Construcción.

Las actividades de construcción serán realizadas en terreno, debido a las dimensiones del estanque de almacenamiento. Estas deberán estar de acuerdo con las especificaciones del proyecto, procedimientos aprobados del Contratista y de acuerdo con las mejores prácticas constructivas.

Las actividades de esta fase de ejecución del proyecto, sin ser limitadas ni exhaustivas, son las siguientes:

- ✓ Recepción de equipos, materiales y componentes en obra. Cabe destacar que, durante esta actividad, el consultor **JS-ING** será el inspector técnico de obras, para el control del estado de recepción, aprobando o rechazando, si es el caso, cualquier componente, que, a su juicio experto, no cumpla con las especificaciones del proyecto o evidencien notoriamente un estado de defecto.
- ✓ Traslado de materiales y componentes desde las bodegas en terreno, hasta el sitio definitivo de instalación.
- ✓ Montaje mecánico – estructural.
  - ❖ Instalación de planchas de fondo.
  - ❖ Instalación de planchas del primer anillo del manto e instalación de sillas de anclaje y pernos de anclaje.
  - ❖ Instalación de restantes panchas de anillos del manto.
  - ❖ Instalación de anillo de coronamiento.
  - ❖ Instalación de columna central e intermedias.
  - ❖ Instalación de vigas de techo.
  - ❖ Instalación de planchas de techo.

- ❖ Instalación de accesorios y boquillas (manhole de manto y techo, venteo, boquilla de alimentación y descarga, línea de espuma, drenaje, control de nivel de líquido, entre otros). De acuerdo con la orientación de boquillas señaladas en los planos de montaje e instalación.
- ❖ Instalación de protección catódica
- ❖ Aplicación del esquema de pintura
- ✓ Construcción de pretil de contención de derrames.
- ✓ Construcción de fundaciones del estanque y de equipos y componentes multidisciplinarios.
- ✓ Instalación de protección catódica.

#### 2.4.4 Detalles constructivos.

Las figuras siguientes corresponden a representaciones referenciales del proceso constructivo del estanque de almacenamiento en cuestión, las cuales serán abordadas por la lógica constructiva. Aquí se supone, que se presentará la lógica constructiva sólo para el estanque propiamente tal y sus componentes, señalando, además, que las dimensiones mostradas son referenciales y propias del autor.

#### Planchas de Fondo

Las planchas de fondo serán instaladas de acuerdo con los planos de diseño de montaje del Contratista, sin embargo, a modo de referencia, se utilizará el esquema de montaje de la figura siguiente:



Figura 3: Esquema General de Instalación Planchas de Fondo.

### Planchas del Manto

Las planchas del manto (virolas de cada anillo) serán instaladas de acuerdo con los planos de diseño de montaje del Contratista, sin embargo, a modo de referencia, se utilizará el esquema de montaje de la figura siguiente:

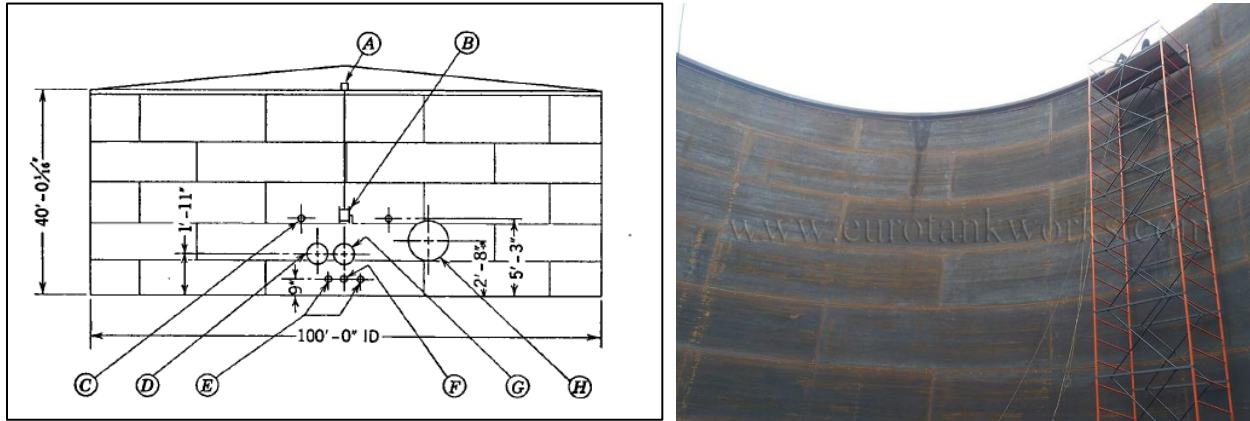


Figura 4: Esquema de Instalación Planchas del Manto (Traslapadas).

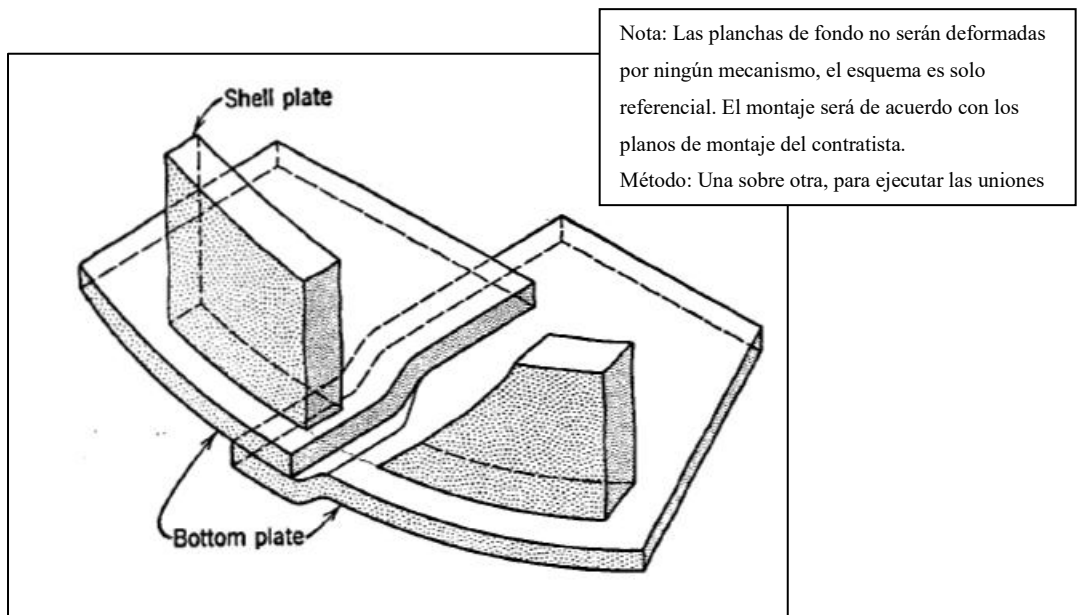


Figura 5: Esquema de Montaje Planchas de Fondo y Primer Anillo del Manto.

### Estructura Soportante de Techo

La estructura soportante de techo será montada de acuerdo con los planos de diseño de montaje del Contratista, sin embargo, a modo de referencia, se utilizará el esquema de montaje de la figura siguiente:



Figura 6: Esquemas Generales Montaje Estructura Soporte de Techo.

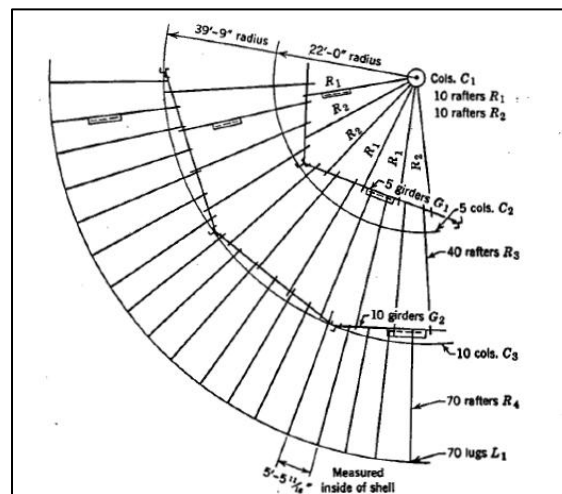


Figura 7: Esquema Montaje Vigas de Techo.

### Planchas de Techo

El montaje de las planchas de techo obedecerá al diseño de la disposición general de la estructura soportante de este y, estará de acuerdo con los planos de montaje del Contratista.



Figura 8: Esquema General Montaje de Planchas de Techo.

#### 2.4.5 Pruebas y ensayos.

La definición de las pruebas y ensayos a realizar obedece a una planificación de actividades de aseguramiento y control de calidad (QA/QC), descritas en el plan de inspección y ensayos (PIE), desarrollado durante la ingeniería de detalles, que sin ser limitadas ni exhaustivas son las siguientes:

- ✓ Prueba hidrostática.
- ✓ Ensayos no destructivos en soldaduras (radiografía y ultrasonido).
- ✓ Inspección visual.
- ✓ Inspección del grado de apriete (torque) en los pernos de conexión estructural y anclaje.  
De acuerdo con las recomendaciones descritas en las especificaciones técnicas del proyecto,
- ✓ Verificación de la circularidad y perpendicularidad de los anillos del manto (tolerancia).
- ✓ Verificación de perpendicularidad en columnas.
- ✓ Verificación de ejes y elevaciones.
- ✓ Evaluación de la aplicación del esquema de pintura.

#### 2.4.6 Descripción del equipo principal.

Con objeto de delimitar el presente trabajo de titulación, se describirá solamente el estanque de almacenamiento de diésel, siendo el equipo principal del proyecto. De esta forma, al visualizarlo como un activo crítico, se implementarán las condiciones de mantenibilidad y confiabilidad descritas y encomendadas por el Mandante.

#### No. TAG

100-TKF-002

#### Descripción Detallada del Equipo

Estanque de almacenamiento de diésel, tipo atmosférico, con fondo plano y techo cónico (9,5°) soportado.

#### Dimensiones Principales

Diámetro (D) 25 m.

Altura (H) 10 m

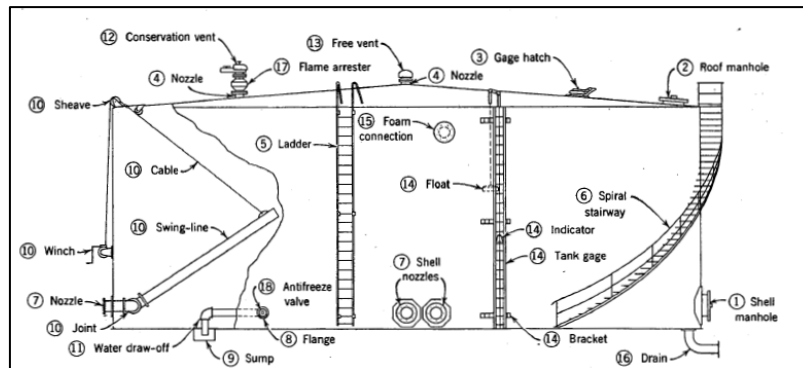


Figura 9: Esquema General Estanque de Almacenamiento de Diésel.

**CAPITULO 3: SOLUCIÓN**

### **3.1 PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO (PEP)**

El presente Plan de Ejecución del Proyecto, en adelante PEP, define los métodos y elementos de administración a implementar por el Contratista, para dirigir la ejecución del contrato encomendado por el Mandate.

### **3.2 PLAN DE CONSTRUCCIÓN**

El proyecto contempla una estrategia de construcción basada en planes por disciplina detallados en los siguientes ítems.

El plan, considera una etapa general para todas las disciplinas, que corresponde a la revisión de los entregables suministrados por el Mandante como base de construcción, entre ellos planos de diseño, de fabricación y montaje, modelo Tekla Structures, listados de materiales y pernos asociados, entre otros.

La revisión debe asegurar que se cuente con todos los detalles de montaje necesarios para el procedimiento constructivo como por ejemplo detalles de conexiones estructurales y soldaduras que se ejecutarán en terreno de acuerdo con los planos de diseño.

#### **3.2.1 Plan general de movimiento de tierras y obras civiles.**

##### **1<sup>era</sup> Etapa (Trazo y Replanteo)**

Consiste en demarcar perfectamente los ejes, elevaciones (niveles) y coordenadas del estanque, según planos del proyecto (ingeniería de detalle), considerando la topografía del terreno.

##### **2<sup>da</sup> Etapa (Movimientos de Tierra)**

Antes de comenzar el movimiento de tierras, se realizará un replanteo a nivel de superficie del terreno. La excavación es el movimiento de tierras realizado a cielo abierto y por medios manuales, utilizando palas, o en forma mecánica con excavadoras, cuyo objeto consiste en alcanzar los niveles de cimentaciones.

La ejecución en roca depende de la dureza de la roca; si esta es blanda, se puede excavar con máquinas con martillos rompedores o con explosivos. Si son rocas de gran dureza su excavación

solo se logra con explosivos. Para ello se contempla el uso de maquinaria de línea amarilla (Excavadora con accesorio de demolición para roca y camiones para su retiro).

### 3<sup>era</sup> Etapa (Colocación de Concreto)

Se considera que el estanque será instalado sobre un anillo de fundación, el cual es a base de concreto de alta resistencia y, al interior del anillo mezcla de hormigón según lo indicado en los planos y especificaciones de diseño.

### 4<sup>ta</sup> Etapa (Colocación de Acero de Refuerzo)

Las barras de refuerzo se doblarán en frío de acuerdo con los planos de diseño. Todo el acero de refuerzo se colocará en la posición exacta mostrada en los planos y deberá asegurarse firmemente para impedir su desplazamiento durante la colocación del concreto. Para el amarre de las varillas se utilizará alambre salvo indicación contraria y previa autorización. Este acero será utilizado en las distintas armaduras de refuerzo de cada elemento estructural de cimentación como zapata y anillo de fundación (sobre cimiento) embebidos en concreto luego del vaciado de las cimentaciones.

### 5<sup>ta</sup> Etapa (Encofrado y Desencofrado)

Una vez colocado el acero de refuerzo se arman los encofrados de cimentación, estos servirán de molde durante el vaciado del concreto, dándole las formas y las dimensiones que se especifican en los planos.

Los encofrados son estructuras sujetas a diversos tipos de cargas que pueden tener magnitudes muy considerables. Son tres las condiciones básicas a tenerse en cuenta en la construcción de encofrados; seguridad, precisión en las medidas y calidad. La calidad de los encofrados también está relacionada con la precisión de las medidas, con los alineamientos y el aplomado, así como con el acabado de las superficies de concreto. El encofrado será instalado de acuerdo con planos y documentos del Proyecto.

### 6<sup>ta</sup> Etapa (Habilitación y Colocación de Acero de Refuerzo)

Las varillas de refuerzo se colocarán de acuerdo con los planos de diseño y se mantendrán firmemente en su sitio durante el colocado, los estribos rodearán a las varillas longitudinales y quedarán firmemente unidos a ellas. El refuerzo más próximo al encofrado quedará separado del mismo, a la distancia necesaria para cumplir con el recubrimiento indicado en el proyecto mediante el uso de dados de concreto. Posterior a ello se encofrará cada elemento, colocando en donde corresponda los pernos de anclaje y/o insertos según indique los planos de diseño; para su correspondiente vaciado y desencofrado en un periodo no menor a 12 horas posteriores al colocado del concreto.

### 7<sup>ma</sup> Etapa (Relleno con Material Estructural)

Consiste en extender, humedecer y/o secar, conformar y compactar el material común producto de las excavaciones del proyecto, las cuales se explotan de fuentes de materiales o zonas de empréstito. Esta actividad se realiza para los trabajos de conformación del relleno de material común con alto grado de compactación que se haya subyacente o adyacente a la construcción de estructuras. Los rellenos estructurales constituyen una mejora de terreno, en donde se sustituye un terreno de deficientes condiciones geotécnicas o se mejora mediante el aporte de materiales controlados y compactados para que posteriormente apoyen o soporten sobre ellos las diferentes estructuras.

#### 3.2.2 Plan general de estructuras metálicas.

### 1<sup>era</sup> Etapa (Recepción de Componentes Estructurales)

Considera la gestión de recepción de estructuras en los sitios de acopio dispuestos en las instalaciones del proyecto, incluyendo los mecanismos de control y aseguramiento de Calidad, No conformidades, requerimientos de información (RFI) en caso de componentes faltantes o cualquier otro requerimiento y de notas de desviación. Aquí se establecen los controles de inspección de acuerdo con procedimientos estándar definidos por el proyecto. Se dispondrá de supervisores de calidad según requerimientos del proyecto cuando aplique.

De igual forma, se proveerán cantidades de pernos y pintura para retoques, de acuerdo con los códigos RAL especificados en los planos y especificaciones del Proyecto (5%) con el objeto de

resguardar cualquier pérdida y no genere un impacto ni gastos adicionales durante el proceso de construcción.

### 2<sup>da</sup> Etapa (Montaje de Estructuras Metálicas)

Esta etapa contempla el montaje de estructuras metálicas de acuerdo con los planos de montaje del Contratista, desarrollados según planos de diseño y especificaciones del proyecto.

El Proyecto contempla el pre-armado de estructuras en terreno, para lo cual se solicita coordinación con el Mandante, de modo que éste proporcione dos áreas o facilidades para este fin de 1 000 m<sup>2</sup> y 3 600 m<sup>2</sup> aproximadamente, ésta última se utilizará de igual manera para fabricaciones menores. Cada facilidad incluirá equipamiento mínimo para poder cumplir con actividades inherentes a la disciplina, incluyendo, pero no limitado a herramientas y consumibles básicos para la fabricación y montaje de estructuras menores, compresor, equipo oxicorte y soldadura, así mismo disponer de un área para el almacenamiento de pinturas para el retoque de las estructuras, acopio y estacionamiento. Es requisito fundamental el pre-armado de estructuras metálicas, así como también el mínimo de conexiones de terreno de tal forma de no impactar el cronograma de construcción.

Se efectuará el torqueo de pernos mediante llaves de torque, para asignar el adecuado apriete de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Se documentará adecuadamente a través de protocolos de torqueo e inspección. Por otro lado, ejecutará soldaduras y conexiones de terreno con personal calificado y de acuerdo con los detalles constructivos y de montaje señalado en los planos de montaje y, cuando no se disponga de aquello propondrá mediante una adecuada verificación de ingeniería el diseño más adecuado de ejecución, de manera de no impactar el cronograma de construcción.

El Mandante debe considerar y asegurar, que el desplazamiento por los accesos y caminos internos de la planta, para los vehículos livianos y pesados durante la ejecución de la construcción estén con sus capas de rodadura en condiciones óptimas de calidad y seguridad, con las debidas señalizaciones de velocidad y capacidad máxima de carga en caso de accesos y puentes. Cualquier tratamiento al estado de los accesos, caminos y puentes que no esté debidamente cubierto por el contrato y estimaciones del proyecto será un adicional, para lo cual se requerirá de la expresa autorización del Mandante.

Se deberá hacer cualquier mejoramiento, construir obras de arte (canalizaciones, contención de sistemas de aguas lluvias, etc.) y cualquier otra facilidad que no esté expresamente señalada en el contrato ni estimaciones del proyecto, adjuntando los respaldos técnicos y valorizaciones por el uso de recursos de diversa índole para aprobación del Mandante y su posterior ejecución.

### 3.2.3 Plan general de montaje planchas del estanque.

El montaje mecánico de un estanque de almacenamiento de diésel es un proceso que requiere precisión y cumplimiento de normas específicas para garantizar la seguridad, durabilidad y estabilidad estructural. A continuación, se presenta un plan general para la instalación de las planchas del manto, considerando las etapas clave y los aspectos técnicos a tener en cuenta.

#### Etapas del Montaje

##### A. Preparación del Terreno

- ✓ Nivelación y compactación del terreno.
- ✓ Verificación de las cotas y alineación de la base.
- ✓ Instalación de anclajes para el estanque.

##### B. Montaje de la Base

- ✓ Colocación de las planchas, asegurando la alineación y nivelación.
- ✓ Soldadura de las juntas, siguiendo los procedimientos establecidos por el contratista y señalados en planos de montaje.
- ✓ Inspección visual y por rayos X de las soldaduras.

##### C. Elevación y Montaje del Manto

- ✓ Utilización de equipos de elevación adecuados (grúas) para levantar las planchas.
- ✓ Alineación precisa de cada plancha con las anteriores.
- ✓ Soldadura de las juntas, siguiendo los procedimientos establecidos por el contratista y señalados en planos de montaje.
- ✓ Inspección de cada soldadura realizada.

##### D. Instalación de Refuerzos y Accesorios

- ✓ Colocación de refuerzos en las zonas de mayor esfuerzo, como esquinas y conexiones.
- ✓ Instalación de boquillas, manhole de manto y techo y otros accesorios.
- ✓ Soldadura de los accesorios al manto, siguiendo los procedimientos establecidos.

#### E. Prueba Hidrostática

- ✓ Llenado del estanque con agua hasta la altura de diseño.
- ✓ Inspección visual de las juntas y soldaduras en busca de fugas.
- ✓ Mantenimiento de la presión durante un tiempo determinado.

#### F. Limpieza y Pintura

- ✓ Limpieza interna y externa del estanque.
- ✓ Aplicación de una capa de imprimación y pintura anticorrosiva.

#### G. Consideraciones Técnicas

Norma API 650: Es la norma de referencia para el diseño y construcción de estanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados. Se deben seguir estrictamente todos los requisitos establecidos en esta norma.

- ✓ Soldadura: Utilizar procedimientos de soldadura calificados y electrodos adecuados para el material del estanque. Considerando lo establecido en planos de montaje y especificaciones técnicas de la ingeniería de detalle.
- ✓ Control de calidad: Realizar inspecciones visuales y no destructivas en todas las soldaduras.
- ✓ Seguridad: Implementar medidas de seguridad durante todo el proceso de montaje, como el uso de equipos de protección personal y señalización.
- ✓ Tolerancias: Cumplir con las tolerancias dimensionales establecidas en los planos de fabricación.

#### H. Documentación

Mantener un registro detallado de todas las actividades realizadas, incluyendo inspecciones y pruebas.

#### I. Equipos y Herramientas Necesarios

- ✓ Grúas y polipastos
- ✓ Máquinas de soldar
- ✓ Equipos de protección personal (EPP)
- ✓ Herramientas de medición (escuadras, niveles, cinta métrica)
- ✓ Equipos de inspección no destructiva (rayos X, líquidos penetrantes)

### 3.3 CAMINATAS DE TÉRMINO CONSTRUCCIÓN

Estas caminatas son inspecciones formales a las instalaciones materia del alcance de construcción, y en su fase final, cercana al 100% de termino; a fin de comprobar el avance de esta, coordinado y planificado para una determinada área del Proyecto.

En las caminatas se realiza una inspección visual de los componentes, sistemas y subsistema, a fin de verificar que la instalación está de acuerdo con los planos y especificaciones del Proyecto. En estas caminatas multidisciplinarias, participa personal **JS-ING**, de la supervisión (en caso la hubiere) y del Mandante.

A fin de cumplir con un recorrido eficiente, es importante que los participantes estén totalmente involucrados y familiarizados con el área, planos y especificaciones del Proyecto, de tal manera de evitar que se anoten en el listado de observaciones (punch list), puntos que no estén en el alcance de los términos del Proyecto o su priorización sea equivocada. Como resultado de esta Caminata se levanta un acta de detalles de terminación (DT) y se les asigna su respectiva prioridad y fecha de solución. La caminata convocada es para observar el estado de completitud de la construcción e identificar los detalles de terminaciones pendientes si los hay, independientemente de que hayan sido levantados en caminatas anteriores.

Las responsabilidades están asignadas de acuerdo con las actividades que debe realizar cada uno de los participantes en las caminatas, ellos serán los responsables de derivar y distribuir las funciones a su personal a cargo, según estimen conveniente. Se tendrá en cuenta para ello su obligatoriedad de cumplimiento y que estas responsabilidades indicadas son un marco básico y no limitante para su desarrollo y mejoramiento.

#### 3.3.1 Metodología de trabajo.

Se coordinarán inspecciones formales y planificadas en terreno que incluyen la participación del Mandante, Contratista y Consultor, según corresponda la etapa de entrega. El contratista, durante la caminata, será responsable y gestionará las siguientes actividades:

- ✓ Gestionar la ejecución de caminatas de construcción a los siguientes avances 75%, 90% y 95% de construcción con el Mandante. En esta se debe contar con los planos AS-BUILT (como construido), marcado en amarillo, el sector que involucra la caminata.
- ✓ Disponer del punch list con los detalles de término detectados en forma previa.
- ✓ Disponer de los planos de construcción asociados al área de la caminata.

- ✓ Tomar nota de los detalles de término y llenar el formato en todos sus campos, dejando registro fotográfico de cada uno de ellos, y el nombre del originador del detalle de término por si se requiere alguna aclaración futura.
- ✓ Entregar copia al área de calidad y construcción de los detalles de término recolectados en terreno con todas las firmas de los participantes de la Caminata.
- ✓ Responsable del documento original de registro de los detalles de término en terreno.
- ✓ Responsable de enviar el registro junto a la fotografía de cada punto a mejorar.
- ✓ Solicitar el cierre de detalles de término una vez levantado él o los puntos pendientes.
- ✓ Firmar el Acta de Asistencia.

Asimismo, se hará cargo de la implementación de este procedimiento en todo lo que indique como responsabilidad por Construcción. Gestionar que se cumpla con las responsabilidades indicadas en este procedimiento. Adicionalmente debe realizar las siguientes actividades asociadas a las Caminatas:

- ✓ Emite programa mensual de Caminatas.
- ✓ Revisa, evalúa y valida que la obra se encuentre en el porcentaje de avance adecuado para realización de la Caminata N°1 (75%) y Caminata N°2 (90 %) y N°3 (95%) con el Mandante asociada al término de la construcción.
- ✓ Envía Aviso con 48 horas a las participantes. Se identifica: Sistema, Fecha, Hora, lugar de encuentro, participantes, planos AS-BUILT marcado en amarillo indicando el área a caminar, punch list previo (si existe).
- ✓ Chequear en forma previa que los detalles de término detectados en revisiones anteriores se encuentren cerrados con anterioridad a la caminata.
- ✓ Revisa el armado y completitud de la carpeta de traspaso del sistema o subsistema a caminar.
- ✓ Coordina y resuelve en conjunto con el mandante los detalles de término con prioridad P3.
- ✓ Firmar el Acta de Asistencia.
- ✓ Valida la prioridad definida para cada detalle de término detectado.
- ✓ Valida fecha de compromiso de cierre de los detalles de término.
- ✓ En la caminata el 95%, correspondiente al termino de construcción, es responsable de levantar y gestionar los punch list y la lista de asistencia.

### 3.3.2 Clasificación de los detalles de terminación (DT).

Los detalles de terminación (DT) corresponden a una porción de trabajo pendiente, identificado durante una inspección o caminata a un componente o grupo de entregas, el cual es requerido por los documentos del diseño y/o alcance del contratista ejecutor de las obras. Estos DT deberían ser pendientes de bajo perfil constructivo “detalles” basados en la siguiente definición:

**Prioridad 1 (P1):** Se asignará esta prioridad a todos aquellos puntos que impidan la operación de un equipo o sistema, o signifiquen un riesgo potencial a la seguridad de las personas o equipos. El punto debe ser resuelto antes de cualquier aceptación.

**Prioridad 2 (P2):** Se dará esta prioridad a aquellos trabajos menores tanto en naturaleza como en garantía, y que no impiden la operación o no representan riesgo. Estos deberán ser resueltos antes de la aceptación y transferencia del sistema, salvo motivos de fuerza mayor que impidan su resolución, quedando el compromiso contractual de ejecución con fecha y responsable claramente definidos.

**Prioridad 3 (P3):** Son todos los requerimientos “necesidades o deseos” del Mandante nacido en la caminata y que están fuera del alcance del Proyecto. Presentado y respaldado los recursos adicionales y posterior a la aprobación del Mandante se iniciará la ejecución de estos requerimientos.

Las prioridades de término deben ser confirmadas por el grupo que lidera las caminatas, con el propósito de evitar errores u omisiones.

#### Detalles de Terminaciones de Acuerdo con su Estatus

- ✓ Abierto      Cuando un DT se encuentra dentro de la fecha programada de cierre.
- ✓ Atrasadas      Cuando un DT se encuentra fuera de los plazos establecidos para su cierre.
- ✓ Cerrado      Cuando el DT está superado. Para lograr esta condición se debe haber inspeccionado y validado por el ingeniero de terreno. Esta instancia debe estar respaldada mediante firma.

- ✓ **Pendiente** Cuando el DT aún no tiene su prioridad o fecha de compromiso de cierre asignado, también quedan en este estatus los DT en categoría P3, los cuales, una vez que estos sean definidos se reintegran a las categorías P1 o P2.

### 3.3.3 Categorías y participación de las caminatas.

La categorización y participación se hará de acuerdo con la siguiente tabla.

	Prioridad	75% construcción	90 % construcción	95 % construcción	Termino construcción
Responsable llamado a caminata					
Participantes	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
Resultado		Lista pendientes de construcción general	Lista pendientes de construcción para termino construcción	Lista mínima de pendientes para termino de construcción	revisión final de pendientes de construcción. Certificado de termino construcción

Tabla 1: Plantilla Categorización Caminatas de Construcción.

La programación de caminatas de término de construcción se hará de acuerdo con la siguiente tabla.

<b>PROGRAMA DE CAMINATAS</b>						
<b>SISTEMA</b>		<b>PRIORIDAD</b>	<b>75% Const.</b>	<b>90-95% Const.</b>	<b>95% Const.</b>	<b>Termino Const.</b>
		Responsable Llamado a caminata				
<b>No. SUB-SISTEMA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	Participante				

Tabla 2: Plantilla Programa de Caminatas de Construcción.

ACTA DETALLE DE TERMINACIONES EN TERRENO														
ITEM	CAMINATA	No. AREA	DESCRIPCION AREA	No. SISTEMA	No. SUB-SISTEMA	ORIGINDOR	ACCION PENDIENTE	PRIORIDAD	FECHA COMPROMISO	RESPONSABLE	CERRADO POR	ESTATUS	FECHA CIERRE	OBSERVACION

Tabla 3: Plantilla Acta de Terminaciones en Terreno.

### 3.4 PLAN DE PRECOMISIONAMIENTO Y COMISIONAMIENTO

Proporciona una visión global sobre el desarrollo, enfoque, definiciones, responsabilidades de los participantes, medidas de seguridad y temas relacionados.

Los esfuerzos adicionales en tiempo y en recursos que se utilicen en planificar, inspeccionar y precomisionar, irán en directo beneficio de la planta que entrará en operación.

#### 3.4.1 Desarrollo y enfoque del plan.

El cumplimiento ordenado de las instalaciones, el precomisionamiento exitoso y la transferencia del Cuidado y Custodia al Mandante, es el objetivo de la metodología de Precomisionamiento.

Al término de la construcción, todos los componentes de un Sistema o Subsistema definido se transferirán al grupo de precomisionamiento aprobado previamente por el Mandante, el cual probará y precomisionará el estanque. De esta manera se podrán ejecutar las pruebas preoperacionales sin o con carga simulada.

El grupo de precomisionamiento preparará, ordenará y entregará los Paquetes de Traspaso de Precomisionamiento.

Los componentes del sistema se definen siguiendo la lógica operacional, el layout de la planta, el proceso, los equipos, las cañerías, los ítems eléctricos y los sistemas de control e instrumentación. Los Paquetes de Traspaso (TOP), forman la base y el método mediante los cuales se logra la entrega de la planta a la custodia del Mandante. El objetivo es lograr el cumplimiento mecánico del sistema completo.

#### 3.4.2 Programa de precomisionamiento.

Se revisará toda la documentación contenida en los Paquetes de Entrega de Construcción (CRP), antes de aceptar un sistema o instalación. La caminata de traspaso de Construcción a Precomisionamiento, inspección y generación del “punch list” de equipos individuales es realizada

durante la fase de Precomisionamiento. Esto permitirá demostrar que la instalación y la capacidad operacional de equipos individuales son satisfactorias. También proveerá la línea base para la custodia, comisionamiento y operación por parte del Mandante y la implementación de los programas de mantenimiento.

El programa de Precomisionamiento verifica que un equipo esté completo según las especificaciones, que se haya sido probado y que pueda operarse en forma segura. El grupo de Precomisionamiento verificará que se hayan cumplido todos los pasos requeridos para un “Comisionamiento” oportuno y seguro.

### 3.4.3 Responsabilidades.

#### Responsabilidad del Equipo de Construcción

El equipo de construcción administrará y coordinará el montaje de todas las instalaciones del proyecto y equipos de acuerdo con especificaciones y planos del proyecto. Para lograr que las actividades y pruebas de precomisionamiento, en vacío y/o con carga simulada (agua), avancen de una manera eficaz, este grupo establecerá y logrará fechas de término para sistemas y subsistemas, las prioridades definidas por Precomisionamiento y el orden lógico de estas pruebas.

El equipo de construcción asegurará que estos cuenten con la mano de obra suficiente para completar oportunamente todas las actividades del Punch list. Estos deberán contar además con suficiente mano de obra para realizar rápidamente las modificaciones que se requieran durante las fases de precomisionamiento. Toda modificación deberá ser aprobada por el Mandante.

La construcción debe seguir el enfoque de sistemas en las actividades de planificación final. Luego de finalizar cada sistema o subsistema, el grupo de construcción realizará un recorrido del sistema con el grupo de precomisionamiento y con el Mandante. En esta ocasión el grupo de construcción deberá demostrar que la construcción de las instalaciones del referido sistema ha sido completada haciendo entrega formal de un paquete de documentos, CRP, que avale lo anterior el que quedará en poder de QA/QC hasta que se haya realizado el precomisionamiento. Luego de ser aceptado el Término de la Construcción del sistema y su correspondiente documentación, la custodia de este se transferirá a Precomisionamiento junto con el “punch list”, según el procedimiento de custodia utilizando la tarjeta de color amarilla. Este cambio de custodia no releva a Construcción de la obligación de corregir las deficiencias y los ítems de punch list encontrados durante el precomisionamiento.

### Responsabilidad del Grupo de Precomisionamiento

El equipo de precomisionamiento emitirá y someterá para aprobación un Plan de Pruebas de Precomisionamiento y Pruebas en vacío y/o con carga simulada. Este plan definirá todos los métodos, documentación y procedimientos a ser usados en esta etapa del proyecto. También estará incluida la mano de obra requerida, organigramas, duración de actividad y métodos de reporte del progreso de la labor realizada.

En la fase de pruebas de precomisionamiento, el equipo deberá inspeccionar y/o probar, siempre que sea posible, equipos individuales y sistemas de proceso con agua. Para los propósitos de este proyecto esto se considera como pruebas “en vacío y/o con carga simulada”, las que deben probar la funcionalidad del equipo y sus sistemas.

Todos los protocolos y pruebas se documentarán y serán incluidas en el Paquete de Traspaso Precomisionamiento (PRP) del sistema para la entrega posterior al Mandante. Estas pruebas certifican que todos los componentes de un sistema son seguros y funcionales antes de la introducción de producto a ese sistema.

El Grupo de Precomisionamiento deberá tener total disponibilidad de la mano de obra y materiales, necesarios para realizar modificaciones temporales de la planta, a fin de demostrar la capacidad funcional del sistema y sus componentes y serán ejecutadas por el grupo de construcción.

Ningún equipo se operará sin la instalación previa y prueba de los dispositivos o sistemas de seguridad. Estos ítems se probarán para ver su funcionalidad, confiabilidad y las pruebas serán documentadas antes de la operación del equipo. Ningún equipo se operará cuando aplique sin la instalación previa y prueba de los dispositivos de detección y equipos de combate contra incendio. Estos ítems se probarán para ver su funcionalidad. En casos cuando los dispositivos no estén instalados, se tomarán las apropiadas medidas y control de riesgos.

Ningún equipo se operará si no es desde la sala de control, con excepción de aquellos equipos que requieran ser operados desde el control local.

Al término de la etapa de precomisionamiento y pruebas en vacío, el grupo de precomisionamiento, fijará y realizará un recorrido del Sistema con el personal de precomisionamiento y del Mandante. Se preparará un punch list y se emitirá un Certificado de las Pruebas de Precomisionamiento. Luego de que haya acuerdo entre todas las partes, el sistema será considerado transferido a la etapa de Comisionamiento. Se cambiarán entonces las etiquetas de custodia de color amarilla a verde, para indicar que se pasa a la etapa de Comisionamiento.

Las responsabilidades del Grupo de Precomisionamiento durante la etapa de precomisionamiento y pruebas en vacío incluirán, pero no se limitarán a lo siguiente:

- ✓ Revisión de protocolos críticos para el precomisionamiento del Paquete de Entrega y la documentación de QA/QC suministrada por el Grupo de Construcción.
- ✓ Desarrollar y coordinar el programa de pruebas.
- ✓ Planear y coordinar las visitas y las actividades en terreno de los representantes técnicos de los Proveedores.
- ✓ Compilar y mantener la documentación de pruebas de Precomisionamiento y pruebas en vacío y/o con carga simulada.
- ✓ Generar los informes de avance de precomisionamiento y pruebas en vacío y/o con carga simulada.
- ✓ Generar y mantener el Punch list maestro. Ejecutar y verificar correcciones.
- ✓ Inspeccionar, probar y documentar todos los equipos y sistemas de proceso.
- ✓ Desarrollar y mantener el registro de puentes eléctricos (Jumpers).
- ✓ Realizar coordinación de chequeo de todos los lazos de control por simulación del proceso.
- ✓ Manejar las pruebas de alarmas.
- ✓ Coordinar pruebas funcionales a todos los programas configurados, gráficos, enclavamientos de seguridad e interfaces.
- ✓ Revisión y generación de los paquetes de entrega.
- ✓ Demostrar que los equipos y sistemas están en condiciones de operar.
- ✓ La resolución de problemas como fallas de equipos, deficiencias de diseño y defectos de instalación.
- ✓ Supervisión de todos los representantes especializados de los proveedores para las pruebas en vacío y/o con carga simulada.
- ✓ Desarrollar y mantener el cronograma de las pruebas.
- ✓ Planear y desarrollar las pruebas en vacío y/o con carga simulada.
- ✓ Verificación y resolución de las excepciones del traspaso y el punch list.

### Responsabilidad del Grupo Ingeniería

El grupo de la Ingeniería asistirá al grupo de Precomisionamiento en determinar la secuencia más ventajosa de traspaso de sistemas e instalaciones.

Los resultados se documentarán y se incorporarán en los planes y programas del Proyecto. El grupo de ingeniería dará ayuda en la resolución oportuna de problemas encontrados durante la etapa de Precomisionamiento, pruebas en vacío y/o con carga simulada de sistemas, subsistemas e instalaciones.

Para el precomisionamiento, las responsabilidades del grupo de ingeniería incluirán, pero no se limitarán a lo siguiente:

- ✓ Proporcionar planos solicitados, cálculos y datos para apoyar las actividades de precomisionamiento.
- ✓ Solucionar problemas de ingeniería y diseño que aparezcan durante el precomisionamiento.
- ✓ Coordinar revisión, aprobar e implementar cambios requeridos en el diseño que sean solicitados.
- ✓ Revisar, aprobar los planos marcados en rojo de las condiciones as-built junto con construcción.
- ✓ Posterior a la revisión del plan de ejecución del proyecto (PEP) y aprobación de la metodología y recursos, emitirá un listado de equipos y suministros para el precomisionamiento.

### **3.5 DOCUMENTACIÓN Y PLANOS AS-BUILT**

Durante la Construcción y durante la fase de Precomisionamiento existe la posibilidad de ocurrencia de modificaciones, las que serán marcadas en un juego de planos maestros de planos As-built (como construido). Los planos marcados con líneas rojas (red Line) indicando las condiciones as-built serán enviados en conjunto con los paquetes de entrega para ser usados en la fase de Comisionamiento. Todas las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo las modificaciones serán marcadas y remitidas para su revisión final. Copias serán remitidas en formato duro. La responsabilidad para esta actividad corresponde al grupo de Construcción o Precomisionamiento dependiendo de la fase.

El total de la documentación dependiendo de la obra incluirá como mínimo lo siguiente:

- ✓ Planos mecánicos (disposiciones generales y planos de detalle).
- ✓ Unilineales eléctricos, elementales, disposición malla de tierra y ductos enterrados.
- ✓ Planos de control.
- ✓ Diagramas de Lazos.
- ✓ Planos de Cañería e Instrumentación P&ID.
- ✓ Planos de disposición de cañerías.
- ✓ Listado de Equipos.
- ✓ Disposición de Instrumentos.
- ✓ Listado de Circuitos.

### **3.6 VERIFICACIÓN Y TRASPASO**

La verificación de los sistemas coordinada cuando corresponda y realizada por el grupo de precomisionamiento demostrará al Mandante que el sistema está completo y listo para iniciar la etapa de Comisionamiento. Todos los asuntos pendientes relacionados con seguridad y operación deberán ser resueltos inmediatamente.

Los Paquetes de Traspaso (TOP) recibidos de la etapa de precomisionamiento contendrán los resultados de todas las pruebas, datos de calibración y documentación. Esta información, sumada a la documentación generada durante la etapa de construcción, será compilada, ordenada y remitida a la brevedad posible al Mandante.

#### **3.6.1 Tarjeta de custodia e identificación.**

Durante la construcción, precomisionamiento, pruebas en vacío y/o con carga simulada será necesario tener a diferentes grupos trabajando en un mismo entorno. Con el objeto de identificar qué grupo tiene el cuidado, custodia y control de los equipos individuales y el estado actual, se implementará un medio de identificación de fácil comprensión para todo el personal del proyecto. Esto es crítico para la seguridad del personal y equipos en el proyecto. Como complemento, será implementado un sistema de Tarjetas para Custodia, el cual usará colores para indicar el grupo que tiene la custodia. Ningún grupo trabajará en equipos bajo custodia de otro grupo sin un permiso por escrito. Un breve procedimiento ha sido desarrollado para describir la instalación y remoción de Tarjetas.

El estado de la custodia se mantendrá en la base de datos de precomisionamiento para rastrear y reportar el propósito de ella. El criterio básico para este procedimiento es el siguiente:

Tarjeta Gris: Bajo la sola custodia del Grupo de Construcción. Será instalada y registrada por el Grupo de Construcción una vez que el equipo esté instalado. Será removida solamente una vez que se acepte el Certificado de Terminación de la Construcción. Esta tarjeta significa que el equipo está bajo custodia de Construcción y que no debe ser operado ni intervenido.

Tarjeta Amarilla: Bajo la sola custodia del Grupo de Precomisionamiento. Será instalada y registrada por el Grupo de Precomisionamiento después de la aceptación del Certificado de Término de la Construcción. Será removida sólo después de que se haya cumplido con la etapa de Precomisionamiento y pruebas en vacío y/o con carga simulada y se haya aceptado el Término Mecánico. Esta etiqueta significará que el equipo está bajo custodia del Grupo de Precomisionamiento con el propósito de realizar el Precomisionamiento y las pruebas en vacío y/o con carga simuladas y que él o los equipos no serán operados por otros grupos.

Tarjeta Verde: Bajo la sola custodia del Grupo de Comisionamiento. Será instalada por el Grupo de Comisionamiento sólo después de haberse terminado las pruebas de Precomisionamiento en vacío y/o con carga simulada. Esta tarjeta significa que este equipo o instalaciones están en la etapa de Comisionamiento y que no podrán ser operados por otros grupos.

### 3.6.2 Procedimiento de bloqueo de equipos.

El Procedimiento de Bloqueo / Etiquetado de equipos tiene la intención de proteger al personal de lesiones y de daños a equipos debido a una energización inadvertida. Es obligatorio que todo el personal de grupo y supervisores estén familiarizados con el programa y reconozcan las etiquetas y medios de seguridad utilizados. Se propondrá un procedimiento de Aislamiento, Bloqueo y Custodia de Equipos.

### **3.7 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN**

#### **3.7.1 Etapa de construcción.**

El Grupo de Precomisionamiento identificará los sistemas y subsistemas y cada uno de sus componentes, con un nombre y un número de identificación que serán relacionados en un Listado de Sistemas.

Se desarrollarán planos para identificar los límites de cada Sistema y Subsistema. Todos los componentes mecánicos, eléctricos, de instrumentación y de líneas de cañerías, que estén dentro de los límites de batería del proyecto

Cuando las instalaciones hayan sido montadas a un nivel suficiente en cada área, la construcción deberá enfocarse más a la tarea de finalizar sistemas. Durante la planificación es importante tanto para el Grupo de Construcción como para el de Precomisionamiento revisar en conjunto el programa de construcción. El propósito de esta revisión es asegurar que el Programa Maestro se adapte a las prioridades y fechas finales de Precomisionamiento. Este enfoque dará la posibilidad de completar a tiempo los sistemas y en un orden secuencial permitiendo efectuar Precomisionamiento y pruebas mientras las actividades de construcción estarán en ejecución en otras áreas.

En cuanto el equipo haya sido montado, se le colocará una etiqueta de custodia de color gris, de acuerdo con el procedimiento correspondiente.

El Grupo de Construcción generará un listado de inspecciones y de registros QA/QC (aseguramiento y control de calidad) para cada equipo. Durante la construcción se completarán las inspecciones y las pruebas, y se entregarán los documentos correspondientes al efectuar el traspaso al Grupo de Precomisionamiento.

El Grupo de Construcción ejecutará las instalaciones de acuerdo con planos, especificaciones y manuales del proyecto.

Previo a la entrega del cuidado, custodia y control de los sistemas al Grupo de Precomisionamiento el Grupo de Construcción programará y notificará el programa de recorridos por los Sistemas. El recorrido de inspección será hecho asegurando así que el programa del Proyecto se mantenga. Durante el recorrido el Grupo de QA/QC generará y administrará un listado de pendientes maestro (Punch list Interno) con observaciones provenientes de todos los grupos participantes.

La notificación del recorrido de Sistemas se hará con 48 horas de antelación, indicando sistemas y subsistemas, su ubicación y la hora de inicio. Los participantes serán las personas designadas por los Grupo de Construcción y de Precomisionamiento. Para completar en forma eficiente el recorrido de verificación, el número de participantes deberá ser el mínimo. Los participantes deberán estar familiarizados con los elementos que constituyen los Sistemas y Subsistemas, con los planos y las especificaciones del proyecto de manera de evitar que haya elementos faltantes y que se agreguen a la lista de pendientes ítems que no sean del alcance del proyecto.

### 3.7.2 Etapa de precomisionamiento y pruebas de vacío y/o con carga simulada.

Luego de la aprobación y firma del certificado del término de la construcción, el grupo de precomisionamiento se hará cargo de la custodia, cuidado y control de los sistemas para realizar el precomisionamiento y las pruebas en vacío y/o con carga simulada. Las etiquetas de color gris serán removidas y cambiadas por otras de color amarillo. El bloqueo de todos los equipos se hará de acuerdo con procedimientos.

El grupo de precomisionamiento iniciará las pruebas de precomisionamiento y pruebas en vacío y hará la “operación inicial” de los equipos de acuerdo con los requerimientos de las pruebas de precomisionamiento y pruebas en vacío. Se seguirán todos los procedimientos de pruebas y puesta en operación de los equipos indicados por el fabricante. Una vez que se considere que las pruebas han sido completadas todos los formularios serán firmados por los participantes.

Se ejecutará un análisis de trabajo seguro (ATS) para cada sistema con el fin de detectar cualquier riesgo y definir los pasos que deben ser dados para salvaguardar al personal y/o los equipos. Todos los by-pass y conexiones temporales requeridos para probar y operar sistemas individuales o grupos de sistemas serán instalados y registrados.

Siguiendo procedimientos establecidos, el sistema será puesto en operación como un proceso mediante controles locales y remotos. Los enclavamientos de seguridad y las alarmas serán probados funcionalmente. Durante estas pruebas se realizará el ajuste y afinamiento primario de los sistemas, y se establecerán los puntos de operación (settings), lo que será documentado.

Se registrarán todas las actividades realizadas y se documentarán todas las acciones correctivas tomadas en relación con los problemas operacionales.

Se desarrollará previa a la aprobación del Mandante, una lista de las pruebas en vacío y/o con carga simulada de los sistemas definidos.

Con el propósito de llevar a cabo dichas pruebas, el grupo de precomisionamiento coordinará la participación de todos los responsables de la realización de dichas pruebas. Durante esta fase, los repuestos de precomisionamiento (suministrados por el Mandante) serán sacados de la bodega mediante la presentación de una requisición de materiales la que debe tener el correspondiente código de costo y la debida autorización. Los repuestos no pueden ser sacados del almacén la bodega o de lugar alguno de almacenamiento sin la autorización del Mandante y sin haberlo hecho mediante requisición.

El grupo de QA/QC procederá a registrar todos los protocolos que han sido completados. Las copias originales firmadas se incluirán en el paquete de traspaso de precomisionamiento. El grupo de precomisionamiento compilará todos los planos red-lines para incluirlos en el paquete de traspaso (TOP), el cual se irá completando y mantenido para cada sistema hasta la entrega del paquete definitivo.

El grupo de precomisionamiento se asegurará que las correcciones a ejecutar en base a lo indicado por el listado de pendientes maestro (Punch list interno), se lleve a cabo en el tiempo adecuado. Para la entrega de la documentación asociada a cada sistema el grupo de precomisionamiento organizará y completará un completo paquete de traspaso (PRP) que contendrá todos los registros y documentos disponibles de los sistemas a esa fecha. Estos deben incluir como mínimo lo siguiente:

- ✓ Certificados de termino o traspaso (precomisionamiento).
- ✓ Transferencias de llaves.
- ✓ Punch list y registro de caminatas (precomisionamiento).
- ✓ Descripción del sistema o subsistema.
- ✓ Planos identificando los límites de baterías.
- ✓ Lista de equipos mecánicos.
- ✓ Lista de equipos eléctricos.
- ✓ Lista de instrumentos.
- ✓ Lista de cañerías.
- ✓ Lista de repuestos y herramientas.
- ✓ Precomisionamiento equipos mecánicos.

- ✓ Lista de equipos y matriz de protocolos.
- ✓ Pruebas operacionales.
- ✓ Pruebas operacionales vendors.
- ✓ Precomisionamiento equipos eléctricos.
- ✓ Lista de equipos y matriz de protocolos.
- ✓ Chequeo o pruebas operacionales.
- ✓ Chequeo o pruebas operacionales vendors.
- ✓ Precomisionamiento equipos instrumentación.
- ✓ Lista de equipos y matriz de protocolos.
- ✓ Pruebas funcionales de lazo.
- ✓ Pruebas operacionales o funcionales.
- ✓ Precomisionamiento sistema de control.
- ✓ Pruebas operacionales o funcionales.
- ✓ Lista y copia de planos unilineales marcados en color amarillo.
- ✓ Lista de manuales de operación, mantención e instalación vendors.
- ✓ Listado y planos red lines y as-built (todas las disciplinas).

Posterior al término de las actividades precomisionamiento, el grupo QA/QC emitirá una notificación del recorrido por sistemas, la que se hará con 48 horas de antelación a la fecha de realización de este, indicará los sistemas y subsistemas involucrados, la ubicación de éstos y la hora de realización. Los participantes incluirán como mínimo a los representantes designados de los grupos de precomisionamiento, construcción y de operaciones del Mandante. El número de participantes para la inspección programada, debe ser el mínimo para garantizar su eficiencia.

El grupo de operaciones del Mandante será testigo y verificará que los sistemas estén listos y operativos para proceder con el comisionamiento por parte del Mandante. Durante el recorrido, todos los grupos involucrados podrán incorporar nuevos ítems al Punch list.

Después del recorrido, el líder de precomisionamiento programará una reunión en conjunto con operaciones del Mandante y construcción, a modo de conciliar el Punch list. Recién entonces se transferirá el paquete de traspaso (PRP) al Mandante para su revisión, en conjunto con los protocolos de recepción mecánica de los distintos sistemas y/o subsistemas a entregar, los que serán cubiertos por un certificado de cumplimiento mecánico. Los certificados deberán

corresponder en cada caso, a cada uno de los términos mecánicos separados que fueron definidos para las instalaciones del proyecto.

El grupo de precomisionamiento preparará:

- ✓ Planos Marcado con los límites de los Sistemas.
- ✓ Matriz de Responsabilidad y Entrega del Proyecto al Mandante.
- ✓ Reportes de avance.
- ✓ Diagrama de flujo del proceso de cumplimiento mecánico y precomisionamiento.

### **3.8 CONTROL DE CALIDAD**

El Control de Calidad se desarrollará conforme a las actividades, protocolos y procedimientos definidos en el “Plan de Control de Calidad”.

Se desarrollará un programa de calidad específico de terreno que cumpla con los requisitos de calidad delineados en este Plan de Ejecución del Proyecto (PEP) y el Sistema Integrado de Gestión de Calidad.

Mediante el Plan de Control de Calidad y el Plan de Puntos de Inspección y ensayos, se implementarán los lineamientos para el Control de Calidad Técnico, a través del cumplimiento de lo establecido en las especificaciones técnicas y diseño de ingeniería del proyecto, así como los estándares y normas constructivas aplicables.

Se desarrollará la Calidad de Gestión, cumpliendo los requisitos, procedimientos y normativa, fijándose los siguientes objetivos:

- ✓ Máximo cumplimiento en Seguridad, Salud, cuidado al Medio Ambiente y Relaciones comunitarias.
- ✓ Máxima Calidad Técnica.
- ✓ Óptimo Plazo de Ejecución.
- ✓ Máxima Satisfacción de Mandante.
- ✓ Máxima Satisfacción de Colaboradores y Proveedores.

El Control de Calidad Técnico, se gestionará para el control de las actividades en terreno, asociado al cumplimiento de lo indicado en los planos, especificaciones técnicas y las normas vigentes, por lo que se tendrá en cuenta lo siguiente:

CONTROLES DE CALIDAD TÉCNICOS		Fases de Control – Sectores						
		Manto	Fondo	Techo	Estructura soportante	Boquillas	Sistemas de control	Sistema eléctrico
Disciplinas	Mecánica	X	X	X	X	X	-	-
	Civil - Estructural	X	X	X	X	-	-	-
	Electricidad	-	-	-	-	-	-	X
	Sistemas de control e instrumentación	-	-	-	-	-	X	-
	Cañerías	-	-	-	-	X	-	-

Tabla 4: Esquema Fases de Control de Calidad en Estanque.

DISCIPLINA	PROTOCOLOS - CONTROLES
Movimiento de Tierras	Trazo y replanteo
	Verificación topográfica
	Aceptación de rellenos y compactación
	Liberación de área de corte y excavación
Obras Civiles	Protocolo de pre vaciado de concreto
	Colocación de acero - Colocación de Encofrado y Vaciado de Concreto
Obras Civiles	Liberación de concreto fresco
	Post vaciado de concreto
	Control de rotura de probetas
	Instalación de Pernos de Anclaje
Estructuras Metálicas, Equipos y tuberías	Verificación de materiales
	Control Dimensional
	Inspección Visual de Soldadura
	Inspección de Torque de Pernos
	Control de Verticalidad
	Control de Nivelación
	Control de Alineamiento
Inspección de Pintado de Estructuras	
Instalaciones eléctricas	Verificación de materiales
	Inspección de Tendido de Conductor
	Inspección de Soldadura Cadweld en Terreno
	Verificación de Continuidad de Malla a Tierra
	Inspección de Pozos a Tierra

Tabla 5: Esquema Planilla Protocolo Controles.

Dentro de las actividades de calidad técnica se incluyen:

- ✓ Inspecciones y Pruebas (Detalladas en el Plan de Puntos de Inspección).
- ✓ Programa de Ensayos No Destructivos (NDT).
- ✓ Participación de Construcción en otras Actividades de Calidad.

Se realizará el Aseguramiento de Calidad de las actividades constructivas para garantizar el cumplimiento de la Calidad en el Proyecto, por lo que se relaciona con la gestión y anticipación de estas actividades. En ese sentido, se enlista los Procedimientos que serán necesarios desarrollar para el Cumplimiento del Control de Calidad:

N.º	Documentos	Tipo de Documento					Código
		MAN	PLAN	PROC	INST	TAR	
<b>PROCEDIMIENTOS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD TÉCNICA</b>							
1	Procedimiento Trazo y Replanteo Topográfico			X			
2	Procedimiento de Corte y Excavación			X			
3	Procedimiento de Relleno y Compactación			X			
4	Procedimiento Operación de Densímetro Nuclear			X			
5	Suministro y Colocación de Concreto			X			
6	Instalación de Pernos de Anclaje			X			
7	Procedimiento de Instalación de Puesta a tierra			X			
8	Procedimiento de Instalación de Tubería			X			
9	Montaje de Estructuras Metálicas (Columna central e intermedias, vigas soportantes de techo y sillas de anclaje)			X			
10	Montaje de planchas (manto, fondo y techo)			X			
11	Procedimiento para Tendido de Cables			X			
12	Procedimiento de Instalación para Equipos y Conductores Eléctricos			X			
13	Procedimiento de Montaje de Equipamiento Mecánico, Eléctrico y de Sistemas de Control e Instrumentación			X			
14	Presentación elaboración de Dossier de Calidad del Proyecto			X			
15	Movilización Desmovilización				X		
16	Dossier de Calidad	X					

Tabla 6: Esquema Planilla Procedimientos de Aseguramiento de Calidad Técnica.

Se aplicará un Sistema Integrado de Gestión de Calidad, el cual permitirá ordenar los procesos y subprocesos de dirección durante las fases de desarrollo del proyecto. En ese sentido, se aplicará los siguientes procedimientos:

- ✓ Elaboración y control de documentos y formatos.
- ✓ Control de Registros y Archivos.
- ✓ Control de No Conformidades.
- ✓ Procedimiento para el Control y Tratamiento de Acciones Correctivas y Preventivas.
- ✓ Control de Equipos de Medición y Pruebas.
- ✓ Auditorías Internas.
- ✓ Atención de Reclamos.
- ✓ Identificación, Acceso y Evaluación del Cumplimiento de los Requisitos Legales y Otros.
- ✓ Capacitaciones de Calidad.
- ✓ Lecciones aprendidas.
- ✓ Gestión de Compras.
- ✓ Entrega de Documentación (Carpeta de traspaso).
- ✓ Dossier de Calidad.

### 3.8.1 Descripción del plan de seguridad.

Se implementarán las herramientas para la gestión de seguridad, siguientes:

#### IPERC (Identificación de peligros, evaluación de riesgos, y sus controles)

- ✓ Se elaborarán IPERC, los que serán difundidos a todos los trabajadores según, con el fin de que se implementen todos los controles establecidos en la etapa de planificación.
- ✓ Optimizar la presencia de los Supervisores de Seguridad en Terreno.
- ✓ Se implementará el programa de actividades para los supervisores.
- ✓ Se monitoreará el cumplimiento del Plan de Seguridad.
- ✓ Se realizarán auditorías internas por parte de los supervisores de Seguridad.
- ✓ Se realizarán inspecciones cruzadas de seguridad con los especialistas de Seguridad del Mandante.

### Entrenamiento y Capacitación

- ✓ Capacitaciones en riesgos específicos (altura, izaje, zanjas, materiales peligrosos, tránsito, trabajos nocturnos, etc.).

Todos los cursos serán dictados por un entrenador especializado y certificado, aprobado por el Mandante.

### Desarrollo de Procedimientos e Instructivos de Trabajo Seguro (PITS)

- ✓ Programar la elaboración de los PITS de las tareas en cada área de trabajo formando equipos multidisciplinarios.
- ✓ Generar la lista maestra de PITS.
- ✓ Entregar y difundir entre el personal los PITS de las tareas a realizar.

### Controles para problemas de Fatiga

- ✓ Asegurar mediante las reuniones previas al inicio del proyecto que se incluyan controles adecuados dentro de la evaluación de riesgos del proyecto.
- ✓ Definir horarios y turnos de trabajo incluidos los entrenamientos.
- ✓ Cumplir adecuadamente horarios del transporte de personal.
- ✓ Cumplir sistema de descanso durante la duración del proyecto (Roster).
- ✓ Asegurar que los cursos de entrenamiento se den dentro de la jornada del trabajo.

### **3.9 INNOVACIONES TECNOLÓGICAS**

La industria del almacenamiento de combustibles, y específicamente el almacenamiento de diésel, enfrenta constantes desafíos en cuanto a seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo. Los estanques atmosféricos, ampliamente utilizados para este propósito, requieren un mantenimiento riguroso para prevenir fallas, fugas, corrosión y otros incidentes que puedan generar pérdidas económicas, daños ambientales y riesgos para la seguridad humana. En este contexto, la innovación tecnológica emerge como un factor clave para optimizar la gestión del mantenimiento, permitiendo una monitorización más precisa, una detección temprana de problemas y una planificación más eficiente de las intervenciones. La incorporación de sistemas de georreferenciación, escaneo láser con nube de puntos, el uso de drones y la implementación de gemelos digitales representan avances significativos que ofrecen la posibilidad de transformar la forma en que se inspeccionan, mantienen y operan estos activos críticos. Estas tecnologías no solo mejoran la seguridad y la eficiencia, sino que también contribuyen a la sostenibilidad al minimizar el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos. A continuación, se explorarán en detalle estas innovaciones y su aplicación específica a los estanques de almacenamiento de diésel, destacando sus beneficios y el potencial que ofrecen para el futuro de la gestión del mantenimiento en este sector.

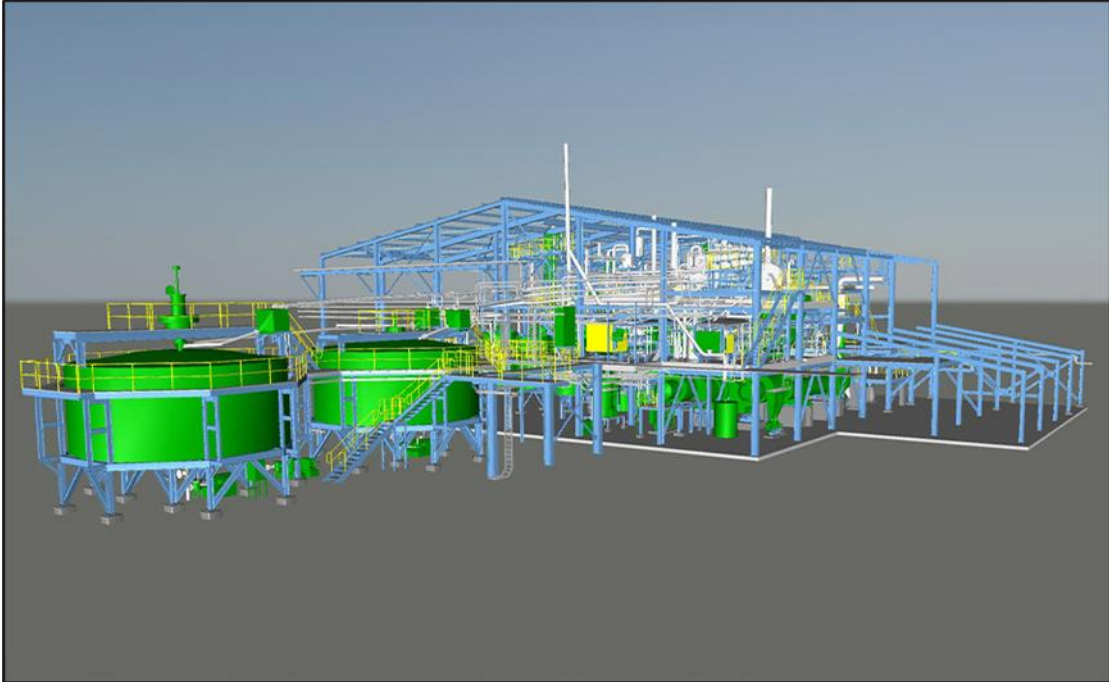


Figura 10: Modelo 3D – Referencia de Trabajo Colaborativo por Utilización de Tecnologías.

### 3.9.1 Sistema de georeferenciación.

Un sistema de georeferenciación se refiere al uso integrado de tecnologías de posicionamiento global (GNSS, que incluye GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, entre otros) y sistemas de información geográfica (SIG) para determinar y registrar la ubicación precisa de cada equipo y sus componentes dentro de una instalación. Va más allá de simplemente conocer las coordenadas geográficas. Implica la creación de una base de datos espacial que vincula la ubicación física del estanque con información relevante, como su capacidad, tipo de combustible almacenado, historial de mantenimiento, resultados de inspecciones, etc.

#### Componentes Clave:

- ✓ Receptores GNSS: Dispositivos que reciben señales de satélites para determinar la latitud, longitud y altitud del estanque.
- ✓ Sistemas de Información Geográfica (SIG): Plataformas de software que permiten crear, almacenar, analizar y visualizar datos geográficos.
- ✓ Base de datos geoespacial: Almacena la información de ubicación del estanque junto con otros datos relevantes.

### Aplicaciones Extendidas:

- ✓ **Gestión de Activos:** Facilita la identificación y el seguimiento de todos los estanques en una instalación, especialmente en grandes complejos industriales.
- ✓ **Planificación de Rutas:** Optimiza las rutas de acceso para vehículos de mantenimiento, camiones y otros equipos, mejorando la logística y reduciendo los tiempos de respuesta.
- ✓ **Respuesta a Emergencias:** Proporciona información crucial en caso de derrames, incendios u otras emergencias, permitiendo una respuesta rápida y coordinada.
- ✓ **Integración con BIM (Building Information Modeling):** En proyectos de construcción o expansión de instalaciones, la georreferenciación se integra con modelos BIM para una mejor gestión del proyecto.



Figura 11: Sistema de Georeferenciación por Dron.

### 3.9.2 Escaneo láser con nube de puntos.

El escaneo láser, también conocido como escaneo 3D o LiDAR (Light Detection and Ranging), es una tecnología que utiliza un láser para capturar millones de puntos de datos que representan la superficie de un objeto o entorno. Estos puntos forman una "nube de puntos" tridimensional que se puede procesar para crear modelos 3D altamente precisos. En el contexto de los estanques de diésel, el escaneo láser proporciona una forma rápida y precisa de obtener información dimensional y geométrica del estanque.

#### Proceso

Un escáner láser emite pulsos de luz láser que rebotan en la superficie del estanque. El escáner mide el tiempo que tarda la luz en regresar y calcula la distancia. Al escanear desde múltiples posiciones, se crea una nube de puntos completa.

### Resultados

- ✓ Modelos 3D precisos: Representaciones virtuales del estanque con alta fidelidad geométrica.
- ✓ Mediciones precisas: Diámetro, altura, forma del techo y el fondo, deformaciones, asentamientos.
- ✓ Secciones transversales: Se pueden generar cortes virtuales del estanque para analizar su estructura interna.

### Ventajas

- ✓ Alta precisión: Mediciones con una precisión milimétrica.
- ✓ Rapidez: Captura de datos en un tiempo relativamente corto.
- ✓ Seguridad: Reduce la necesidad de trabajos en altura o en espacios confinados.
- ✓ Datos completos: Captura información de toda la superficie del estanque.

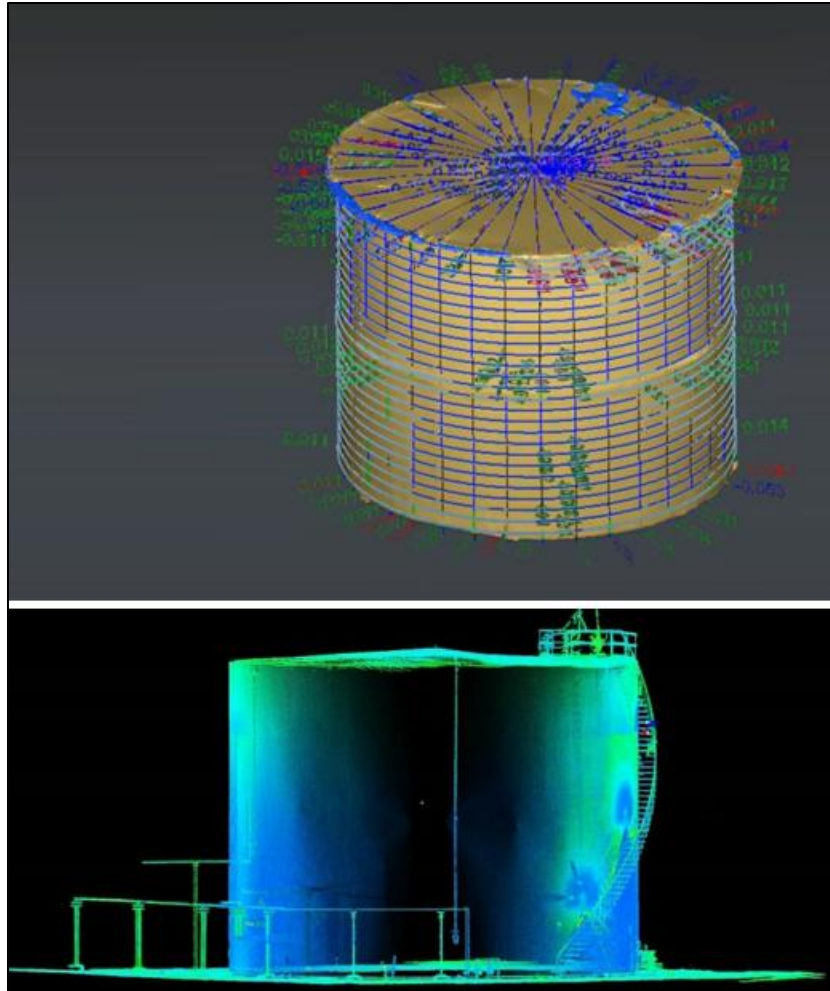


Figura 12: Modelo 3D por Nube de Puntos – Generado por Escaneo Láser.

### 3.9.3 Drones (sistemas aéreos no tripulados).

Los drones, o sistemas aéreos no tripulados (RPAS), son aeronaves que operan de forma remota, sin un piloto a bordo. Equipados con cámaras de alta resolución, sensores térmicos y otros dispositivos, los drones se han convertido en una herramienta valiosa para la inspección de infraestructuras, incluyendo los estanques de almacenamiento de diésel.

Capacidades:

- ✓ Inspección visual aérea: Captura de imágenes y videos de alta resolución de la superficie del estanque.
- ✓ Termografía infrarroja: Detección de variaciones de temperatura que pueden indicar problemas como fugas, corrosión o fallas en el aislamiento.
- ✓ Sensores multispectrales: Análisis de la reflectancia de la superficie para detectar corrosión temprana u otros cambios químicos.
- ✓ Sensores de gas: Detección de fugas de vapores de diésel.

Ventajas en la Inspección de Estanques:

- ✓ Acceso a zonas difíciles: Inspección del techo, paredes y otras áreas de difícil acceso de forma segura y eficiente.
- ✓ Reducción de riesgos: Minimiza la necesidad de trabajos en altura, andamios o espacios confinados.
- ✓ Inspecciones rápidas y eficientes: Cobertura rápida de grandes áreas.
- ✓ Documentación visual completa: Registro visual del estado del estanque a lo largo del tiempo.



Figura 13: Termografía Infrarroja Obtenida con la Utilización de Drones.

#### 3.9.4 Gemelo digital (digital twin).

Un digital twin (gemelo digital) es una representación virtual de un objeto o sistema que abarca su ciclo de vida, se actualiza a partir de datos en tiempo real y utiliza simulación, machine learning y razonamiento para ayudar en la toma de decisiones.

##### Características Clave:

- ✓ **Conexión con el mundo real:** El gemelo digital está conectado al estanque físico a través de sensores y sistemas de monitoreo.
- ✓ **Simulación y análisis:** Permite simular diferentes escenarios y predecir el comportamiento del estanque bajo diversas condiciones.
- ✓ **Visualización 3D:** Ofrece una representación visual interactiva del estanque y su entorno.
- ✓ **Análisis de datos:** Permite analizar grandes cantidades de datos para identificar tendencias, patrones y anomalías.

### Aplicaciones en Estanques de Diésel:

- ✓ Monitoreo en tiempo real: Visualización del nivel de diésel, temperatura, presión, vibraciones y otros parámetros en tiempo real.
- ✓ Mantenimiento predictivo: Predicción de fallas basándose en el análisis de datos y simulaciones.
- ✓ Optimización de la operación: Simulación de diferentes estrategias de llenado y vaciado para optimizar la eficiencia y minimizar los riesgos.
- ✓ Entrenamiento y capacitación: Utilización del gemelo digital para capacitar al personal en un entorno virtual seguro.

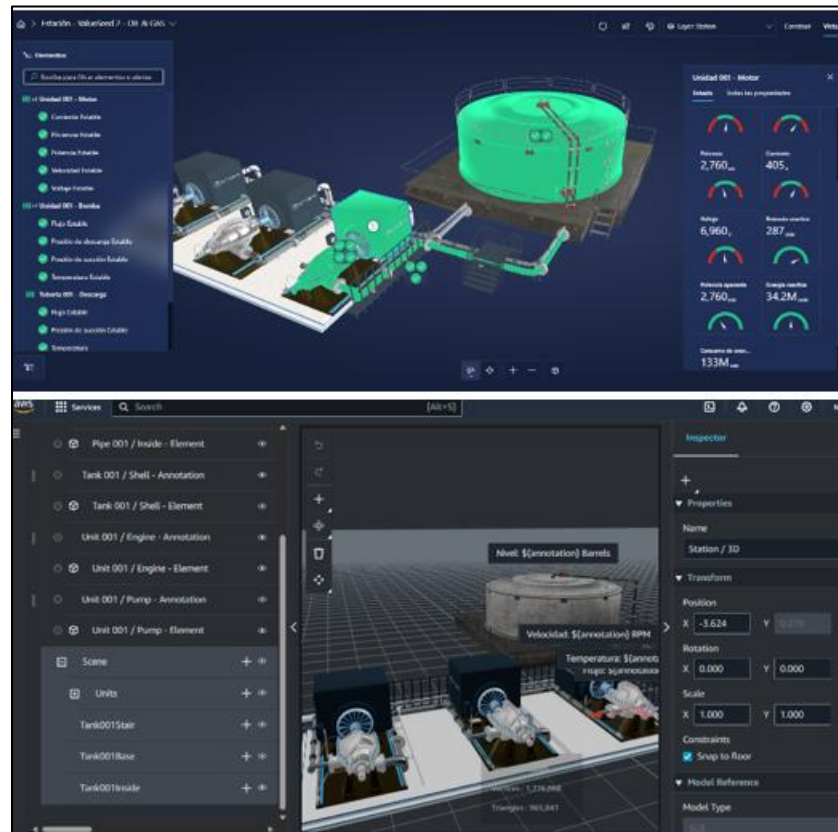


Figura 14: Representación Gráfica de Gemelo Digital.

**CAPITULO 3: SOLUCIÓN**

#### **4.1 SOLUCIÓN INTEGRAL A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal establecer una gestión integral de mantenimiento para estanques de almacenamiento de diésel tipo atmosféricos. Esta gestión busca optimizar el ciclo de vida completo de estos activos, desde la ingeniería de detalle hasta la operación, asegurando su confiabilidad, disponibilidad y seguridad.

Para lograr este objetivo, en los capítulos anteriores, se han definido metodologías específicas que abordan aspectos de mantenibilidad, confiabilidad y constructibilidad durante las fases de ingeniería, construcción y puesta en marcha.

Se desarrollará una metodología integral para la gestión del mantenimiento en operación, enfocada en la predicción y prevención de fallas, la optimización de recursos y el cumplimiento de estándares de seguridad.

Asimismo, en el acápite 3.8 “Innovaciones Tecnológica”, se dio a conocer el uso de tecnologías innovadoras, como herramienta para el aseguramiento y control del diseño, construcción, mantenimiento y confiabilidad:

En resumen, esta investigación ha descrito condiciones para:

- ✓ Optimizar, el ciclo de vida de los estanques de almacenamiento de diésel.
- ✓ Definir, metodologías específicas para cada fase del proyecto.
- ✓ Desarrollar, una metodología integral para la gestión del mantenimiento en operación.

Esta gestión, entrega como resultado el aumento de la disponibilidad de los estanques, reducción de costos operativos (OPEX) y minimizar riesgos asociados a fallas y paradas no programadas.

#### **4.2 PRINCIPALES PROBLEMAS EN ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DIÉSEL**

Los estanques de almacenamiento de diésel tipo atmosféricos pueden experimentar diversos problemas debido a factores como el desgaste por uso, corrosión y condiciones ambientales. Algunas de las fallas y defectos más comunes son:

#### 4.2.1 Corrosión estructural.

- ✓ Corrosión en las paredes del estanque: La exposición a los productos químicos y las condiciones atmosféricas puede causar la degradación del material del estanque, lo que podría llevar a fugas.
- ✓ Corrosión del techo cónico y su estructura: El techo, al estar expuesto a variaciones de temperatura, humedad y agua de condensación, es susceptible a la corrosión.

#### 4.2.2 Fugas.

- ✓ Las fugas pueden ocurrir en las soldaduras, conexiones de la tubería o en las juntas del fondo plano debido a la corrosión o al daño físico.

#### 4.2.3 Deformaciones en el techo cónico.

- ✓ Las deformaciones del techo cónico pueden ser causadas por cambios de temperatura, presión interna o daños por eventos extremos, como tormentas.

#### 4.2.4 Fugas de vapor o vapores del diésel.

- ✓ Pueden originarse debido a una mala estanqueidad en los componentes del estanque.

#### 4.2.5 Desgaste del fondo plano.

- ✓ A lo largo del tiempo, el fondo puede presentar erosión o deformaciones debido al peso del combustible almacenado y la acumulación de sedimentos.

#### 4.2.6 Fallas en los sistemas de seguridad (válvulas de seguridad y venteo).

- ✓ Estos sistemas son fundamentales para mantener la presión interna adecuada y evitar accidentes. Las fallas pueden llevar a problemas de sobrepresión o escape de vapores.

#### 4.2.7 Infiltraciones o acumulación de agua en el fondo.

- ✓ El agua puede acumularse en el fondo del estanque debido a la condensación, lo que puede generar corrosión y contaminar el combustible almacenado.

#### 4.2.8 Problemas con la instrumentación de medición.

- ✓ Los sistemas de medición de nivel, temperatura o presión pueden fallar, lo que dificulta la monitorización del estado del estanque.

### 4.3 ENFOQUE PRINCIPAL DE ACUERDO CON LA LEY DE PARETO

La Ley de Pareto o Principio 80/20 establece que aproximadamente el 80% de los problemas provienen del 20% de las causas. En el caso de los estanques de almacenamiento de diésel, se puede aplicar esta ley identificando las fallas más comunes y determinando la frecuencia de cada tipo de falla podemos determinar:

- ✓ Corrosión en mantos y techo: 40% de las fallas reportadas.
- ✓ Fugas en conexiones: 30% de las fallas.
- ✓ Deformaciones del techo: 15% de las fallas.
- ✓ Fallas en válvulas de seguridad: 5% de las fallas.
- ✓ Desgaste del fondo: 5% de las fallas.
- ✓ Instrumentación de medición defectuosa: 5% de las fallas.

La figura siguiente muestra una tendencia general que relaciona las fallas comunes en estanques de almacenamiento de diésel, con el porcentaje de incidencia. Muestra integral sobre el efecto de la ley de Pareto descrita.

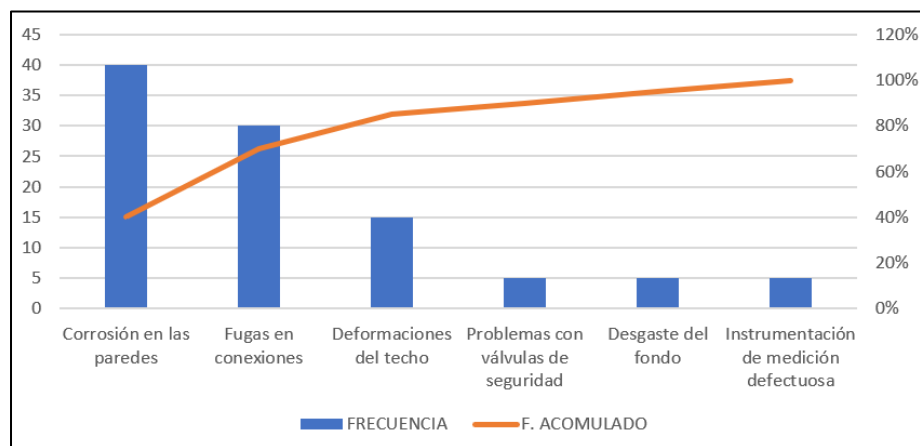


Gráfico 1: Relación Causa – Efecto (Fallas Comunes y % de Incidencia) – Ley de Pareto

Relacionando estas variables, podemos obtener las acciones de mitigación, las cuales se presentan en la figura siguiente:

Variable	Causa Principal	Impacto Secundario	Acciones de Mitigación
Corrosión en mantos y techo (40%)	Exposición a elementos corrosivos	Debilitamiento estructural	Inspección regular, revestimientos protectores, capacitación del personal
Fugas en conexiones (30%)	Conexiones defectuosas o mal mantenidas	Pérdida de material, riesgo ambiental	Mantenimiento preventivo, reemplazo de componentes, monitorización de fugas
Deformaciones del techo (15%)	Sobrecarga, fallo en diseño	Riesgo de colapso	Análisis estructural, refuerzo del techo, monitoreo continuo
Fallas en válvulas de seguridad (5%)	Desgaste, falta de mantenimiento	Riesgo de explosión o fuga	Revisión y mantenimiento, pruebas de funcionamiento, capacitación
Desgaste del fondo (5%)	Uso continuo, abrasión	Pérdida de material, debilitamiento	Materiales resistentes, inspecciones regulares, reparaciones oportunas
Instrumentación de medición defectuosa (5%)	Falta de calibración, equipo anticuado	Lecturas inexactas, errores de operación	Calibración regular, reemplazo de instrumentos, capacitación en uso y mantenimiento

Tabla 7: Medidas de Mitigación de Causa – Efecto por Variables de Falla Comunes.

#### **4.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PARA ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO DE DIÉSEL**

Un plan de mantenimiento efectivo para estanques de almacenamiento de diésel es fundamental para garantizar la integridad estructural, la seguridad operativa y la calidad del combustible. Este plan debe considerar los diferentes sistemas que componen el estanque (mecánicos, estructurales, eléctricos y de instrumentación) y establecer un programa de inspección, mantenimiento y reparación detallado.

#### 4.4.1 Evaluación inicial.

- ✓ Inspección visual: Evaluar el estado general del estanque, incluyendo corrosión, grietas, deformaciones, fugas, y el estado de los accesorios (válvulas, tuberías, etc.).
- ✓ Pruebas no destructivas: Realizar pruebas como ultrasonido para detectar defectos internos, así como también, líquidos penetrantes o partículas magnéticas para detectar defectos expuestos a la superficie.
- ✓ Análisis de riesgo: Identificar los posibles riesgos asociados con el estanque y establecer medidas de control.

#### 4.4.2 Definición de actividades de mantenimiento.

La definición de las actividades de mantenimiento estará de acuerdo con las disciplinas de proyecto siguientes.

Sistema	Actividades de Mantenimiento	Frecuencia
Mecánico	Inspección de válvulas, bombas, tuberías, conexiones, juntas, limpieza de filtros y lubricación de componentes.	Mensual, trimestral, anual
Estructural	Inspección visual de la estructura, incluyendo soportes, bases y revestimientos. Verificación de la integridad de la soldadura. Medición de espesores anillos del manto.	Anual
Eléctrico	Inspección de sistemas de iluminación, sistemas de control, canalizaciones, cableado, equipos de bombeo. Pruebas de funcionamiento.	Semestral
Instrumentación	Calibración de instrumentos de medición (nivel, temperatura, presión). Verificación de alarmas y sistemas de seguridad.	Anual

Tabla 8: Esquema Planilla Actividades de Mantenimiento en Estanques de Almacenamiento de Diésel.

#### 4.4.3 Programación de Mantenimiento.

La programación del mantenimiento estará de acuerdo con el tipo de actividad:

- ✓ Mantenimiento preventivo: Actividades programadas para prevenir fallas.
- ✓ Mantenimiento correctivo: Reparaciones realizadas después de una falla.
- ✓ Mantenimiento predictivo: Uso de técnicas como el análisis de vibraciones o termografía para detectar posibles fallas antes de que ocurran.
- ✓ Mantenimiento sintomático: Se basa en la observación de síntomas o señales que indican un posible problema en el equipo (observación directa y la experiencia del personal de mantenimiento).

#### 4.4.4 Registros de mantenimiento.

- ✓ Historial de mantenimiento: Documentar todas las actividades realizadas, incluyendo fecha, personal involucrado, hallazgos y acciones correctivas.
- ✓ Informes de inspección: Elaborar informes detallados de cada inspección, incluyendo fotografías y diagramas.

#### 4.4.5 Capacitación del personal.

- ✓ Capacitación técnica: Asegurar que el personal encargado del mantenimiento tenga los conocimientos y habilidades necesarias.
- ✓ Seguridad: Capacitar al personal en procedimientos de seguridad para trabajar en áreas con riesgo de incendio o explosión.

#### 4.4.6 Tecnologías actuales para aplicar.

- ✓ Sensores inteligentes: Monitoreo continuo de variables como nivel, temperatura y presión, detección temprana de anomalías.
- ✓ Análisis de vibraciones: Detección temprana de fallas en equipos rotativos.
- ✓ Software de gestión de mantenimiento: Optimización de la planificación y seguimiento de las tareas de mantenimiento.
- ✓ Drones con cámaras termográficas: Detección de puntos calientes, fugas, y evaluación del estado de los aislamientos.
- ✓ Realidad virtual y aumentada: Creación de gemelos digitales del estanque para simular escenarios y facilitar la capacitación del personal. Guías de mantenimiento interactivas para facilitar la realización de tareas.
- ✓ Inteligencia artificial: Análisis de datos históricos para predecir fallas y optimizar el mantenimiento.

#### 4.4.7 Consideraciones adicionales.

- ✓ Normativas y regulaciones: Asegurarse de cumplir con todas las normas y regulaciones aplicables en materia de almacenamiento de combustibles.
- ✓ Contingencia ante emergencias: Desarrollar un plan de emergencia para responder a posibles derrames o incendios.

- ✓ Mejora continua: Revisar y actualizar periódicamente el plan de mantenimiento en función de los resultados obtenidos y de los cambios en las condiciones operativas.

#### 4.4.8 Inspecciones detalladas por sistema.

##### Sistema Mecánico

- ✓ Bombas: Inspección de sellos, rodamientos, acoplamientos, y pruebas de funcionamiento bajo carga.
- ✓ Válvulas: Verificación de asientos, vástagos, empaquetaduras y operación suave.
- ✓ Tuberías: Inspección visual de corrosión, abolladuras, grietas y fugas. Verificación de soportes y aislamiento.
- ✓ Filtros y separadores: Limpieza o reemplazo según programa y análisis de calidad del combustible.

##### Sistema Estructural

- ✓ Soldaduras: Inspección visual de corrosión, grietas y deformación. Pruebas no destructivas en zonas críticas.
- ✓ Revestimientos: Evaluación de la integridad de los revestimientos internos y externos, incluyendo pintura y protección catódica.
- ✓ Cimentación: Inspección de grietas, asentamientos y signos de deterioro.
- ✓ Sistema de contención: Verificación de la integridad del pretil de contención y obras civiles de conducción de derrames.
- ✓ Planchas de manto, fondo y techo: Inspección del estado de corrosión, circularidad.
- ✓ Boquillas y manholes: Verificación del estado de corrosión, soldaduras y revestimientos (pintura)
- ✓ Componentes estructurales: Verificación del estado estructural de columna central, intermedias y vigas de techo.

##### Sistema Eléctrico

- ✓ Cableado: Inspección de aislamiento, conexiones, cajas de empalme y continuidad.
- ✓ Equipos eléctricos: Pruebas de funcionamiento de motores, contactores, relés y otros equipos.

- ✓ Sistemas de puesta a tierra: Verificación de la continuidad y resistencia de las conexiones a tierra.
- ✓ Sistemas de detección de fugas: Prueba de funcionamiento de detectores de fugas de diésel.

#### Sistema de Instrumentación

- ✓ Medidores de nivel: Calibración y verificación de la precisión.
- ✓ Termómetros: Calibración y verificación de la precisión.
- ✓ Manómetros: Calibración y verificación de la precisión.
- ✓ Sistemas de alarma: Pruebas de funcionamiento de alarmas de alto y bajo nivel, fugas, incendios, etc.

#### 4.4.9 Plan de Contingencia.

- ✓ Derrame de hidrocarburos: Plan de contención, limpieza y notificación a las autoridades competentes.
- ✓ Incendio: Procedimientos de extinción de incendios, evacuación y primeros auxilios.
- ✓ Falla eléctrica: Procedimientos de emergencia para restablecer el suministro eléctrico y garantizar la seguridad.

#### 4.4.10 Mejora Continua

- ✓ Análisis de datos: Utilizar los datos recopilados para identificar tendencias y patrones que permitan mejorar el plan de mantenimiento.
- ✓ Evaluación del desempeño: Evaluar regularmente la efectividad del plan de mantenimiento y realizar ajustes según sea necesario.
- ✓ Adopción de nuevas tecnologías: Mantenerse actualizado sobre las últimas tecnologías y herramientas disponibles para el mantenimiento de estanques.

La figura siguiente presenta un esquema general de un plan de mantenimiento para estanques de almacenamiento tipo atmosférico.

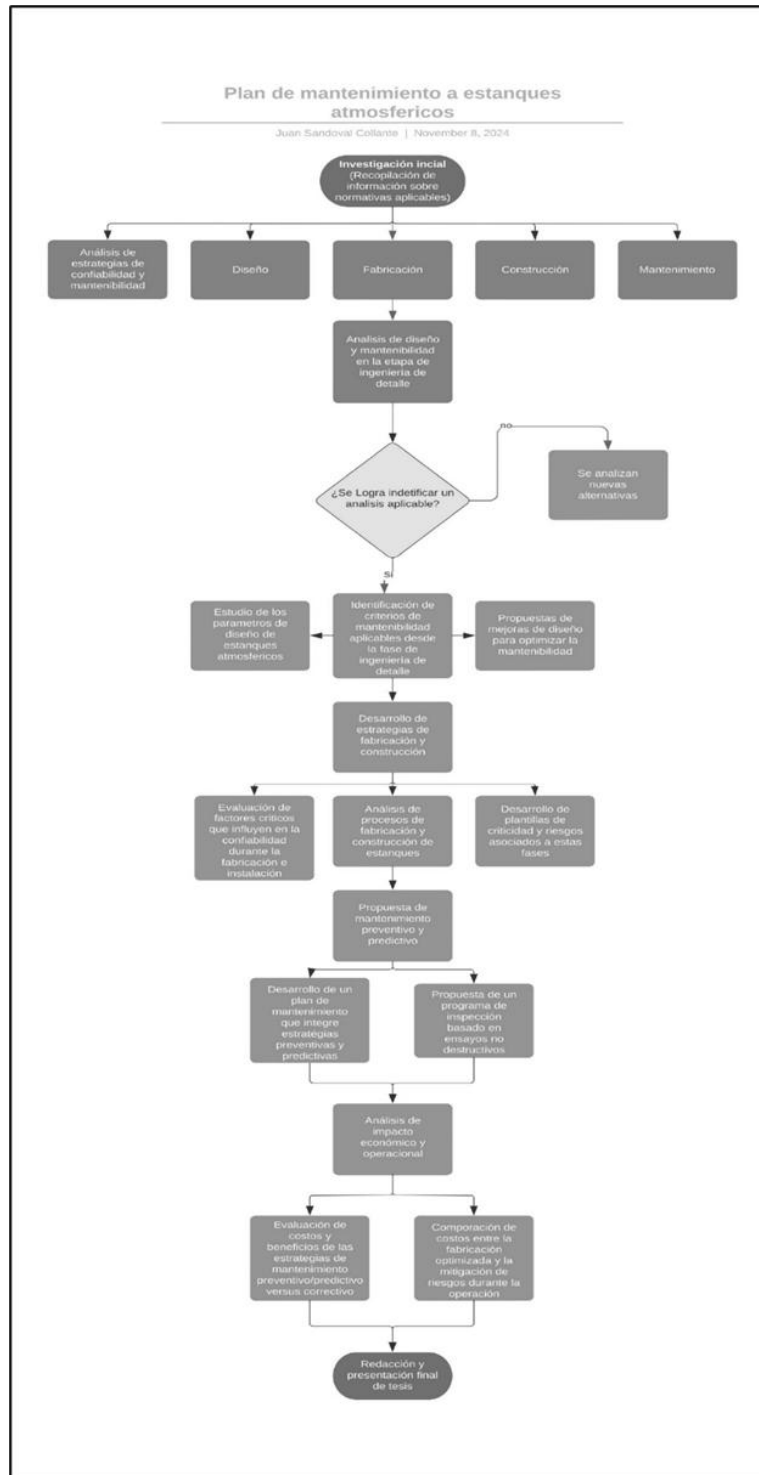


Figura 15: Esquema General Plan de Mantenimiento de Estanques de Almacenamiento Tipo Atmosférico.

#### **4.5 MATRIZ DE COSTOS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

Se presenta una matriz de costos que detalla los recursos económicos necesarios para las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y sistemático.

La matriz permite visualizar los costos de mano de obra, tiempo en la actividad (HH) y materiales (se ha supuesto que los materiales son suministrados por el Mandante), así como los beneficios esperados. Su desarrollo busca justificar las intervenciones de mantenimiento, priorizando actividades clave y optimizando recursos, alineándose con los objetivos clave del Mandante.

De esta forma, la matriz de costos se convierte en una herramienta esencial para planificar y ejecutar estrategias de mantenimiento de manera eficaz, contribuyendo a la operación segura y sostenible de los estanques de almacenamiento.

La figura siguiente representa de manera general una matriz de costos por actividad y estrategia de mantenimiento.

Tipo de Mantenimiento	Disciplina	Componente	Actividad Específica	Descripción de Personal	Cant. HH	Costo Mano de Obra Directa (US\$/HH)	Costo Materiales (US\$)	Costo Total Parcial (US\$)	Costo Total Actividad (USD)	Beneficios Esperados
Preventivo	Mecánico	Bombas	Lubricación, inspección de sellos, pruebas de funcionamiento, estado carcasa	Maestro mayor	20	\$25	Nota_1	\$500	\$4.960	Prolongar vida útil, evitar fallas inesperadas
				Maestro 1era	20	\$20	Nota_1	\$400		
				Maestro 2da	20	\$17	Nota_1	\$340		
	Eléctrico	Cableado	Inspección visual, pruebas de continuidad, limpieza de contactos	Maestro mayor	20	\$25	Nota_1	\$500		Prevenir cortocircuitos, garantizar seguridad
				Maestro 1era	20	\$20	Nota_1	\$400		
				Maestro 2da	20	\$17	Nota_1	\$340		
	Estructural	Columnas y vigas, planchas de conexión, soldaduras y pernos	Inspección visual estado estructural de los componentes	Maestro mayor	20	\$25	Nota_1	\$500		Prevenir daño estructural
				Maestro 1era	20	\$20	Nota_1	\$400		
		Planchas de manto, fondo y techo	Inspección visual, medición de espesores, protección catódica, estado estructural	Maestro 2da	20	\$17	Nota_1	\$340		Detectar corrosión, prevenir fugas
	Instrumentación	Niveles	Calibración, verificación de precisión	Maestro mayor	20	\$25	Nota_1	\$500		Asegurar mediciones precisas
				Maestro 1era	20	\$20	Nota_1	\$400		
				Maestro 2da	20	\$17	Nota_1	\$340		
Sintomático	Mecánico	Válvulas	Reparación de fugas, reemplazo de asientos	Maestro mayor	50	\$25	Nota_1	\$1.250	\$12.400	Restaurar funcionalidad, evitar pérdidas de producto
				Maestro 1era	50	\$20	Nota_1	\$1.000		
				Maestro 2da	50	\$17	Nota_1	\$850		
	Eléctrico	Motores eléctricos	Reparación de bobinados, reemplazo de rodamientos	Maestro mayor	50	\$25	Nota_1	\$1.250		Restaurar funcionamiento, evitar paradas no programadas
				Maestro 1era	50	\$20	Nota_1	\$1.000		
				Maestro 2da	50	\$17	Nota_1	\$850		
	Estructural	Columnas y vigas, planchas de conexión, soldaduras y pernos	Reparación, refuerzo o recambio de componentes	Maestro mayor	50	\$25	Nota_1	\$1.250		Garantizar estabilidad del estanque
				Maestro 1era	50	\$20	Nota_1	\$1.000		
				Maestro 2da	50	\$17	Nota_1	\$850		
	Instrumentación	Transmisores de presión	Reemplazo de diafragma, calibración	Maestro mayor	50	\$25	Nota_1	\$1.250		Asegurar mediciones precisas
				Maestro 1era	50	\$20	Nota_1	\$1.000		
				Maestro 2da	50	\$17	Nota_1	\$850		

Tabla 9: Matriz de Costo de Mantenimiento por Actividad y Estrategia (Parte I).

Correctivo	Mecánico	Tuberías	Reparación de fugas, reemplazo de secciones dañadas	Maestro mayor	150	\$30	Nota_1	\$4.500	\$47.400	Evitar contaminación del suelo y agua
				Maestro 1era	150	\$27	Nota_1	\$4.050		
				Maestro 2da	150	\$22	Nota_1	\$3.300		
	Eléctrico	Panel de control	Reparación de circuitos, reemplazo de componentes dañados	Maestro mayor	150	\$30	Nota_1	\$4.500		Restaurar funcionalidad del sistema de control
				Maestro 1era	150	\$27	Nota_1	\$4.050		
				Maestro 2da	150	\$22	Nota_1	\$3.300		
	Estructural	Columnas y vigas, planchas de conexión, soldaduras y pernos	Reparación o recambio de componentes	Maestro mayor	150	\$30	Nota_1	\$4.500		Restaurar funcionalidad del estanque
		Revestimiento interior	Reparación de desprendimientos, aplicación de nuevo revestimiento (pinturas según esquema)	Maestro 1era	150	\$27	Nota_1	\$4.050		Proteger el tanque de la corrosión
	Instrumentación	Válvulas de seguridad	Reemplazo de elementos internos, ajuste de presión	Maestro 2da	150	\$22	Nota_1	\$3.300		
				Maestro mayor	150	\$30	Nota_1	\$4.500		Garantizar la seguridad del sistema
				Maestro 1era	150	\$27	Nota_1	\$4.050		
	Maestro 2da	150	\$22	Nota_1	\$3.300					
Predictivo	Vibraciones	Bombas	Análisis de vibraciones (Incluye informe) 5HH actividad + 10 HH informe	Operario	15	\$150	Nota_1	\$2.250	\$3.750	Detección temprana de desbalanceo, desalineación
	Termografía	Estanque	Detección de puntos calientes, fugas (Incluye informe) 5HH actividad + 10 HH informe	Operario	15	\$80	Nota_1	\$1.200		Identificación de áreas con riesgo de corrosión
	Análisis de aceite	Sistemas hidráulicos	Análisis de partículas, contenido de agua (Incluye informe) 2HH actividad + 8 HH informe	Operario	10	\$30	Nota_1	\$300		Evaluación del estado del aceite y componentes hidráulicos
<b>Nota 1: Se considera que los materiales son suministrados por el Cliente</b>										

Tabla 10: Matriz de Costo de Mantenimiento por Actividad y Estrategia (Parte II).

#### 4.6 MATRIZ DE COSTOS ESTIMADA IMPLEMENTACIÓN INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

A continuación, se presenta una matriz de costos detallada para la implementación de un plan integral de mantenimiento, que incorpora innovaciones tecnológicas.

Los costos presentados se basan en cotizaciones referenciales de proveedores especializados y datos históricos de proyectos similares. La matriz se estructura en costos de inversión inicial, costos operativos anuales, etc., permitiendo una clara visualización de los recursos necesarios para la implementación. Se espera que la inversión en estas tecnologías se traduzca en una reducción significativa de los costos de mantenimiento correctivo, una mayor vida útil de los estanques y una mejora sustancial en la seguridad de las operaciones.

Item	Descripción	Costo Estimado (USD)	Observaciones
<b>1. Sistema de Georreferenciación</b>			
Receptores GNSS (x3)	Receptores GPS/GNSS de alta precisión para ubicar los estanques y puntos de referencia.	5,000 - 15,000	El precio varía según la precisión, la robustez y las características adicionales (ej. resistencia a condiciones ambientales extremas). Se asume un mínimo de 3 receptores para triangulación y mayor precisión.
Software SIG	Licencia de software SIG para la gestión y visualización de datos geográficos.	1,000 - 10,000	El precio depende del tipo de licencia (de escritorio, web, empresarial), las funcionalidades y el número de usuarios.
Integración y Configuración	Costos de instalación, configuración, capacitación y desarrollo de interfaces.	2,000 - 5,000	Incluye la integración con sistemas existentes (ej. SCADA, sistemas de gestión de mantenimiento).
<b>Subtotal Sistema de Georreferenciación</b>		<b>8,000 - 30,000</b>	
<b>2. Escaneo Láser con Nube de Puntos</b>			
Escáner Láser 3D	Equipo de escaneo láser terrestre de alta precisión.	20,000 - 100,000	El precio varía según el alcance, la precisión, la velocidad de escaneo y otras características.
Software de Procesamiento de Nube de Puntos	Software para procesar, limpiar, registrar y modelar la nube de puntos.	5,000 - 20,000	Incluye software para generar mallas 3D, realizar mediciones, comparaciones y análisis.
Servicio de Escaneo (Opcional)	Costo de contratar una empresa especializada para realizar el escaneo. (Si no se adquiere el equipo)	5,000 - 15,000 (por estanque)	Depende del tamaño y la complejidad del estanque. Este es un costo recurrente si no se invierte en el equipo.
<b>Subtotal Escaneo Láser</b>		<b>25,000 - 135,000</b>	O 5,000-15,000 por estanque si se contrata el servicio.

Tabla 11: Matriz de Costos – Implementación de Tecnologías 1 de 2.

Ítem	Descripción	Costo Estimado (USD)	Observaciones
<b>3. Drones (RPAS)</b>			
Dron con Cámara de Alta Resolución	Dron equipado con cámara RGB de alta resolución y estabilizador.	2,000 - 10,000	El precio varía según la calidad de la cámara, la autonomía de vuelo, los sensores adicionales y las características de seguridad.
Cámara Termográfica (Opcional)	Cámara termográfica para detección de puntos calientes.	3,000 - 15,000	Depende de la resolución y la sensibilidad térmica.
Software de Procesamiento de Imágenes	Software para procesar y analizar las imágenes y videos capturados por el dron.	500 - 5,000	Incluye software para ortomosaicos, modelos 3D y análisis de imágenes.
Capacitación y Certificación de Pilotos	Costo de la formación y certificación de pilotos de drones.	1,000 - 3,000 (por piloto)	La correcta capacitación para el personal que utilizará el dron, es vital para el cuidado y protección del elemento de inspección.
<b>Subtotal Drones</b>		<b>6,500 - 33,000</b>	
<b>4. Gemelo Digital</b>			
Plataforma de Gemelo Digital	Software para la creación, gestión y visualización del gemelo digital.	10,000 - 50,000	El precio depende de las funcionalidades, la escalabilidad y la integración con otros sistemas.
Sensores para el Estanque (xN)	Sensores de nivel, temperatura, presión, vibración, etc. (La cantidad depende de la complejidad del sistema de monitoreo que se desee implementar.)	500 - 5,000 (por sensor)	El precio varía según el tipo de sensor, la precisión y la robustez.
Integración y Desarrollo	Costos de integrar los datos de los sensores en la plataforma del gemelo digital y desarrollar las funcionalidades de simulación y análisis.	5,000 - 20,000	Incluye la creación de modelos de simulación, la configuración de dashboards y la integración con sistemas existentes.
<b>Subtotal Gemelo Digital</b>		<b>15,500 - 75,000 + (500-5,000 x N)</b>	Donde N es la cantidad de sensores a utilizar.

Tabla 12: Matriz de Costos – Implementación de Tecnologías 2 de 2.

## **RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones del trabajo de titulación se centran en la implementación de un enfoque integral para la gestión del mantenimiento de los estanques de almacenamiento de diésel. En primer lugar, se sugiere desarrollar un plan de mantenimiento que incluya todas las estrategias de mantenimiento. Este plan debe ser diseñado para identificar y abordar posibles fallas antes de que se conviertan en problemas críticos, lo que no solo mejora la disponibilidad del equipo, sino que también reduce los costos operativos a largo plazo. La utilización de tecnologías innovadoras para el monitoreo y diagnóstico de condiciones operativas es fundamental para facilitar este enfoque.

Además, se recomienda establecer procedimientos claros para la realización de caminatas de término de construcción, donde se verifiquen todos los aspectos críticos del estanque antes de su puesta en marcha. Esto incluye la revisión de la integridad estructural, la funcionalidad de los sistemas de seguridad y la conformidad con las normativas aplicables. La capacitación del personal en estos procedimientos es esencial para asegurar que se sigan correctamente y se minimicen los riesgos durante la operación.

Por último, se aconseja la creación de un sistema de gestión de riesgos que contemple la identificación, evaluación y mitigación de riesgos asociados a la operación del estanque. Este sistema debe ser dinámico y adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno operativo, garantizando así una respuesta efectiva ante cualquier eventualidad.

## **CONCLUSIÓN**

Las conclusiones del trabajo de titulación subrayan la importancia de una gestión integral de mantenimiento en los estanques de almacenamiento de diésel. Se concluye que la implementación de metodologías que integren criterios de mantenibilidad, confiabilidad y constructibilidad desde las fases de diseño y construcción es crucial para asegurar la seguridad y eficiencia operativa del equipo. La investigación ha demostrado que un enfoque proactivo en el mantenimiento no solo optimiza la vida útil de los estanques, sino que también reduce significativamente el riesgo de fallas catastróficas e incidentes ambientales.

Asimismo, se destaca que la falta de atención a los aspectos de mantenimiento y confiabilidad puede resultar en costos operativos elevados y en un aumento de los riesgos asociados a la operación. Por lo tanto, es imperativo que las empresas adopten un enfoque sistemático y bien planificado para la gestión del mantenimiento, que contemple todas las fases del ciclo de vida del estanque.

En resumen, las conclusiones enfatizan que la correcta implementación de las recomendaciones propuestas no solo mejorará la disponibilidad y seguridad del estanque, sino que también contribuirá a la sostenibilidad del proyecto, protección de las personas y el medio ambiente. La gestión eficiente del mantenimiento se presenta, por tanto, como un elemento clave para el éxito a largo plazo de las operaciones relacionadas con el almacenamiento de diésel.

**BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN**

- (API), A. P. (2014). *API Standard 653: Tank inspection, repair, alteration, and reconstruction*. 5th ed.
- (API), A. P. (2020). *API Standard 650: Welded tanks for oil storage*. 13th ed.
- (API), A. P. (s.f.). *API Standard 2000: Venting atmospheric and low pressure storage tanks*. Edición actual.
- (NFPA), N. F. (2021). *NFPA 30: Flammable and combustible liquids code*. Edición actual.
- (OSHA), O. S. (s.f.). *Occupational Safety and Health Administration*. Edición Actual.
- (OSHA), O. S. (s.f.). *Occupational Safety and Health Administration*. Obtenido de Occupational Safety and Health Administration: <https://www.osha.gov/>
- (SEC), S. d. (s.f.). *Superintendencia de Electricidad y Combustibles*. Obtenido de Superintendencia de Electricidad y Combustibles: [https://www.sec.cl/?view\\_full\\_site=true](https://www.sec.cl/?view_full_site=true)
- (SSPC), T. S. (s.f.). *SSPC: The Society for Protective Coatings*. Edición actual.
- (SSPC), T. S. (s.f.). *SSPC: The Society for Protective Coatings*. Obtenido de SSPC: The Society for Protective Coatings: <https://sspc.org/>
- CHILE, H. E. (s.f.). *HELIBOSS ENTERPRISE DEALER CHILE*. Obtenido de HELIBOSS ENTERPRISE DEALER CHILE: <https://heliboss.cl/543-empresa>
- International, A. (s.f.). *ASTM International*.
- International, A. (s.f.). *ASTM International*. Obtenido de ASTM International: <https://www.astm.org/>
- Performance, A. A. (s.f.). *AMPP: Association for Materials Protection and Performance*.
- Performance, A. A. (s.f.). *AMPP: Association for Materials Protection and Performance*. Obtenido de AMPP: Association for Materials Protection and Performance: <https://www.ampp.org/home>
- TECHNOLOGIES, C. E. (s.f.). *CADE ENGINEERED TECHNOLOGIES*. Obtenido de CADE ENGINEERED TECHNOLOGIES: <https://cadeengineering.com/es/>
- TIMINING. (s.f.). *TIMINING*. Obtenido de TIMINING: <https://www.timing.com/es/>