

Implementación de un Sistema de Protección Contra Caídas en Trabajos en Alturas, Para Llevar a Cabo en Forma Segura el Mantenimiento Preventivo de Ventiladores en las Torres Enfriadoras de Plantas Industriales de la GRB.

Luis Fernando Martínez Becerra

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Sergio Fernando Amaya Rojas

MSc en Dirección de Empresas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Programa Académico Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

La vida está llena de maravillosos momentos, y durante toda mi vida Dios ha puesto a personas que de una u otra forma han tenido un impacto en mí, recuerdo cuando era muy pequeño alguien me dijo, que si yo quería conseguir un futuro brillante, debía preocuparme por estudiar, en ese momento me preguntaba ¿cómo iba a lograr eso si no contaba con recursos económicos?, para lo cual un amigo me recordó que si creía en Dios todo sería posible, y siempre he tenido la oportunidad de coincidir en esta vida con personas que en definitiva uno puede decir Dios la ha puesto aquí para mí. Hoy Dios me ha premiado con muchas bendiciones, entre ellas la oportunidad de trabajar en la mejor empresa del país; ha puesto también una maravillosa mujer en mi vida, mi hermosa esposa, quien desde el primer momento que nos encontramos ha estado ahí apoyándome en cada decisión que tomo y en cada proyecto que asumo. Compartir mi vida con ella, me ha enseñado a disfrutar, aprovechar y esforzarme por siempre ser una mejor persona. Con ella he comprobado que se debe trabajar fuerte para conseguir nuestros propósitos y que por mas dura que uno crea que es la vida, siempre llega ese momento donde uno puede decir, Dios siempre tiene lo mejor para mí.

Este logro se lo dedico a Dios, a mi familia, mi bella esposa, a mi hija, a mis hijos y a todos mis amigos y compañeros que celebran mis triunfos y a ese amigo al que no puedo enseñarle este nuevo logro, pero sé que desde el cielo también celebra conmigo.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la sabiduría para ser cada día mejor persona y profesional, permitiéndome culminar este proyecto y obtener el título de especialista en gerencia de mantenimiento.

Agradezco también a mi esposa, Luisa Fernanda Angarita, por su amor, paciencia y apoyo, fue parte fundamental para el logro de esta meta.

Agradezco a mi director de proyecto, el ingeniero Sergio Fernando Amaya, quien siempre me apoyó en esta iniciativa con su ejemplo, dedicación y perseverancia, motivando mi crecimiento profesional y personal.

Al equipo de trabajo de Mantenimiento Preventivo y Turbomaquinaria de la Refinería de Barrancabermeja, por su aporte durante todo el proceso.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera contribuyeron a la materialización de este proyecto. Su apoyo fue muy significativo para mí.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Planteamiento Del Problema.....	14
2. Justificación	15
3. Objetivos.....	16
3.1. Objetivo General	16
3.2. Objetivos Específicos.....	16
4. Sistema De Una Torre De Enfriamiento.....	17
4.1. Torre de Enfriamiento Húmedo	17
4.2. Torre de Enfriamiento Industrial	18
4.3. Componentes de una Torre de Enfriamiento	19
5. Mantenimiento de Ventiladores de Torres Enfriadoras	20
5.1. Solución Temporal del SPCCTA.....	21
5.2. Análisis de Incumplimiento del Mantenimiento en Torres de Enfriamiento.....	21
6. Sistema de Protección Contra Caídas para Trabajo en Alturas	24
6.1. Evaluación de la Altura Necesaria para el Diseño de Los Anclajes	24
6.2. Diseño de los Puntos de Anclaje para la Instalación de LVHT	25
6.2.1. Análisis Estático Pata a Compresión del Sistema Trípode	26
6.2.2. Análisis Estático Pata a Tensión del Sistema Trípode.....	28
6.2.3. Análisis Estático Platina Base Frontal	30
6.2.4. Análisis Estático Platina Corona.....	32
6.2.5. Procedimiento de Soldadura Utilizado	34

6.3. Evaluación del Anclaje de las Platinas al Concreto.....	35
6.3.1. Epóxico Para Anclajes AnchorFix-3001	35
6.3.2. Comprobador De Tracción Digital Ståht t60	37
6.4. Líneas de Vida Horizontal Portátil	38
6.4.1. Línea De Vida Horizontal Temporal De Cable (MSA)	38
6.4.2. Línea De Vida Horizontal Sayfline (DBI SALA).....	39
7. Implementación del Sistema Seguro para Trabajos en Alturas	41
7.1. Condiciones para el Desarrollo del Contrato	42
7.1.1. Ejecución de Trabajos.....	42
7.1.2. Requisitos del Personal	42
7.1.3. Informes Obligatorios	42
7.1.4. Certificación y Requisitos Técnicos	43
7.1.5. Instalación de Puntos de Anclaje	43
7.1.6. Sistema de Trípodes para Torres Enfriadoras.....	43
7.2. Procedimiento para Instalación del Sistema	44
8. Conclusiones	46
9. Recomendaciones	47
Referencias Bibliográficas	48

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Plan de Mantenimiento Preventivo de Ventiladores de Torres Enfriadoras 2023</i>	22
Tabla 2. <i>Plan de Mantenimiento Preventivo de Ventiladores de Torres Enfriadoras 2024</i>	23
Tabla 3. <i>Inventario de Torres de Enfriamiento</i>	25
Tabla 4. <i>Fuerzas de Sección Anclajes</i>	36
Tabla 5. <i>Especificaciones Del Producto LVHT MSA</i>	39
Tabla 6. <i>Materiales De Los Componentes LVHT MSA</i>	39

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Torre de Enfriamiento a Contraflujo de Tiro Inducido</i>	17
Figura 2. <i>Torre de Enfriamiento de la GRB</i>	18
Figura 3. <i>Cono de Ventilador en una Torre de Enfriamiento</i>	19
Figura 4. <i>Ventilador por Transmisión de Caja de Engranajes y Acoplamiento de Eje Largo</i>	20
Figura 5. <i>Solución Temporal de Puntos de Anclaje para el SPCCTA</i>	21
Figura 6. <i>Tendencia del Plan Ejecutado 2023</i>	22
Figura 7. <i>Tendencia Del Plan Ejecutado 2024</i>	23
Figura 8. <i>Medición de la Altura Requerida en los Conos</i>	24
Figura 9. <i>Diseño del Sistema De Anclaje Tipo Trípode</i>	26
Figura 10. <i>Pata de Trípode a Compresión</i>	26
Figura 11. <i>Fuerzas y Momentos Resultantes Pata a Compresión</i>	27
Figura 12. <i>Tensión de Von Mises Pata a Compresión</i>	27
Figura 13. <i>Pata de Trípode a Tensión</i>	28
Figura 14. <i>Fuerzas y Momentos Resultantes Pata a Tensión</i>	29
Figura 15. <i>Tensión de Von Mises Pata a Tensión</i>	29
Figura 16. <i>Platina Base Frontal</i>	30
Figura 17. <i>Fuerzas y Momentos Resultantes Platina Base Frontal</i>	31
Figura 18. <i>Tensión de Von Mises Platina Base Frontal</i>	31
Figura 19. <i>Platina Corona</i>	32
Figura 20. <i>Fuerzas y Momentos Resultantes Platina Corona</i>	33
Figura 21. <i>Tensión de Von Mises Platina Base Corona</i>	33

Figura 22. <i>Catalogación de Material en SAP para Construcción de Anclajes</i>	34
Figura 23. <i>Información del Producto</i>	36
Figura 24. <i>Condiciones Estimadas del Concreto</i>	36
Figura 25. <i>Distribución Esquemática de los Puntos de Anclaje y Fuerzas de Sección</i>	37
Figura 26. <i>Comprobador De Tracción Digital Ståht t60</i>	37
Figura 27. <i>Vista General De La LVHT MSA</i>	38
Figura 28. <i>Instalación Típica De Línea De Vida Sayflin</i>	40
Figura 29. <i>Especificaciones Técnicas Línea De Vida Sayflin</i>	40
Figura 30. <i>Instructivo Operacional para la Instalación y Retiro de SPCCTA</i>	44
Figura 31. <i>Relación de Versiones del Instructivo Operacional</i>	45

Lista de Apéndices

Los apéndices están disponibles en el repositorio institucional de la biblioteca de la UIS.

Apéndice A. Calculo estructural para torre de andamios alrededor de un cono de torre de enfriamiento para su mantenimiento SU-857 / SU-854 para ECOPETROL - Barrancabermeja, para instalación de dos líneas de vida para una capacidad de carga por punto de anclaje de cada una de 5000 lb (2.268 t) horizontal y 3600 lb (1600 kg) de manera vertical.

Apéndice B. Certificación equipo trípode para anclaje de línea de vida horizontal certificada.

Apéndice C. Especificaciones del proceso de soldadura.

Apéndice D. Brochure Staht t60.

Apéndice E. Instrucciones de uso cuerda salvavidas de cable horizontal provisional MSA.

Apéndice F. Manual de instrucciones para el usuario del anticaídas horizontal de cable Sayflin.

Apéndice G. Contrato marco para los servicios de inspección, mantenimiento, instalación, certificación de sistemas de prevención y protección contra caídas y resistencia de barandas para la gerencia refinería Barrancabermeja GRB de ECOPETROL S.A.

Apéndice H. Instructivo operacional para la instalación y retiro de todo el sistema de protección contra caídas (puntos de anclaje y línea de vida horizontal portátil en cable de acero).

Glosario

GRB: Gerencia Refinería Barrancabermeja.

Línea de vida horizontal portátil: son equipos certificados y preensamblados, elaborados en cuerda o cable de acero, con sistemas absorbentes de choque, conectores en sus extremos, un sistema tensionador y dos bandas de anclaje tipo Tie Off; estas se instalarán por parte de los trabajadores autorizados entre dos puntos de comprobada resistencia y se verificará su instalación por parte del coordinador de trabajo en alturas o de una persona calificada.

LVHT: línea de vida horizontal temporal.

Mantenedor: personal que ejecuta los programas de mantenimiento planeado y no planeado, cumpliendo con los niveles de servicio, asegurando la disponibilidad óptima y el valor del activo.

Persona calificada: ingeniero con experiencia certificada mínimo de dos años para calcular resistencia de los materiales, diseñar, analizar, evaluar, autorizar puntos de anclaje y elaborar especificaciones de trabajos, proyectos o productos acorde con lo establecido en la presente resolución. La persona calificada es la única persona que da la autorización a un punto de anclaje sobre el cual se tengan dudas.

Sistemas de protección de caídas certificado: conjunto de elementos y/o equipos diseñados e instalados que cumplen con las exigencias de calidad de la norma nacional o internacional que lo regula, y aprobado por una persona calificada si existen dudas. En ningún momento, el estándar internacional puede ser menos exigente que el nacional.

SPCCTA: sistema de protección contra caídas en trabajos en alturas.

Resumen

Título: Implementación de un Sistema de Protección Contra Caídas en Trabajos en Alturas, Para Llevar a Cabo en Forma Segura el Mantenimiento Preventivo de Ventiladores en las Torres Enfriadoras de Plantas Industriales de la GRB.*

Autor: Luis Fernando Martínez Becerra.**

Palabras Clave: Punto de Anclaje, Sistema de Protección Contra Caídas en Trabajos en Alturas, Trípode de Anclaje, Platina Corona, Base Delantera, Pata de Compresión, Pata de Tracción.

Descripción:

Se implementó un Sistema de Protección Contra Caídas en Trabajos en Alturas, diseñado y aplicado en las torres enfriadoras de la refinería de Barrancabermeja. Su principal objetivo es garantizar la seguridad del personal durante los mantenimientos preventivos de los ventiladores, en cumplimiento de la Resolución 4272 de 2021. La adopción de este sistema asegura el cumplimiento del plan anual de mantenimiento, mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los ventiladores. Además, fortalece la estrategia de mantenimiento de la Gerencia de Mantenimiento de Barrancabermeja, contribuyendo a la sostenibilidad operativa de las plantas industriales. Para maximizar los beneficios del sistema, se implementaron acciones adicionales, como la capacitación del personal en mejores prácticas de mantenimiento, inspecciones regulares y un programa de certificación periódica. Estas iniciativas permiten garantizar la efectividad del sistema, reducir tiempos de ejecución y cumplir con las normativas vigentes. El sistema no solo incrementa la seguridad del personal, sino que también optimiza los procesos de mantenimiento y mejora la eficiencia operativa de las torres enfriadoras. Este enfoque integral refuerza el compromiso de la GMB con la seguridad, la productividad y la mejora continua.

Abstract

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Sergio Fernando Amaya Rojas.

Title: Implementation of a Fall Protection System for Work at Heights to Safely Perform Preventive Maintenance of Fans in Cooling Towers of GRB Industrial Plants. *

Author: Luis Fernando Martínez Becerra. **

Keywords: Anchor Point, Fall Protection System for Work at Heights, Anchor Tripod, Crown Plate, Front Base, Compression Leg, Traction Leg.

Description:

A Fall Protection System for Work at Heights was implemented, designed, and applied to the cooling towers of the Barrancabermeja refinery. The primary objective of the system is to ensure personnel safety during preventive maintenance of the fans, in compliance with Resolution 4272 of 2021. The adoption of this system ensures compliance with the annual maintenance plan while improving the availability and reliability of the fans. It also strengthens the maintenance strategy of the *Gerencia de Mantenimiento de Barrancabermeja* team, contributing to the operational sustainability of the industrial plants. To maximize the system's benefits, additional actions were implemented, including staff training on best maintenance practices, regular inspections, and a periodic certification program. These initiatives ensure the system's effectiveness, reduce execution times, and support compliance with applicable regulations. The system not only enhances personnel safety but also optimizes maintenance processes and improves the operational efficiency of the cooling towers. This comprehensive approach reinforces the GMB's commitment to safety, productivity, and continuous improvement.

* Bachelor Thesis.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Sergio Fernando Amaya Rojas.

Introducción

En la refinería de Barrancabermeja, los ventiladores de las torres de enfriamiento desempeñan un papel fundamental en los procesos industriales al garantizar la regulación de la temperatura en los sistemas de las plantas. Estos equipos cumplen la función de disipar el exceso de calor del agua y ajustarla a la temperatura requerida, permitiendo un funcionamiento eficiente de los equipos según sus necesidades operativas. Para asegurar su rendimiento y disponibilidad, se ha establecido un plan anual de mantenimiento preventivo basado en criterios de confiabilidad. No obstante, la entrada en vigencia de la Resolución 4272 de 2021, que establece los requisitos mínimos de seguridad para trabajos en alturas, ha planteado nuevos desafíos en la ejecución de los mantenimientos preventivos. La implementación de un sistema de protección seguro para los trabajos en alturas se ha vuelto imprescindible para cumplir con la normativa. Sin embargo, el sistema actual presenta oportunidades de mejora que afectan el cumplimiento efectivo del plan de mantenimiento anual. Dado que la confiabilidad y disponibilidad de los ventiladores son esenciales para el desempeño de las torres de enfriamiento y, por ende, para el éxito de los procesos industriales, resulta necesario proponer un nuevo sistema de protección contra caídas. Este sistema debe estar diseñado no solo para garantizar el cumplimiento de la normativa vigente, sino también para optimizar los tiempos y procedimientos de mantenimiento, asegurando así la continuidad y eficiencia operativa de las plantas. La implementación de un sistema de protección mejorado contribuirá significativamente a , a cumplir con los estándares legales y a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de las torres de enfriamiento en los procesos industriales de la refinería de Barrancabermeja. Este esfuerzo es un paso clave hacia la sostenibilidad y competitividad de las operaciones de la refinería en el largo plazo.

1. Planteamiento Del Problema

Los ventiladores de las torres de enfriamiento en la GRB son fundamentales para la operatividad industrial, es por esto por lo que se han establecido mantenimientos preventivos anuales y generales, cada seis años, como parte clave para garantizar su desempeño. Sin embargo, en los últimos dos años, se ha evidenciado un incumplimiento recurrente del plan de mantenimiento, afectando la eficiencia de los equipos y los procesos asociados.

Estos ventiladores, ubicados a 20 metros de altura, requieren cumplir con estrictas normativas de seguridad para trabajos en alturas (Resolución 4272 de 2021) y espacios confinados (Resolución 0491 de 2020). Sin embargo, el diseño de los conos y las condiciones del entorno dificultan la implementación de medidas seguras y eficientes.

Una causa principal de este incumplimiento radica en la falta de un sistema integral de protección contra caídas que cumpla con las exigencias normativas. Aunque se han realizado mejoras progresivas en los últimos años, estas no han sido suficientes para controlar los riesgos ni garantizar la ejecución oportuna de las tareas. Además, la entrada en vigor de nuevas regulaciones ha generado retrasos adicionales por falta de estrategias que integren normativas, operatividad y capacitación.

Es urgente diseñar una estrategia que permita cumplir con la normativa, implementar sistemas de protección adecuados y optimizar el plan de mantenimiento. Esto mejorará la seguridad laboral, garantizará la confiabilidad operativa de las torres de enfriamiento y contribuirá a la sostenibilidad de los procesos industriales de la GRB.

2. Justificación

La disponibilidad y confiabilidad de los ventiladores de las torres de enfriamiento es esencial para los procesos industriales de la GRB. Estos equipos requieren un mantenimiento riguroso basado en programas semanales, estrategias anuales y mantenimientos generales cada seis años. Sin embargo, se han identificado limitaciones que afectan la ejecución oportuna y segura de estas actividades, comprometiendo la operatividad de las torres.

Durante los últimos 20 años, el mantenimiento ha enfrentado dificultades debido a la falta de puntos de anclaje integrados en los conos de las torres que cumplan con los requisitos normativos para instalar líneas de vida horizontales. Como solución temporal, se implementó el uso de andamios perimetrales que, aunque cumplen con la Resolución 4272 de 2021, implican elevados costos operativos, retrasos y reasignación de recursos, afectando la disponibilidad de los ventiladores y la confiabilidad del sistema.

Por ello, es imprescindible diseñar e implementar un sistema de protección contra caídas que cumpla con las normativas vigentes y reduzca los riesgos asociados al trabajo en alturas. Este sistema debe minimizar tiempos improductivos, optimizar los mantenimientos preventivos y garantizar la seguridad de los trabajadores. Asimismo, debe incluir un procedimiento estandarizado que permita mejorar la eficiencia del equipo humano y asegurar la sostenibilidad operativa de las torres de enfriamiento.

La implementación de este sistema representa una solución técnica y normativa esencial para mejorar la seguridad, eficiencia y confiabilidad de los procesos industriales de la GRB, contribuyendo al cumplimiento de los planes de mantenimiento y a la sostenibilidad a largo plazo.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de protección contra caídas, para dar cumplimiento a las normativas colombianas de requisitos mínimos de seguridad para trabajos en alturas en la ejecución de mantenimientos preventivos de los ventiladores de torres enfriadoras de plantas industriales de Ecopetrol S.A.

3.2. Objetivos Específicos

Diseñar los puntos de anclaje para la instalación de línea de vida horizontal portátil en cable de acero en los conos de ventiladores de torres enfriadoras.

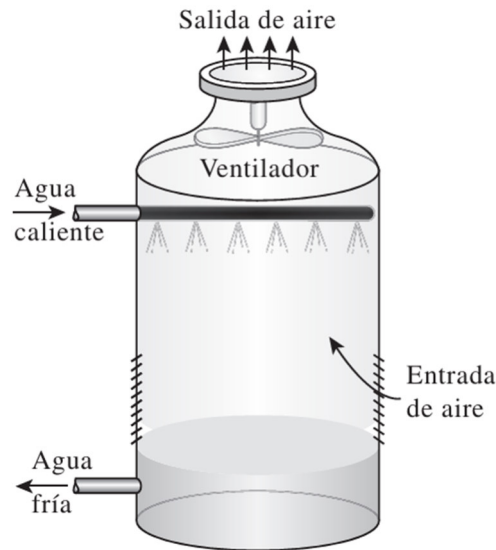
Evaluar el sistema de protección seguro contra caídas en trabajos en alturas (puntos de anclaje, línea de vida horizontal portátil en cable de acero, conectores y auto retráctiles).

Implementar el sistema de protección contra caídas en los conos de las torres enfriadoras de la GRB.

4. Sistema De Una Torre De Enfriamiento

4.1. Torre de Enfriamiento Húmedo

Figura 1. Torre de Enfriamiento a Contraflujo de Tiro Inducido



(Cengel & Boles, 2014)

Una torre de enfriamiento húmedo es básicamente un enfriador evaporativo semicerrado. En la Figura 1 se muestra de manera esquemática una torre de enfriamiento húmedo a contraflujo de tiro inducido. El aire entra a la torre por el fondo y sale por la parte superior. El agua caliente del condensador se bombea hacia la parte superior de la torre y se rocía en este flujo de aire. El propósito del rociado es exponer una gran área superficial de agua al aire. Cuando las gotas de agua caen bajo la influencia de la gravedad, una pequeña fracción del agua (por lo común un pequeño porcentaje) se evapora y enfría el agua restante. La temperatura y el contenido de humedad del aire aumentan durante este proceso. El agua enfriada se acumula en el fondo de la torre y se bombea de nuevo al condensador para absorber calor de desecho adicional. El agua de reposición debe añadirse al ciclo para sustituir el agua perdida por la evaporación y por el arrastre de agua. Para reducir la cantidad de agua transportada por el aire, se instalan mamparas deflectoras

en las torres de enfriamiento húmedo encima de la sección de rociado. La circulación del aire en la torre de enfriamiento recién descrita la proporciona un ventilador y, por lo tanto, ésta se clasifica como una torre de enfriamiento de tiro forzado (Cengel & Boles, 2014).

4.2. Torre de Enfriamiento Industrial

Figura 2. *Torre de Enfriamiento de la GRB*



Las torres de refrigeración industriales se emplean para disipar el calor generado por diversas fuentes, como maquinaria o materiales de proceso calentados. Su función principal es enfriar el agua de los sistemas de refrigeración circulante utilizados en centrales eléctricas, refinerías de petróleo, plantas petroquímicas y otras instalaciones similares. Estas torres transfieren el calor a la atmósfera donde es dispersado por el viento. La Figura 2 muestra la magnitud de una torre de enfriamiento industrial construida en campo y presente en la GRB. En particular, las refinerías de petróleo suelen contar con sistemas de torres de refrigeración de gran tamaño. Por ejemplo, una refinería que procesa 40.000 toneladas métricas de petróleo crudo al día (equivalente a 300.000 barriles o 48.000 m³ diarios) puede recircular aproximadamente 80.000 m³ de agua por hora a través de su sistema de refrigeración.

4.3. Componentes de una Torre de Enfriamiento

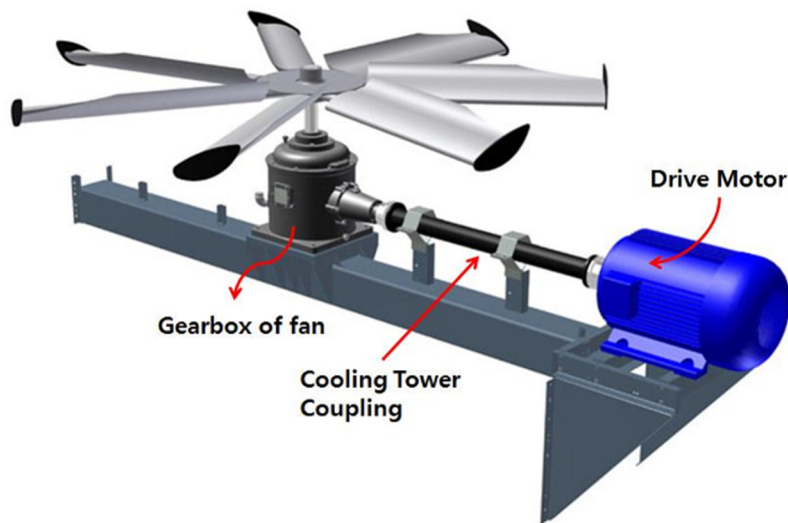
Figura 3. *Cono de Ventilador en una Torre de Enfriamiento*



Las torres de enfriamiento que se pueden encontrar en la GRB están conformadas por los siguientes elementos generales:

- Edificio de obra civil que es la estructura para la torre de enfriamiento.
- Mamparas deflectoras.
- Cono de la torre de enfriamiento.
- Motor eléctrico.
- Acople de eje largo.
- Reductor o caja de engranajes.
- Álabes del ventilador.
- Porta-álaves del ventilador.

Figura 4. Ventilador por Transmisión de Caja de Engranajes y Acoplamiento de Eje Largo



(Bae et al., 2017)

La Figura 3 muestra el cono de una torre de enfriamiento de la GRB. Asimismo, la Figura 4 muestra el sistema de transmisión de potencia para el funcionamiento del ventilador de una torre de enfriamiento de tiro forzado como las presentes en la GRB.

5. Mantenimiento de Ventiladores de Torres Enfriadoras

Como parte de la estrategia de mantenimiento, se llevan a cabo tareas de mantenimiento preventivo en las torres de enfriamiento de manera anual, así como mantenimientos generales cada seis años. Estas actividades incluyen labores como limpieza, calibración de la angularidad de los álabes, inspección del reductor, verificación de niveles de lubricación, cambio de aceite, revisión del estado de los acoples y alineación, entre otras.

Para ejecutar estas tareas, es necesario ingresar al cono, lo que implica trabajos en alturas. Por esta razón, resulta indispensable contar con un SPCCTA que garantice la seguridad de los trabajadores y prevenga accidentes durante la realización de estas labores.

instalación de andamios perimetrales en los conos utilizados como punto de anclaje para la línea de vida horizontal portátil en cable de acero. La ausencia de este sistema de seguridad impide el ingreso al cono para el montaje del andamio en su interior.

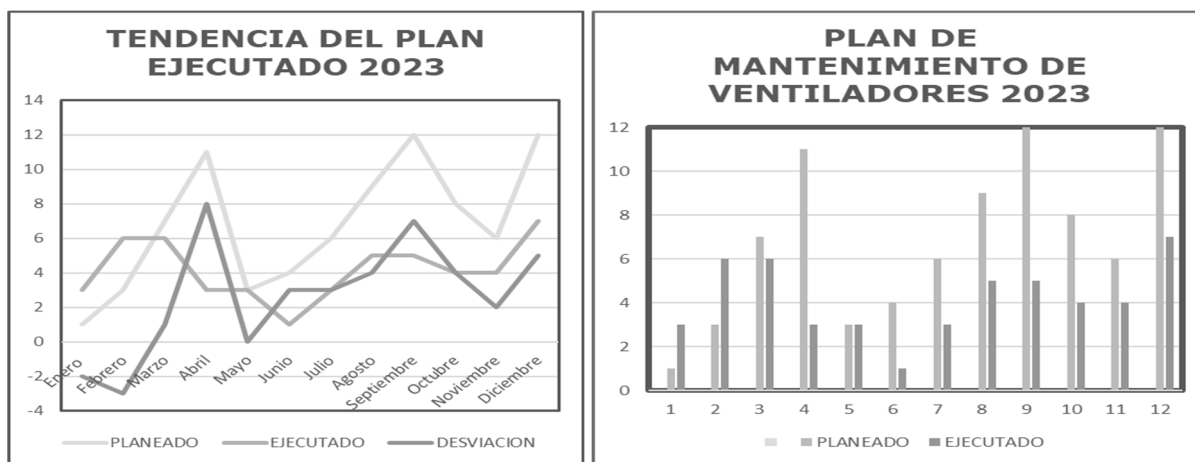
Se realizó un análisis de las desviaciones del plan de mantenimiento para los años 2023 y 2024, comparando las actividades programadas con las ejecutadas en ambos periodos.

Tabla 1. Plan de Mantenimiento Preventivo de Ventiladores de Torres Enfriadoras 2023

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE VENTILADORES DE TORRES ENFRIADORAS 2023													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
PLANEADO	1	3	7	11	3	4	6	9	12	8	6	12	82
EJECUTADO	3	6	6	3	3	1	3	5	5	4	4	7	50
DESVIACION	-2	-3	1	8	0	3	3	4	7	4	2	5	32

En 2023, el incumplimiento alcanzó el 39%, lo que resultó en la omisión del mantenimiento preventivo de 32 ventiladores. La Tabla 1 presenta el plan anual de mantenimiento de los ventiladores en comparación con el cumplimiento real desde enero hasta diciembre de 2023.

Figura 6. Tendencia del Plan Ejecutado 2023



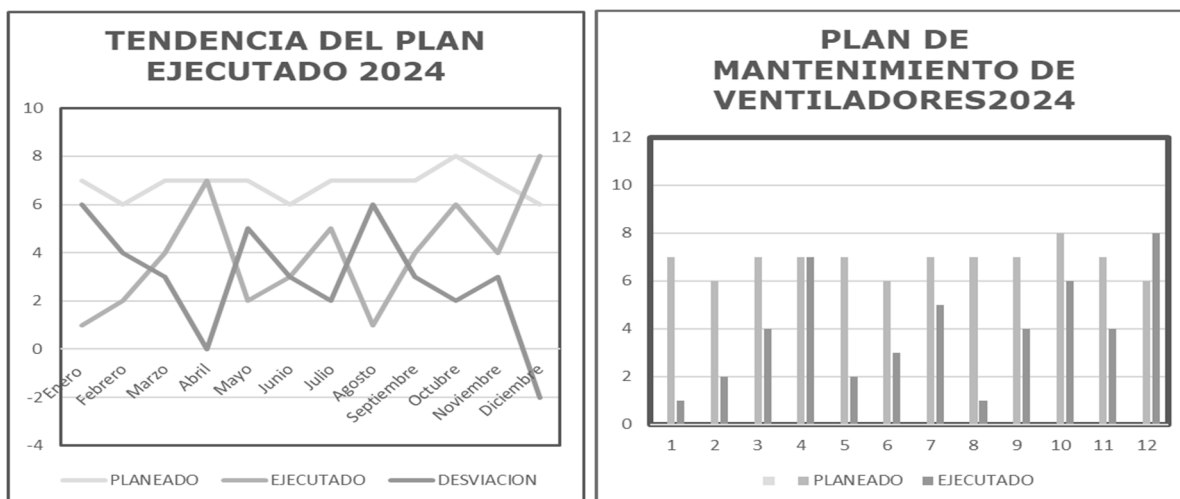
La Figura 6 evidencia la tendencia de lo ejecutado vs lo programado, lo cual indica que está por debajo de lo esperado durante el año 2023, afectando la confiabilidad y disponibilidad de ventiladores en las torres enfriadoras.

Tabla 2. Plan de Mantenimiento Preventivo de Ventiladores de Torres Enfriadoras 2024

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE VENTILADORES DE TORRES ENFRIADORAS 2024													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
PLANEADO	7	6	7	7	7	6	7	7	7	8	7	6	82
EJECUTADO	1	2	4	7	2	3	5	1	4	6	4	8	47
DESVIACION	6	4	3	0	5	3	2	6	3	2	3	-2	35

En el 2024 el incumplimiento fue del 43% y se dejaron de realizar el mantenimiento preventivo a 35 ventiladores. La Tabla 2 muestra el plan anual de mantenimiento de los ventiladores en comparación con el cumplimiento real desde enero hasta diciembre de 2024.

Figura 7. Tendencia Del Plan Ejecutado 2024



Al revisar el incumplimiento del periodo 2024, se identificó que una de las principales causas fue la falta de disponibilidad de personal especializado en andamiaje. Esto se debió a la transición y cambio de la empresa aliada responsable del montaje de andamios en los ventiladores de las torres de enfriamiento. Ante esta situación, surge la necesidad de diseñar un sistema de protección contra caídas para trabajos en altura, que sea de fácil instalación y cumpla con los requisitos mínimos establecidos en la Resolución 4272 de 2021. Este sistema debe permitir una reducción en los tiempos de instalación y requerir únicamente el mismo personal que realiza el desmontaje de las compuertas de los conos durante las intervenciones en los ventiladores.

6. Sistema de Protección Contra Caídas para Trabajo en Alturas

Este sistema está compuesto por diversos componentes esenciales. Entre ellos se encuentran los puntos de anclaje, los cuales deben tener una resistencia mínima de 5000 [lbf] en dirección horizontal y 3600 [lbf] en dirección vertical. Otro componente clave es la línea de vida horizontal portátil, que puede ser de cable de acero o cuerda, y debe incluir en cada extremo: un conector, un absorbedor de energía, dos puntos de anclaje portátiles y un tensor con su respectivo testigo. Es indispensable que todos estos componentes estén certificados por el fabricante o por una persona calificada, conforme a lo establecido en la Resolución 4272 de 2021.

6.1. Evaluación de la Altura Necesaria para el Diseño de Los Anclajes

Como parte del diseño del sistema, se realizó una inspección de las once torres enfriadoras presentes en la GRB, verificando la altura mínima requerida para cada cono. Esta evaluación tomó en cuenta la posición de las venas estructurales y la ubicación de la compuerta de acceso al interior de cada torre.

Figura 8. *Medición de la Altura Requerida en los Conos*



Por el diseño estructural de los conos en cada una de las torres se estandariza en diez de estas una altura de los puntos de anclaje tipo trípode a 2,0 [m] y la otra a 1,75 [m]. Los datos fueron

tomados con apoyo de ingeniero civil especialista estructural, al servicio de empresa aliada, Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil S.A.S., encargada de la inspección y mantenimiento de puntos de anclajes y líneas de vida fijas horizontales y verticales.

Tabla 3. *Inventario de Torres de Enfriamiento*

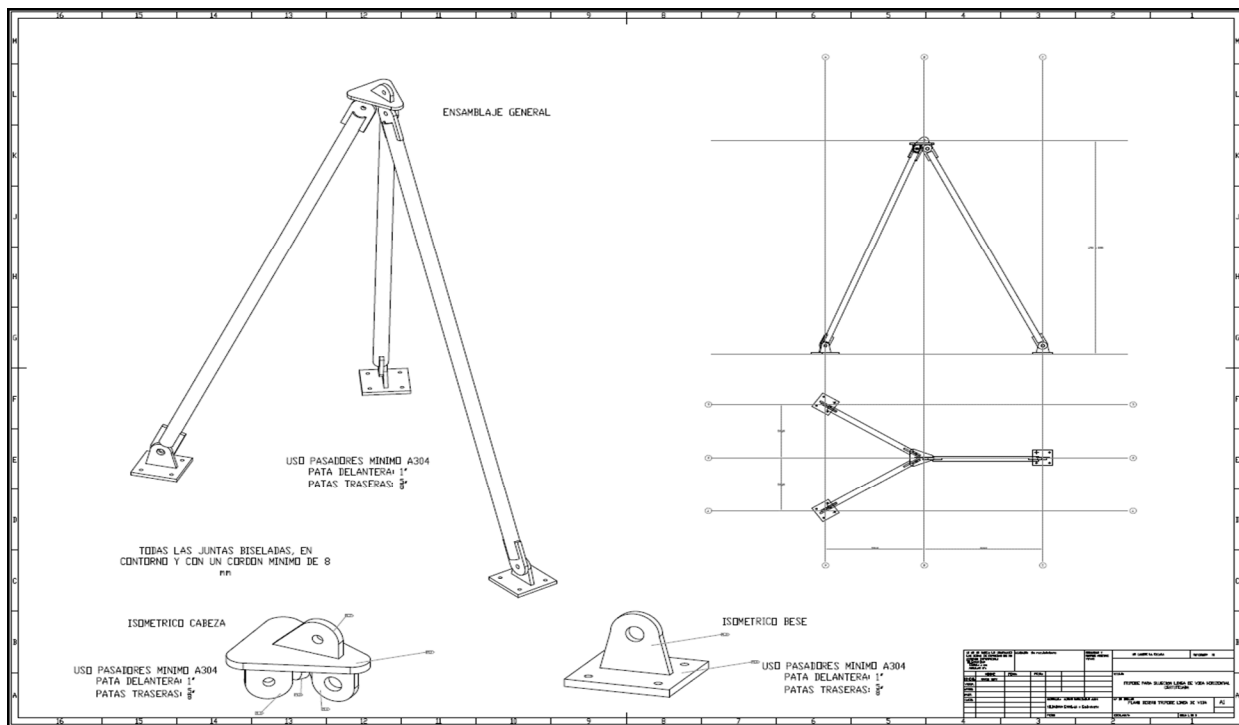
INVENTARIO DE LAS TORRES ENFRIADORAS					
Torre Enfriadora	Número de Ventiladores	Diámetro del Cono [m]	Altura de Compuerta [m]	Altura de Trípode [m]	Número de Inventario Trípode
801	14	7	2	2	TRIP801
801-ANEXA	2	7	2	2	TRIP801-1
820	8	7	2	2	TRIP820
820-ANEXA	3	7	2	2	TRIP820-1
831	8	7	2	2	TRIP831
850	10	7	1,75	1,75	TRIP850
880	5	7	2	2	TRIP880
890	8	7	2	2	TRIP890
2940	8	10	2	2	TRIP2940
2945	10	10	2	2	TRIP2945
4401	6	7	2	2	TRIP4401

6.2. Diseño de los Puntos de Anclaje para la Instalación de LVHT

En conjunto con la empresa aliada, Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS, se realizó el diseño y análisis estático para determinar que cumpla con la resistencia de un trípode como anclaje para protección contra caídas, donde el uso definido fue que este sistema se debe emplear únicamente como punto de anclaje para una línea de vida horizontal que asegure máximo 5000 lb de forma horizontal y 3600 lb de forma vertical.

En la Figura 9 se evidencia el sistema de trípode, el cual está compuesto por tres patas, además, tres anclajes tipo platina base frontal que unen cada pata al concreto y una platina corona que une los extremos de las tres patas en la parte superior.

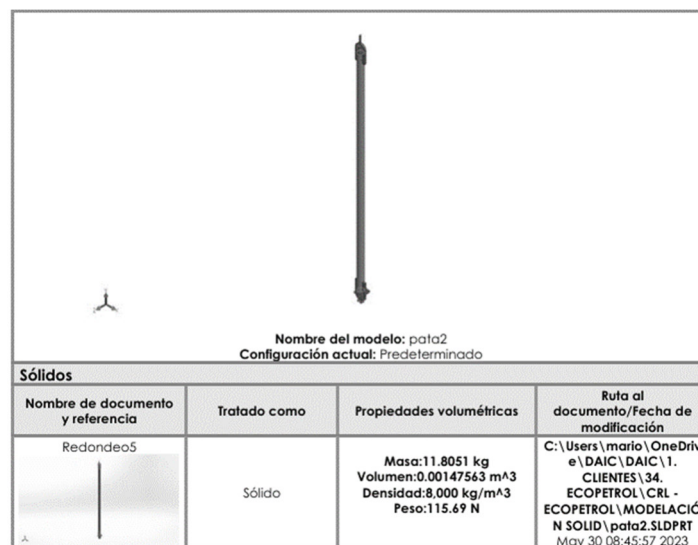
Figura 9. Diseño del Sistema De Anclaje Tipo Trípode



(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

6.2.1. Análisis Estático Pata a Compresión del Sistema Trípode

Figura 10. Pata de Trípode a Compresión



(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

Se realizó la simulación de análisis estático empleando el software SolidWorks, se utilizó una malla tipo sólida con 18023 nodos, el tipo de modelo fue isotrópico elástico lineal, el material del elemento fue acero inoxidable AISI 304, contando con una masa aproximada de 11.8 [kg].

Figura 11. Fuerzas y Momentos Resultantes Pata a Compresión

Fuerzas de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.499013	37,702.6	-3.42569	37,702.6

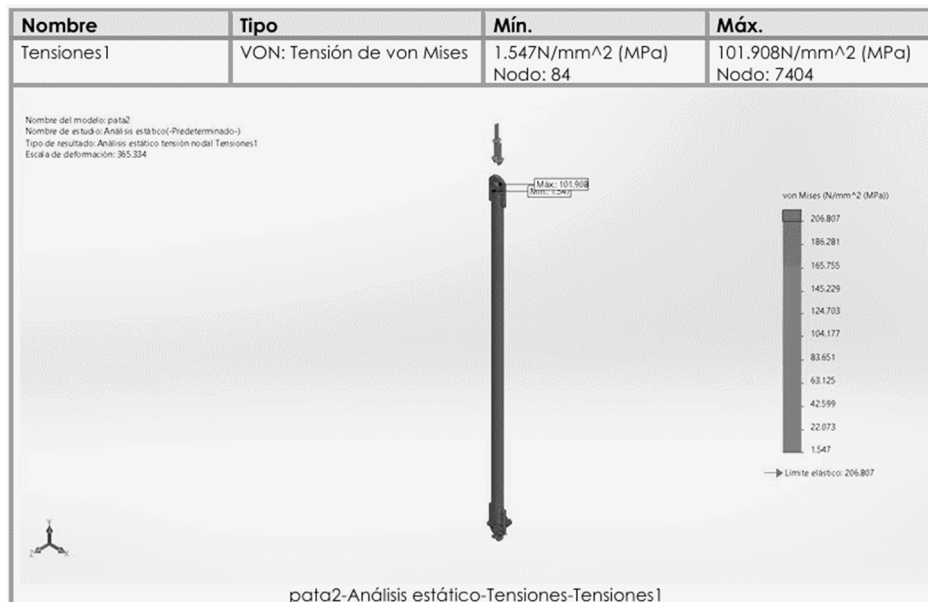
Momentos de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	146.425	-84.9206	-361.194	398.889

Momentos de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

Figura 12. Tensión de Von Mises Pata a Compresión

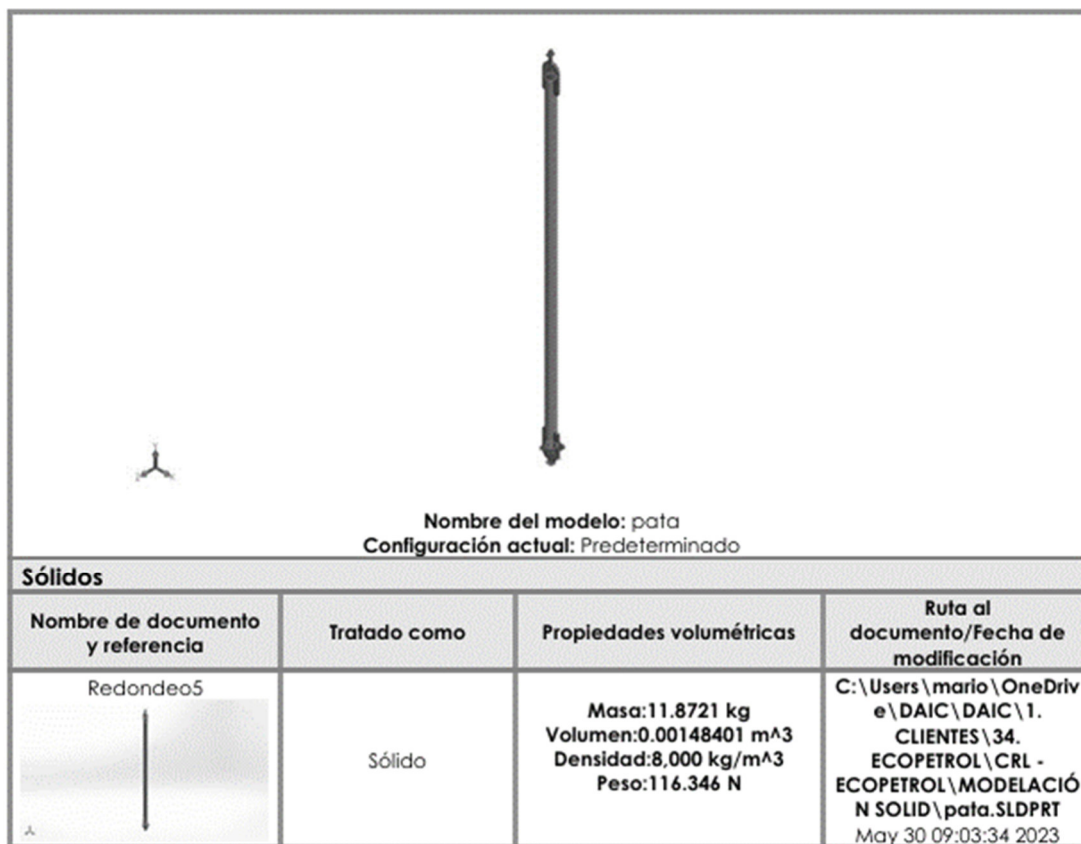


(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

La Figura 11 muestra las fuerzas y momentos resultantes del análisis estático de la pata que trabaja a compresión. La Figura 12 evalúa los esfuerzos según el criterio de Tensión de Von Mises, arrojando como tensión máxima 101.908 [MPa], el material cuenta con 206.807 [MPa] de límite elástico, lo cual concluye que este es un sistema competente para soportar una línea de vida horizontal certificada en conjunto con los demás componentes del trípode.

6.2.2. Análisis Estático Pata a Tensión del Sistema Trípode

Figura 13. Pata de Trípode a Tensión



(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

Se realizó la simulación de análisis estático empleando el software SolidWorks, se utilizó una malla tipo sólida con 21709 nodos, el tipo de modelo fue isotrópico elástico lineal, el material del elemento fue acero inoxidable AISI 304, contando con una masa aproximada de 11.8 [kg].

Figura 14. Fuerzas y Momentos Resultantes Pata a Tensión

Fuerzas de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.390067	-9,949.38	0.243673	9,949.38

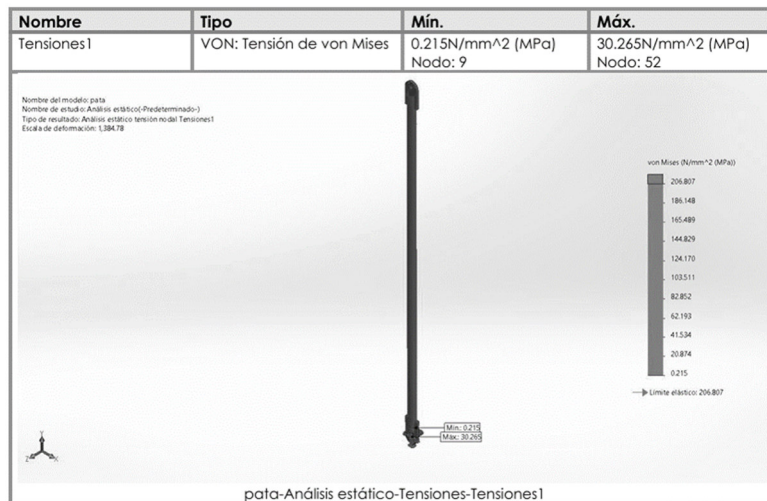
Momentos de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	29.9802	-27.4205	-26.8395	48.6935

Momentos de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

Figura 15. Tensión de Von Mises Pata a Tensión



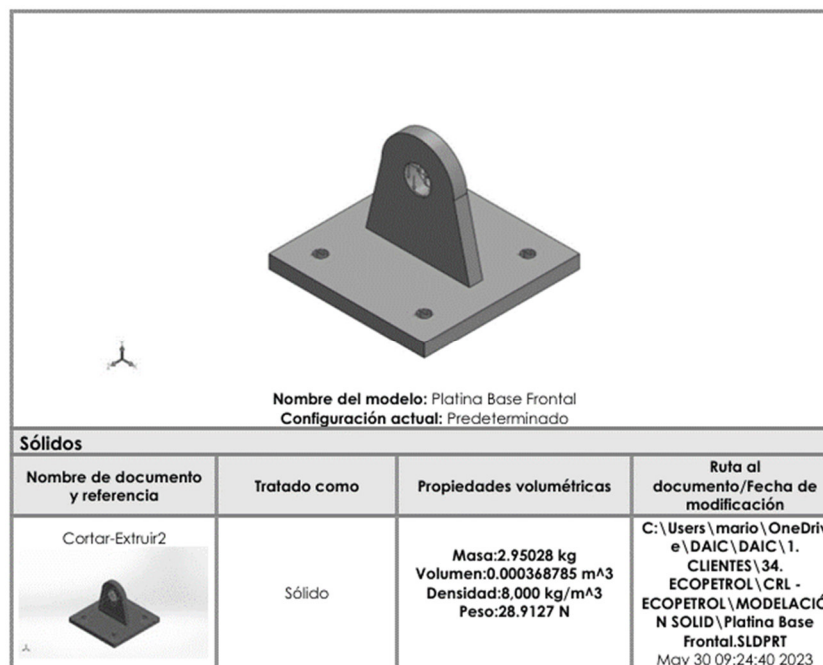
(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

La Figura 14 muestra las fuerzas y momentos resultantes del análisis estático de la pata que trabaja a compresión. La Figura 15 evalúa los esfuerzos según el criterio de Tensión de Von Mises, arrojando como tensión máxima 30.265 [MPa], el material cuenta con 206.807 [MPa] de límite

elástico, lo cual concluye que este es un sistema competente para soportar una línea de vida horizontal certificada en conjunto con los demás componentes del trípode.

6.2.3. Análisis Estático Platina Base Frontal

Figura 16. *Platina Base Frontal*



(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

Se realizó la simulación de análisis estático empleando el software SolidWorks, se utilizó una malla tipo sólida con 15142 nodos, el tipo de modelo fue isotrópico elástico lineal, el material del elemento fue acero inoxidable AISI 304, contando con una masa aproximada de 2.9 [kg].

La Figura 17 muestra las fuerzas y momentos resultantes del análisis estático de la platina base frontal. La Figura 18 evalúa los esfuerzos según el criterio de Tensión de Von Mises, arrojando como tensión máxima 124.115 [MPa], el material cuenta con 206.807 [MPa] de límite elástico, lo cual concluye que este es un sistema competente para soportar una línea de vida horizontal certificada en conjunto con los demás componentes del trípode.

Figura 17. Fuerzas y Momentos Resultantes Platina Base Frontal

Fuerzas de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-15,440	34,400	-7.05719e-05	37,706.2

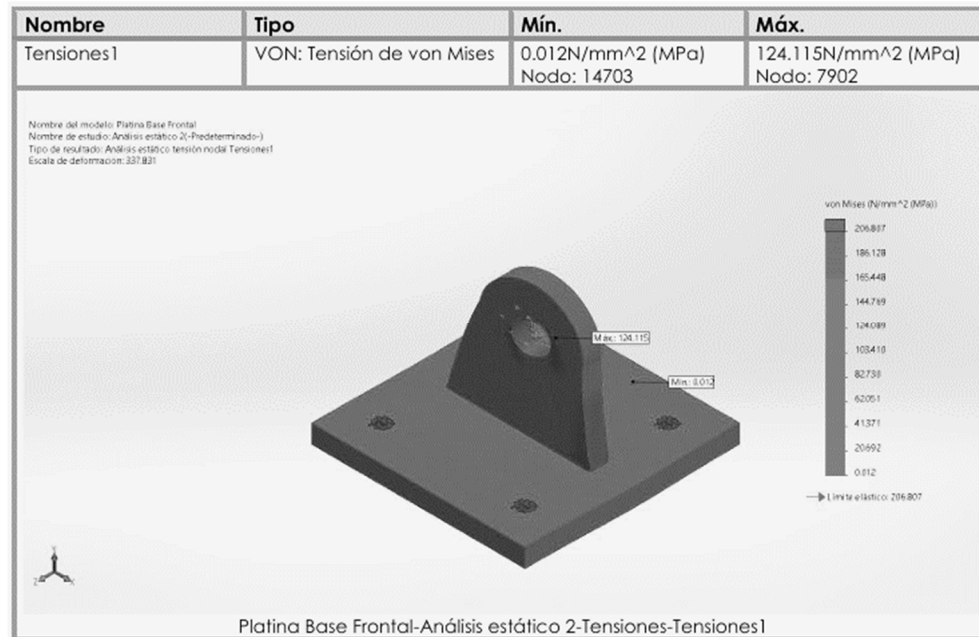
Momentos de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.00119019	0.00378847	5.14984e-05	0.00397136

Momentos de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

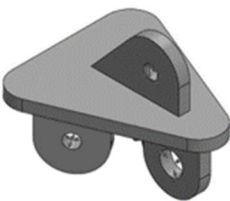
Figura 18. Tensión de Von Mises Platina Base Frontal








(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

6.2.4. Análisis Estático Platina Corona

Figura 19. Platina Corona



Nombre del modelo: Platina Corona
Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada>

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Cortar-Extruir1</p>	Sólido	<p>Masa:2.35371 kg Volumen:0.000294214 m³ Densidad:8.000 kg/m³ Peso:23.0664 N</p>	<p>C:\Users\mario\OneDrive\DAIC\DAIC\1.CLIENTES\34.ECOPETROL\CRL - ECOPETROL\MODELACION SOLID\Platina Corona.SLDPRT May 23 12:30:51 2023</p>
 <p>Redondeo10</p>	Sólido	<p>Masa:0.390086 kg Volumen:4.87608e-05 m³ Densidad:8.000 kg/m³ Peso:3.82285 N</p>	<p>C:\Users\mario\OneDrive\DAIC\DAIC\1.CLIENTES\34.ECOPETROL\CRL - ECOPETROL\MODELACION SOLID\Platina Corona.SLDPRT May 23 12:30:51 2023</p>
 <p>Redondeo9</p>	Sólido	<p>Masa:0.390086 kg Volumen:4.87608e-05 m³ Densidad:8.000 kg/m³ Peso:3.82285 N</p>	<p>C:\Users\mario\OneDrive\DAIC\DAIC\1.CLIENTES\34.ECOPETROL\CRL - ECOPETROL\MODELACION SOLID\Platina Corona.SLDPRT May 23 12:30:51 2023</p>
 <p>Saliente-Extruir11</p>	Sólido	<p>Masa:0.0231648 kg Volumen:2.8956e-06 m³ Densidad:8.000 kg/m³ Peso:0.227015 N</p>	<p>C:\Users\mario\OneDrive\DAIC\DAIC\1.CLIENTES\34.ECOPETROL\CRL - ECOPETROL\MODELACION SOLID\Platina Corona.SLDPRT May 23 12:30:51 2023</p>
 <p>Cortar-Extruir14</p>	Sólido	<p>Masa:0.356572 kg Volumen:4.45715e-05 m³ Densidad:8.000 kg/m³ Peso:3.4944 N</p>	<p>C:\Users\mario\OneDrive\DAIC\DAIC\1.CLIENTES\34.ECOPETROL\CRL - ECOPETROL\MODELACION SOLID\Platina Corona.SLDPRT May 23 12:30:51 2023</p>

(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

Se realizó la simulación de análisis estático empleando el software SolidWorks, se utilizó una malla tipo sólida con 35145 nodos, el tipo de modelo fue isotrópico elástico lineal, el material

del elemento fue acero inoxidable AISI 304, contando con una masa aproximada de 3.5 [kg] en total.

Figura 20. Fuerzas y Momentos Resultantes Platina Corona

Fuerzas de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-22,242.4	16,015.1	-0.0931149	27,408.2

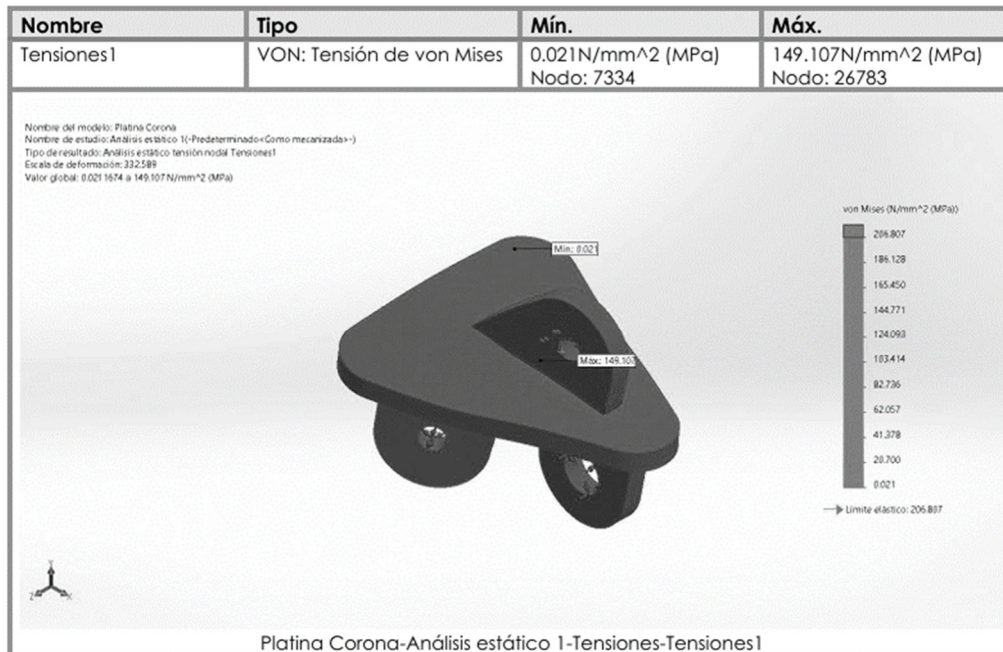
Momentos de reacción					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.0982879	1.10392	2.58198	2.80979

Momentos de cuerpo libre					
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

Figura 21. Tensión de Von Mises Platina Base Corona



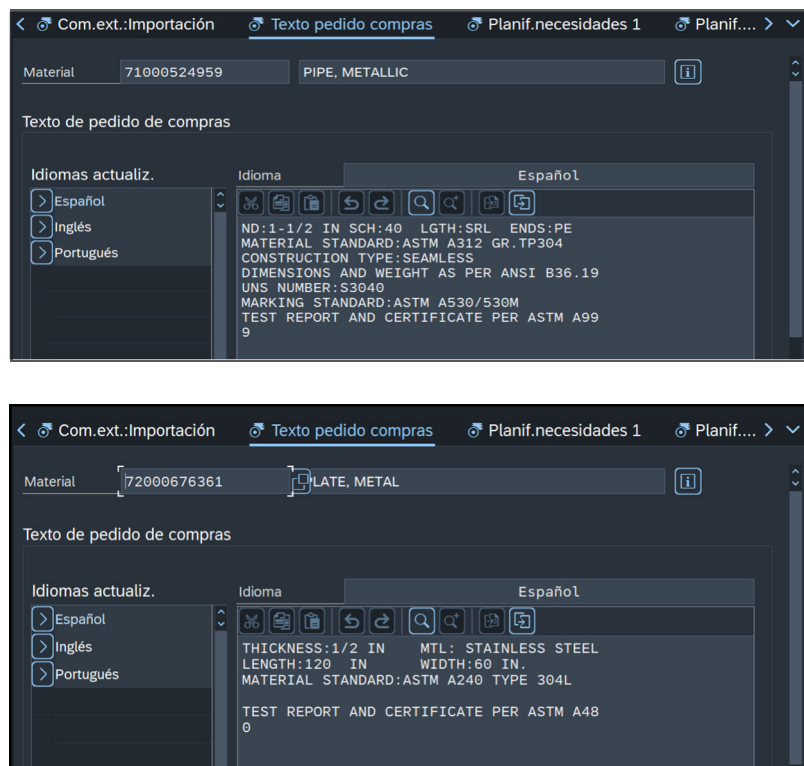
(Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS & Yory, 2024)

La Figura 20 muestra las fuerzas y momentos resultantes del análisis estático de platina base corona. La Figura 21 evalúa los esfuerzos según el criterio de Tensión de Von Mises, arrojando como tensión máxima 149.107 [MPa], el material cuenta con 206.807 [MPa] de límite elástico, lo cual concluye que este es un sistema competente para soportar una línea de vida horizontal certificada en conjunto con los demás componentes del trípode.

6.2.5. Procedimiento de Soldadura Utilizado

Los puntos de anclaje se fabricarán utilizando tubería de acero inoxidable 304 de 1 ½ pulgadas SCH40 y lámina de acero inoxidable 304 de ½ pulgada de espesor. Estos materiales están catalogados y disponibles en las bodegas de la refinería. Al momento de recibirlos, se verificará que cuenten con sus respectivos certificados de calidad de colada, debidamente estampados en el material.

Figura 22. Catalogación de Material en SAP para Construcción de Anclajes



El procedimiento para la aplicación de la soldadura a cada componente del trípode para el sistema de protección contra caídas fue el QW-482 Especificaciones del Proceso de Soldadura (E.P.S.) (WPS) SMAW (Ecopetrol S.A., 2001a), donde se consignan el material base, el material de aporte, el proceso de precalentamiento, clase de junta a soldar, diseño de la junta, gas protector, características del equipo, técnica de aplicación, tipos de ensayos, personas que certifican el proceso: soldador (con sus respectivos datos como certificado para el proceso), quien conduce las pruebas, inspectores y quien aprueba.

Procedimiento utilizado para los ensayos QW-483 Registro de Calificación del Procedimiento (R.C.P.) (PQR) SMAW (Ecopetrol S.A., 2001b). Este relaciona: diseño de la junta, elementos de protección a utilizar por el soldador, variables de la máquina de soldadura, entre otros.

6.3. Evaluación del Anclaje de las Platinas al Concreto

Para instalar los pernos de anclaje en las patas del trípode, es fundamental considerar las condiciones específicas del concreto en cada una de las once torres de enfriamiento de la refinería. Dado que el concreto presenta fisuras leves en algunos puntos, el procedimiento de instalación debe ajustarse a estas particularidades. Tras evaluar el estado del concreto en la parte superior de cada torre y considerando las condiciones estructurales, se decidió utilizar un adhesivo epóxico que cumple con los requisitos para orificios perforados en concreto agrietado, garantizando así la seguridad y efectividad del anclaje.

6.3.1. Epóxico Para Anclajes AnchorFix-3001

Adhesivo epóxico bicomponente diseñado para anclar barras corrugadas y pernos roscados en materiales como concreto y piedra. Ofrece alta resistencia en condiciones secas y húmedas, siendo ideal para aplicaciones estructurales con cargas medianas y altas.

Figura 23. Información del Producto

AnchorFix-3001 - Acero inoxidable A4-70	
Material	Acero inoxidable A4-70
Método de perforación	
Tipo	Anclaje químico
Homologación	
Profundidad del taladro	64.0 mm
Diámetro nominal de broca	12 mm
Profundidad efectiva del anclaje	64.0 mm



(Sika, 2024)

Figura 24. Condiciones Estimadas del Concreto

Hormigón (peso normal)	
Resistencia a compresión del hormigón	2500 psi (17.2 N/mm ²)
Zona	Hormigón fisurado (Zona de tracción)
Hormigón armado	
Armadura para fuerzas de tracción	No
Armadura para fuerzas de cortadura	No
Refuerzo para controlar la fisura	Sí
No evaluar rotura de hormigón a tracción	No
No evaluar rotura de hormigón a cortadura	No
Condiciones	
Temperatura máxima a corto plazo	55 °C
Temperatura máxima a largo plazo	43 °C
Inspección	Periodico
Condiciones de instalación	Seco
Dirección de instalación	Hacia abajo

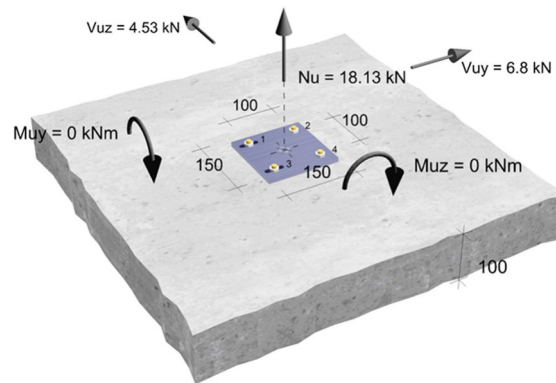
(Sika, 2024)

En la Figura 24 se muestra el diseño para el punto de anclaje, donde se tienen en cuenta valores estimados, para las respectivas pruebas las cuales se hacen con la ayuda de un simulador, para determinar la resistencia en cada perno roscado instado en el concreto. Cargas de tensión y de corte de varillas roscadas en hormigón agrietado a 4000 psi.

Tabla 4. Fuerzas de Sección Anclajes

Anclaje Nr.	Tracción [kN]	Cortadura [kN]
1	4.53 kN	1.13 kN
2	4.53 kN	3.58 kN
3	4.53 kN	1.13 kN
4	4.53 kN	3.58 kN

(Sika, 2024)

Figura 25. *Distribución Esquemática de los Puntos de Anclaje y Fuerzas de Sección*

(Sika, 2024)

La Figura 25 muestra la distribución de los puntos de anclaje, identificando cómo interactúan los momentos y fuerzas en el concreto.

6.3.2. Comprobador De Tracción Digital Ståht t60

Una vez definidas las especificaciones de instalación de los pernos roscados, de acuerdo con el procedimiento establecido por Sika, se procede a realizar pruebas de tracción en sitio para cada perno. Estas pruebas permiten verificar individualmente la efectividad de la instalación y garantizar que se cumpla la resistencia necesaria para soportar las cargas del trípode en su totalidad. El kit está diseñado para probar anclajes y pernos de seguridad hasta una carga máxima de 13489 [lbf] [60 [kN]], lo cual facilita realizar las pruebas de tracción de los anclajes en sitio.

Figura 26. *Comprobador De Tracción Digital Ståht t60*

(Ståht, s/f)

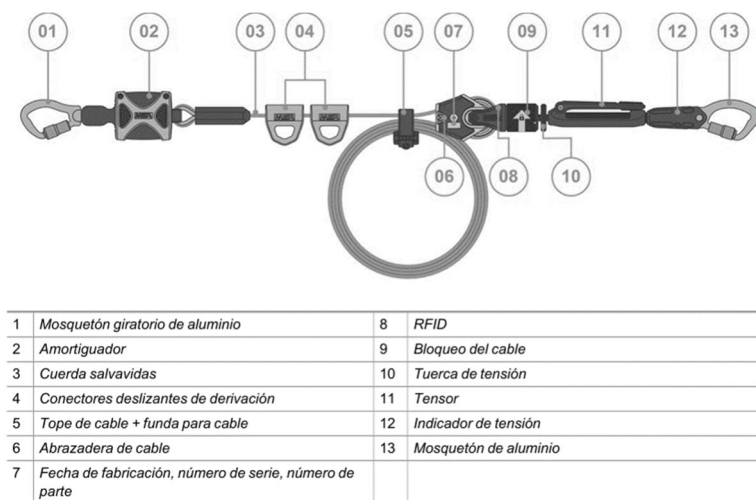
6.4. Líneas de Vida Horizontal Portátil

El SPCCTA está compuesto por puntos de anclaje y una línea de vida horizontal portátil. Esta línea debe incluir en cada extremo un conector, un absorbedor de energía y un tensor con su respectivo testigo. En este caso, se emplearán líneas de vida horizontales portátiles fabricadas en cable de acero por MSA y DBI-SALA (3M), las cuales cuentan con sus respectivos certificados de fabricación.

6.4.1. Línea De Vida Horizontal Temporal De Cable (MSA)

Esta línea de vida está diseñada para suspenderse entre dos puntos de anclaje certificados y debe usarse para desplazamientos horizontales, en donde solo deben estar conectados dos personas al tiempo. Debe ser instalada por personal capacitado y antes de usarse debe ser inspeccionada por una persona autorizada o calificada.

Figura 27. Vista General De La LVHT MSA



(MSA Safety, 2022)

La carga de detención no debe superar las 2460 [lbf] (11,0 [kN]). Los puntos de anclaje deben soportar un factor de seguridad de 2:1; esto quiere decir que deben tener una resistencia de 5000 [lbf] (22,0 [kN]). Se deben seguir todas las instrucciones del fabricante para su utilización.

Tabla 5. *Especificaciones Del Producto LVHT MSA***Cumplimiento de las normas**

- Probado con éxito y certificado conforme a: EN 795:2012 Tipo C - **1 usuario** – de 5 a 60 pies (de 1.5 a 18.3 m)
- Probado con éxito conforme a: CEN/TS 16415:2013 - **2 usuarios** – de 5 a 60 pies (de 1.5 a 18.3 m)

Sistema de 8 pies (2.4 m)	Sistema de 60 pies (18.3 m)
Usuarios máximos: 2	Usuarios máximos: 2
Capacidad: 310 lb (141 kg) por persona, incluyendo el peso del usuario, las herramientas y la ropa	Capacidad: 310 lb (141 kg) por persona, incluyendo el peso del usuario, las herramientas y la ropa
Peso del producto: 12 lb (5.5 kg)	Peso del producto: 19.8 lb (9.0 kg)
Máx. longitud: 8 pies (2.4 m)	Máx. longitud: 60 pies (18.3 m)

(MSA Safety, 2022)

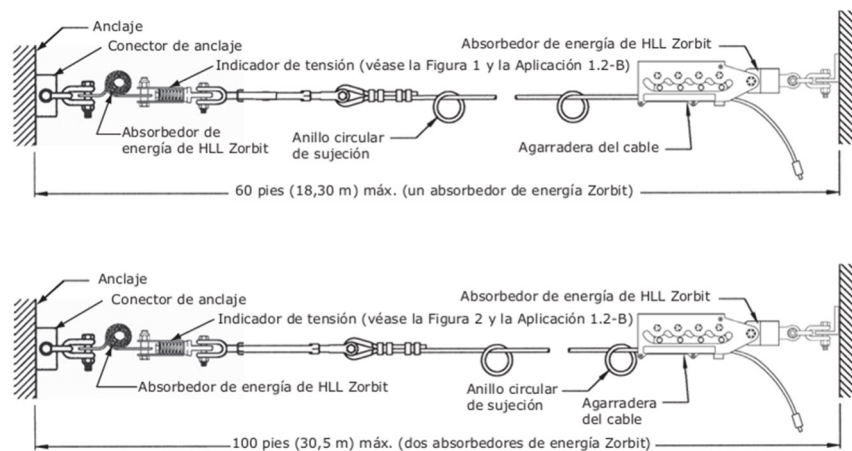
Tabla 6. *Materiales De Los Componentes LVHT MSA*

Componente	Material
Mosquetones	Aluminio
Cubierta del amortiguador	Policarbonato
Cuerda salvavidas	Cable de acero galvanizado con núcleo de fibra de 0.3125" (8 mm) 6x19 <ul style="list-style-type: none"> • Área de la sección transversal de la cuerda salvavidas: 0.042 pulg.² (27.52 mm²) • Resistencia a la tracción de la cuerda salvavidas: 1770 MPa (256,716 psi)
Amortiguador	Poliéster natural de 1.65 pulg. (42 mm) <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mínima a la rotura: 6744 lb (30 kN) • Fuerza máxima de despliegue: 2460 lb (11.0 kN) • Fuerza media de despliegue: 1600 lb (7 kN) • Despliegue máximo: 49 pulg. (1,25 m)
Tensor	Acero o aluminio
Correa de respaldo	Cincha de Dyneema® de 1.65 pulg. (42 mm)
Indicador de tensión	Aluminio
Abrazadera de cable	Acero o aluminio
Conectores deslizantes de derivación	Acero

(MSA Safety, 2022)

6.4.2. Línea De Vida Horizontal Sayfline (DBI SALA)

Esta línea de vida horizontal portátil en cable de acero está diseñada para que se anclen de uno a dos sistemas personales de detención de caídas. Se debe usar solo para desplazamientos horizontales, el indicador de tensión también conecta con un absorbedor de energía, el factor de seguridad es de 2:1.

Figura 28. *Instalación Típica De Línea De Vida Sayflne*

(DB Industries Inc. DBI-SALA, 2012)

Figura 29. *Especificaciones Técnicas Línea De Vida Sayflne***MATERIALES:**

Absorbedor de energía Zorbit: acero inoxidable
 Indicador de tensión: acero enchapado en zinc
 Cable: 3/8 pulgada de diámetro, acero galvanizado de 7x19
 Pernos: aleación de acero grado 5 o grado 8, enchapado en zinc
 Tuercas: acero enchapado en zinc
 Grilletes: acero galvanizado; 5000 libras (22,2 kN) de resistencia mínima a la tracción
 Guardacabos: acero galvanizado
 Tensor: acero galvanizado; 5000 libras (22,2 kN) Resistencia mínima a la tracción
 Sujetacables: acero galvanizado

CARACTERÍSTICAS DEL ABSORBEDOR DE ENERGÍA:

Carga de extensión dinámica máxima: 2500 libras (11,1 kN)
 Carga de extensión dinámica promedio: 2000 libras (8,9 kN)
 Extensión máxima: 48,5 pulgadas (1,2 m)
 Resistencia mínima a la tracción: 5.000 libras (22,2 kN)
 Patentes en trámite

(DB Industries Inc. DBI-SALA, 2012)

Esta línea de vida horizontal cuenta con una capacidad de un peso máximo por persona de 141 [kg]. Se deben seguir todas las instrucciones del fabricante antes de su uso e instalación.

7. Implementación del Sistema Seguro para Trabajos en Alturas

Para la implementación de este sistema de protección para trabajo seguro en alturas, se inició por la fabricación de cada componente en los talleres de mantenimiento de la refinería y los materiales utilizados los cuales se encontraban en bodega de Zona C, aprovechando que estos habían quedado de proyectos anteriores, asegurando por medio del código y estampe en las láminas y tuberías, de que cuenten con su respectivo certificado de colada en los archivos de bodega.

Se elaboran las especificaciones técnicas para elaboración de un contrato en el cual se contemplan todos los requisitos para los servicios de inspección, mantenimiento, certificación de sistemas de prevención y protección contra caídas y resistencia de barandas para la gerencia refinería Barrancabermeja GRB de Ecopetrol S.A. (Ecopetrol S.A., 2023). El alcance incluye los siguientes servicios:

- Servicio de inspección y certificación de puntos de anclaje.
- Servicio de inspección, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y certificación de líneas de vida fijas verticales.
- Servicios instalación y certificación de líneas de vida verticales por primera vez.
- Pruebas de resistencia estructural de las barandas de la GRB acorde a la resolución 4272 de 2021 y/o la que modifique o derogue.
- Servicio armado de andamios externos.
- Servicio de desarmado de andamios externos.
- Servicio alquiler de manlift con operador.
- Servicio de inspección de puntos de anclaje.
- Servicio de certificación de puntos de anclaje.

7.1. Condiciones para el Desarrollo del Contrato

El contratista debe estar certificado por el fabricante de los sistemas de líneas de vida y puntos de anclaje para realizar inspecciones, instalaciones y mantenimientos, cumpliendo con la Resolución 4272 de 2021 del Ministerio de Trabajo o cualquier norma vigente que la sustituya.

7.1.1. Ejecución de Trabajos

Las actividades se desarrollarán en áreas administrativas, operativas y de mantenimiento de la Gerencia Refinería Barrancabermeja, garantizando calidad en los procesos y resultados. El contratista trasladará los sistemas de líneas de vida, puntos de anclaje y repuestos, suministrados por Ecopetrol, desde el lugar de almacenamiento hasta el área de trabajo.

7.1.2. Requisitos del Personal

El equipo debe contar con personal calificado, competente y técnico instalador, todos certificados por el fabricante del equipo de prevención y protección contra caídas.

7.1.3. Informes Obligatorios

El contratista entregará:

Reporte de instalación: Detallando fecha, equipo instalado, serial, ubicación, torques aplicados (si corresponde) y firma del representante autorizado.

Informe técnico: Incluyendo cálculos de resistencia y detalles del proceso, elaborado por personal calificado según la normativa vigente.

Dossier final: En formato físico y digital, que consolide:

- Líneas de vida inspeccionadas, aceptadas, rechazadas e instaladas.
- Estado antes y después de la intervención.
- Registro fotográfico y protocolos de pruebas.
- Situación final del sistema y registro de horas hombre ejecutadas.

Los informes deben presentarse dentro de los 5 días calendario posteriores a la finalización de las actividades según el cronograma.

7.1.4. *Certificación y Requisitos Técnicos*

Ecopetrol considerará cumplido el contrato solo si se ejecutan satisfactoriamente las inspecciones, mantenimientos, instalaciones y certificaciones, respetando las especificaciones técnicas del fabricante y la Resolución 4272 de 2021.

7.1.5. *Instalación de Puntos de Anclaje*

El contratista instalará y certificará los puntos de anclaje, suministrados por Ecopetrol, asegurando el cumplimiento de los estándares de resistencia. Estos se instalarán en estructuras definidas por la refinería y se destinarán a proteger la vida y los equipos.

Los puntos de anclaje diseñados por ingeniería deberán ser probados y certificados por una persona calificada, con planos y memorias de cálculo firmados, cumpliendo con la normativa vigente. Cada punto incluirá un sistema de identificación que detalle:

- Fecha de instalación e inspección.
- Resistencia.
- Marca, serial y referencia.
- Uso permitido y número de usuarios.

Además, se elaborará una hoja de vida para cada anclaje, con información sobre tipo, ubicación, instalador, resistencia, inspecciones y pruebas realizadas.

7.1.6. *Sistema de Trípodes para Torres Enfriadoras*

En las torres enfriadoras, los puntos de anclaje incluirán trípodes diseñados para soportar líneas de vida horizontales. Estos sistemas deberán ser probados y certificados según los requisitos de la Resolución 4272 de 2021.

7.2. Procedimiento para Instalación del Sistema

Se elaboro un instructivo operacional para la instalación y retiro de todo el sistema de protección contra caídas (puntos de anclaje y línea de vida horizontal portátil en cable de acero) (Ecopetrol S.A., 2024), donde se explica la instalación y el retiro del sistema completo de línea de vida de manera confiable, segura y estandarizada. Esto incluye los puntos de anclaje y la línea de vida horizontal portátil en cable de acero, garantizando la seguridad y confiabilidad del sistema de protección contra caídas durante los trabajos de mantenimiento en los ventiladores de las torres enfriadoras.

Figura 30. *Instructivo Operacional para la Instalación y Retiro de SPCCTA*


	INSTRUCTIVO OPERACIONAL PARA LA INSTALACIÓN Y RETIRO DE TODO EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS (PUNTOS DE ANCLAJE Y LÍNEA DE VIDA HORIZONTAL PORTÁTIL EN CABLE DE ACERO)		
	REFINACIÓN GERENCIA DE MANTNIMINETO BARRANCABERMEJA		
	RFN-I-9378	Elaborado 31/01/2024	Versión: 1

TABLA DE CONTENIDO

1.OBJETIVO..... 3

2.CONDICIONES GENERALES 3

 2.1. Frecuencia de Revisión y de Ciclo de Trabajo 3

 2.2. Valoración RAM 3

 2.3. Peligros, Riesgos, Controles de Seguridad y Responsable..... 3

 2.4. Aspectos, Impactos y Controles Ambientales 16

 2.5. Referencias..... 17

 2.6. Equipo Personal de Protección 17

 2.7. Recursos Materiales 18

 2.8. Datos de Diseño 18

 2.9. Sistemas de Protección..... 18

 2.10. Lazos de Control..... 18

 2.11. Rango de Aplicación 18

 2.12. Guías de Control y Ventanas Operativas..... 18

 2.13. Diagramas y Planos 18

(Ecopetrol S.A., 2024)

Figura 31. *Relación de Versiones del Instructivo Operacional*

Documento Anterior		
Versión	Código y Título del documento	Cambios
Documento Nuevo		
Versión	Fecha dd/mm/aaaa	Cambios
1	31/01/2024	Creación del Documento.
Para mayor información dirigirse a: Autor(es): Luis Fernando Martinez Becerra Teléfono: Buzón: Dependencia: Departamento de mantenimiento Proactivo - 10000295		
Revisado electrónicamente por:		Aprobado electrónicamente por:
EDWING PARRA CAMARGO Líder de Excelencia Equipo Rotativo Cédula de Ciudadanía No. Gerencia de Mantenimiento de la refinería Barrancabermeja		SERGIO FERNANDO AMAYA ROJAS Jefe de departamento de Mantenimiento Proactivo Cédula de Ciudadanía No. Gerencia de Mantenimiento de la refinería Barrancabermeja
Documento firmado electrónicamente, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 2364 de 2012, por medio del cual se reglamenta el artículo 7 de la Ley 527 de 1999, sobre la firma electrónica y se dictan otras disposiciones. Para verificar el cumplimiento de este mecanismo, el sistema genera un reporte electrónico que evidencia la trazabilidad de las acciones de revisión y aprobación por los responsables. Si requiere verificar esta información, solicite dicho reporte a Service Desk.		

(Ecopetrol S.A., 2024)

8. Conclusiones

El diseño de los puntos de anclaje en los conos de los ventiladores de las torres enfriadoras ha sido adecuado para asegurar la instalación de la línea de vida horizontal portátil en cable de acero. Los anclajes fueron calculados para resistir las cargas generadas durante el uso y cumplir con las normativas de seguridad vigentes (Resolución 4272 de 2021), garantizando la estabilidad y efectividad del sistema de protección contra caídas. El diseño fue validado con base en los requisitos estructurales y operacionales de la GRB.

El sistema de protección contra caídas, compuesto por puntos de anclaje, líneas de vida horizontales portátiles, conectores y dispositivos autorretráctiles, fue evaluado exhaustivamente y cumple con los estándares de seguridad requeridos para trabajos en alturas. Los resultados mostraron que, al integrar estos componentes, el sistema proporciona una protección integral y eficaz, minimizando riesgos de caídas y asegurando la protección de los trabajadores durante el mantenimiento de los ventiladores en las torres enfriadoras.

La implementación del sistema de protección contra caídas en los conos de las torres enfriadoras de la GRB está en desarrollo e implementación. Los puntos de anclaje se están instalando progresivamente según el seguimiento y desarrollo del contrato.

La implementación de este SPCCTA ayudará a mantener la seguridad de los mantenedores en los mantenimientos anuales y generales en los ventiladores de las torres de enfriamiento. Esto contribuirá al cumplimiento de la ejecución del mantenimiento, para garantizar la disponibilidad y equipo confiable y el cumplimiento de la estrategia de mantenimiento de la Gerencia de Mantenimiento de la refinería de Barrancabermeja.

9. Recomendaciones

Es fundamental implementar una frecuencia de inspecciones periódicas del sistema de protección contra caídas, especialmente de los puntos de anclaje y las líneas de vida horizontales portátiles. Esto asegurará su buen estado y funcionalidad a lo largo del tiempo. Además, el sistema debe ser revisado tras cada intervención para detectar posibles desgastes o daños.

Se recomienda establecer un programa de capacitación continua para el personal encargado del mantenimiento preventivo de los ventiladores, enfocándose en el uso adecuado de los sistemas de protección contra caídas. Este entrenamiento debe incluir tanto la instalación y mantenimiento del sistema como la respuesta a emergencias relacionadas con trabajos en alturas.

Es importante mantenerse actualizado con las normativas y mejores prácticas nacionales e internacionales sobre trabajos en alturas. Se recomienda revisar y ajustar el sistema de protección cada vez que haya cambios normativos o avances en tecnologías de seguridad laboral.

Es esencial mantener una documentación detallada sobre todas las actividades relacionadas con el sistema de protección contra caídas. Esto incluye registros de instalación, inspección, mantenimiento y capacitación, garantizando la trazabilidad y el cumplimiento de los requisitos legales y normativos.

Aunque el sistema está diseñado para prevenir caídas, se debe asegurar que todos los trabajadores estén capacitados no solo en el uso del sistema, sino también en la respuesta a emergencias. Implementar simulacros regulares puede ayudar a que los trabajadores se familiaricen con los procedimientos de rescate y primeros auxilios en caso de accidente.

Referencias Bibliográficas

- Bae, J., Kang, J., Lee, H., Jeong, S., & Park, S. (2017). Composite Long Shaft Coupling Design for Cooling Towers. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12 (21), 11555. https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n21_144.pdf
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2014). *Termodinámica* (8a ed.). McGraw-Hill Interamericana de Editores S.A. de C.V.
- DB Industries Inc. DBI-SALA. (2012). Manual de instrucciones para el usuario del anticaídas horizontal de cable SayflinTM.
- Diseños y Aplicaciones de Ingeniería Civil SAS, & Yory, M. (2024). CERTIFICACIÓN EQUIPO TRIPODE PARA ANCLAJE DE LINEA DE VIDA HORIZONTAL CERTIFICADA QUE ASEGURE MAXIMO 5000 LB DE FORMA HORIZONTAL Y 3600 LB DE FORMA VERTICAL.
- Ecopetrol S.A. (2001a). QW-482 ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA (E.P.S.) (WPS) SMAW.
- Ecopetrol S.A. (2001b). QW-483 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (R.C.P.) (PQR) SMAW.
- Ecopetrol S.A. (2001c). QW-484 REGISTRO DE ENSAYOS A CALIFICAR LA HABILIDAD DEL SOLDADOR (WPQ).
- Ecopetrol S.A. (2023). PSR-ET-001 CONTRATO MARCO PARA LOS SERVICIOS DE INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO, INSTALACIÓN, CERTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS Y RESISTENCIA DE BARANDAS PARA LA GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA GRB DE ECOPETROL S.A.

Ecopetrol S.A. (2024). RFN-I-9378 INSTRUCTIVO OPERACIONAL PARA LA INSTALACIÓN Y RETIRO DE TODO EL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS (PUNTOS DE ANCLAJE Y LÍNEA DE VIDA HORIZONTAL PORTÁTIL EN CABLE DE ACERO).

MSA Safety. (2022). Ficha técnica e *instrucciones de uso cuerda salvavidas de cable horizontal provisional*.

Resolución 0491 de 2020 [Ministerio del Trabajo]. Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajos en espacios confinados y se dictan otras disposiciones. 24 de febrero de 2020. <https://ccs.org.co/wp-content/uploads/2020/02/Resolucion-0491del-2020-REGLAMENTO-TRABAJO-SDEGURO-EN-ESPACIOS-CONFINADOS.pdf>

Resolución 4272 de 2021 [Ministerio del Trabajo]. Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajo en alturas. 27 de diciembre de 2021. <https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/2022-03/Resolucion%204272-2021%20Reglamenta%20Trabajo%20en%20Alturas%20%281%29.pdf>

Sika. (2024). Cálculo de anclaje AnchorFix-3001 - Acero inoxidable A4-70 M10.

Ståht. (s/f). Brochure t60 Digital Pull Tester Kit. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0592/6744/8999/files/Staht_Official_Brochure_Design_T60_R3_WEB_READY.pdf?v=1682539984

Urzola Visbal, J., & SITTCA S.A.S. (2023). CALCULO ESTRUCTURAL PARA TORRE DE ANDAMIOS ALREDEDOR DE UN CONO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO PARA SU MANTENIMIENTO SU857 / SU854 PARA ECOPETROL – BARRANCABERMEJA, PARA INSTALACION DE DOS LINEAS DE VIDA PARA

UNA CAPACIDAD DE CARGA POR PUNTO DE ANCLAJE DE CADA UNA DE 5000 LB (2.268 TN) HORIZONTAL Y 3600 LB (1600 KG) DE MANERA VERTICAL.