

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica

Unidad de Posgrado



Tesis:

Recuperación estructural de la pluma de una grúa de celosía P&H 9125TC basado en el análisis de la confiabilidad por Ensayos No Destructivos y simulación numérica

Elaborado por:

Denis Jhoel Tello Preciado

Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con mención en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento

Asesor:

Mg. Victor Nilo Acosta Pastor

Lima, Perú

2025

DEDICATORIA

Dedicado a esposa e hijos por ser la fuerza que me anima a seguir progresando, todo esfuerzo es por ustedes.

Denis Tello

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor, el Mg. Victor Nilo Acosta Pastor, por su amistad y el apoyo brindado en la elaboración y culminación de este trabajo tesis.

A los profesores y autoridades de la Universidad Nacional de Ingeniería y de la Facultad de Ingeniería Mecánica por el maravilloso programa de maestría desde que ingresé y a Noemi, nuestra coordinadora, por su apoyo.

A los amigos, colegas, compañeros de aulas y de trabajo de los cuales he aprendido a ser mejor persona y profesional.

A mis hijos, padres, hermanos, familiares por ser parte y apoyo fundamental de mi vida.

Y a Dios, por todo.

RESUMEN

El presente trabajo aborda la recuperación estructural de la pluma de una grúa de celosía P&H 9125TC, aplicando un análisis de confiabilidad basado en Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica por el método de elementos finitos (FEM). Se identificaron y evaluaron defectos estructurales, como fisuras y corrosión, mediante inspección visual, líquidos penetrantes y medición de espesores. Complementariamente, la simulación numérica en ANSYS permitió analizar la distribución de esfuerzos y validar el impacto de la reparación en la integridad de la pluma. Los objetivos incluyen la validación de los END en la detección de fallas críticas, la evaluación del impacto de los esfuerzos acumulados y la efectividad de los procedimientos de reparación por soldadura según el Código ASME Sección IX. Los resultados confirmaron que la pluma presentaba esfuerzos concentrados que comprometían su funcionalidad. Tras la recuperación, el análisis FEM demostró una reducción de tensiones y un factor de seguridad óptimo. La contrastación de hipótesis verificó que la combinación de END y simulación FEM mejora la seguridad y operatividad de la pluma, optimizando su confiabilidad y prolongando su vida útil. Este enfoque refuerza la importancia del diagnóstico avanzado en la inspección y mantenimiento de grúas industriales.

Palabras Clave: Recuperación estructural, Ensayos No Destructivos, Simulación numérica, Análisis de confiabilidad, Método de Elementos Finitos.

ABSTRACT

This study addresses the structural recovery of the boom of a P&H 9125TC lattice crane, applying a reliability analysis based on Non-Destructive Testing (NDT) and numerical simulation using the Finite Element Method (FEM). Structural defects such as cracks and corrosion were identified and assessed through visual inspection, penetrant testing, and thickness measurement. Additionally, numerical simulation in ANSYS was used to analyze stress distribution and validate the impact of the repair on the integrity of the boom. The objectives include validating NDT for detecting critical failures, assessing the impact of accumulated stresses, and evaluating the effectiveness of repair procedures using welding according to ASME Section IX. Results confirmed that the boom exhibited stress concentrations that compromised its functionality. After recovery, the FEM analysis demonstrated a reduction in stresses and an optimal safety factor. The hypothesis validation confirmed that combining NDT and FEM simulation enhances the boom's safety and operability, improving its reliability and extending its service life. This approach reinforces the importance of advanced diagnostics in crane inspection and maintenance.

Keywords: Structural recovery, Non-Destructive Testing, Numerical simulation, Reliability analysis, Finite Element Method.

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES Y METODOLÓGICOS	1
1.1 Antecedentes de la investigación.....	2
1.2 Identificación y descripción del problema de estudio	13
1.3 Formulación del problema	19
1.3.1 Problema General	19
1.3.2 Problemas Específicos	19
1.4 Justificación e importancia	20
1.5 Objetivos	21
1.5.1 Objetivo General	21
1.5.2 Objetivo Específico.....	21
1.6 Hipótesis	22
1.6.1 Hipótesis General.....	22
1.6.2 Hipótesis Específico	22
1.7 Variables, dimensiones e indicadores.....	22
1.8 Unidad de análisis	24
1.9 Fuentes de información	24
1.10 Tipo y nivel de investigación	25
1.10.1 Tipo de investigación.....	25
1.10.2 Nivel de investigación.....	25
1.11 Método de diseño de la investigación	25
1.12 Población y muestra	26
1.12.1 Población	26

1.12.2 Muestra	26
1.13 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
1.14 Análisis y procesamiento de datos.....	28
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	29
2.1 Sistemas de producción.....	30
2.2 Mantenimiento	30
2.2.1 Tipos de mantenimiento	31
2.2.2 Mantenimiento basado en la confiabilidad	32
2.3 Análisis por elementos Finitos	32
2.4 Ensayos No Destructivos	32
2.5 Fallas	33
2.6 Confiabilidad	33
2.6.1 Procedimientos de izaje	34
2.6.2 Procedimientos de soldadura	34
2.7 Tipos de grúas.....	34
2.8 Componentes de una Grúa.....	35
2.9 Marco conceptual	35
2.9.1 Análisis de líquidos penetrantes	36
2.9.2 Análisis por inspección visual directa	36
2.9.3 Análisis por inspección visual indirecta.....	36
2.9.4 Zona ZAT o ZAC	36
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA TESIS	37
3.1 Trabajos preliminares	39
3.1.1 Evaluación general del equipo Grúa.....	39
3.1.2 Desmontaje en dos partes: estructura y parte mecánica del equipo grúa... 41	
3.1.3 Traslado de los cuerpos de pluma.....	45
3.2 Inspección y evaluación inicial	49
3.2.1 Proceso de arenado de la estructura.....	50

3.2.2	Inspección inicial de la estructura	53
3.2.3	Propuesta de reparación	56
3.3	Análisis del componente	59
3.3.1	Análisis FEM	59
3.4	Generación de procedimientos técnicos de reparación.....	62
3.4.1	Elaboración de procedimientos de reparación	63
3.4.2	Calificación de soldadores.....	64
3.5	Ejecución de trabajos de reparación	67
3.5.1	Proceso de reparación	67
3.5.2	Evaluación de resultados	69
3.5.3	Recubrimiento final.....	71
3.6	Montaje y prueba de estructura	73
3.6.1	Armado y montaje de pluma de grúa	73
3.6.2	Pruebas funcionales	76
3.6.3	Trabajo de izaje (Plan de Izaje)	78
3.7	Cálculo de confiabilidad	80
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS		81
4.1	Análisis de resultados de la evaluación general del equipo	82
4.1.1	Inspección superficial de la pluma de la Grúa P&H 9125TC.....	82
4.1.2	Resultado del traslado de cuerpos de la pluma	83
4.2	Resultados del desmontaje de la pluma	84
4.2.1	Procedimiento de desmontaje según el fabricante	84
4.2.2	Impacto de la preparación y seguridad en la integridad estructural	87
4.3	Análisis del componente	88
4.3.1	Resultados de análisis FEM	89
4.4	Análisis de inspección y evaluación inicial	92
4.4.1	Preparación de la superficie (SSP-SP-5).....	93
4.4.2	Inspección Visual (VT).....	93

4.4.3	Inspección con Líquidos Penetrantes (LPT)	94
4.4.4	Medición de espesores.....	95
4.4.5	Identificación de tubos doblados	95
4.4.6	Resultados de la inspección y evaluación inicial.....	96
4.5	Procedimientos técnicos de la reparación.....	110
4.5.1	Descripción de la reparación	111
4.5.2	Aseguramiento y control de calidad.....	118
4.5.3	Resumen de resultados de la ejecución de trabajos de reparación	119
4.6	Resultados del cálculo de confiabilidad	121
4.6.1	1er criterio: Bajo la evaluación de cálculos y pruebas de carga.....	121
4.6.2	2do criterio: Bajo los cálculos de confiabilidad y MTBF	123
4.7	Resultado del montaje y prueba de estructura.....	128
4.7.1	Procedimientos y permisos de trabajo.....	128
4.7.2	Resultado del trabajo de izaje (Plan de izaje).....	130
4.7.3	Inspección post-trabajo	131
4.8	Discusión de resultados.....	131
4.9	Contrastación de hipótesis.....	133
4.10	Aporte	136
	CONCLUSIONES	138
	RECOMENDACIONES.....	140
	REFERENCIAS	142
	ANEXOS	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Pluma de la Grúa de celosía P&H 9125TC.....	24
Figura 2	Diagrama de proceso de recuperación estructural	37
Figura 3	Condiciones de contorno de grúa P&H 9125TC para la toma de decisión de reparación	60
Figura 4	Condiciones de contorno de grúa P&H 9125TC con reparación y recomendaciones realizadas	61
Figura 5	Base de la pluma de la Grúa P&H 9125TC	85
Figura 6	Pluma de la Grúa P&H 9125TC.....	86
Figura 7	Cuerpo de la Pluma de la Grúa P&H 9125TC	87
Figura 8	Distribución de los esfuerzos en la estructura para la toma de decisión de reparación	89
Figura 9	Distribución de las deformaciones en la estructura para la toma de decisión de reparación	90
Figura 10	Distribución del factor de seguridad en la estructura para la toma de decisión de reparación	90
Figura 11	Distribución de los esfuerzos en la estructura con reparación y recomendaciones realizadas	91
Figura 12	Distribución de las deformaciones en la estructura con reparación y recomendaciones realizadas	92
Figura 13	Distribución del factor de seguridad en la estructura con reparación y recomendaciones realizadas	92
Figura 14	Fisura longitudinal de 8" en la intersección de plancha de 5/16" y tubería de 3"	96
Figura 15	Fisura longitudinal de 3" en la intersección de plancha de 5/16" y tubería de 3"	97

Figura 16	Inspección por boroscopio de las zonas zat de plancha 5/16" con las tuberías 3"	97
Figura 17	Corrosión por perforación en la zona interna de la tubería de 3"	97
Figura 18	Fisura longitudinal de 1" en el traslape entre plancha de 5/16" y plancha de 1" Lado A	98
Figura 19	Corrosión por picadura de 0.01" en la superficie externa de la tubería de 3" en el lado A de la pluma	98
Figura 20	Unión soldada en el nodo 4 lado A de la base de la pluma	99
Figura 21	Unión soldada en el nodo 5 lado B de la base de la pluma	99
Figura 22	Corrosión por picadura de 0.01" en la superficie externa de la tubería de 3" en el lado A de la pluma	100
Figura 23	Evidencia de dos (02) nodos (10-16) con el cordón de soldadura con poros, falta de fusión y falta de material de aporte	100
Figura 24	Evidencia de plancha intermedia de e=1.9" (C2-C-P5) con deformación..	101
Figura 25	Evidencia de Cartelas en el nodo 24 - nodo 12 y plancha de refuerzo intermedia (C2-P6) con corrosión con pérdida de material y fisura en el cordón de soldadura.....	101
Figura 26	Evidencia de deformación de cuatro (04) arriostres (8-14, 4-22, 11-24 y 18-24).....	102
Figura 27	Evidencia de abolladura de un (01) arriostre (6-17).....	103
Figura 28	Evidencia de corrosión severa con perforación de un (01) arriostre (2-8). 103	
Figura 29	Arriostres y miembro estructural principal presentan falla de recubrimiento con ampollamiento y formación oxido en un 50% de su superficie del Cuerpo N°1	104
Figura 30	Arriostres y miembro estructural principal presentan falla de recubrimiento con ampollamiento y formación oxido en un 50% de su superficie del Cuerpo N°2	104

Figura 31	Cartelas de ajuste presentan desbastado por equipo en los puntos 6 y 16 del Cuerpo N°1.....	105
Figura 32	Cartelas de ajuste presentan desbastado por equipo en los puntos 4 y 10 del Cuerpo N°2.....	105
Figura 33	En el arriostre 1-5 presenta una pequeña abolladura 0.5" de diámetro	106
Figura 34	Cuadrantes del Lado A de base de la pluma	107
Figura 35	Cuadrantes del Lado B de base de la pluma	108
Figura 36	Medición de parte superior del lado A de Viga principal de la pluma	109
Figura 37	Medición de parte superior del lado B de Viga principal de la pluma	110
Figura 38	Reparación de fisuras en el nodo 4 lado A, nodo 5 lado B, juntas entre la plancha 5/16" con el tubo 3" en el lado A y plancha 5/16" con la plancha 1" lado A.....	112
Figura 39	Reparación de fisura longitudinal de 8" y 3" en el nodo 4 lado A, nodo 5 lado B, juntas entre la plancha 5/16" con el tubo 3" en el lado A y plancha 5/16" con la plancha 1" lado A.....	112
Figura 40	Reparación de fisura longitudinal de 1" en el traslape entre la plancha 5/16" y plancha 1" lado A.....	113
Figura 41	Reparación de soldadura en nodos (N10)	114
Figura 42	Reparación de soldadura en nodos (N16)	115
Figura 43	Reemplazo de arriostre (8-14).....	116
Figura 44	Reemplazo de arriostre (4-12).....	117
Figura 45	Reparación de fisura de plancha intermedia P6	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	23
Tabla 2	Medición de espesores por cuadrante del Lado A de base de la pluma.....	107
Tabla 3	Medición de espesores por cuadrante del Lado B de base de la pluma.....	108
Tabla 4	Medición de espesores de parte superior del lado A de Viga principal de la pluma.....	109
Tabla 5	Medición de espesores de parte superior del lado B de Viga principal de la pluma.....	110
Tabla 6	Comparación de pruebas en base a momentos y tabla de carga.....	122
Tabla 7	Plan de inspección frecuente de 2022 y 2023.....	127
Tabla 8	Plan de inspección periódicas de 2022 y 2023	128

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se centra en la “Recuperación estructural de la pluma de una grúa de celosía P&H 9125TC basado en el análisis de la confiabilidad por Ensayos No Destructivos”. El estudio aborda la identificación, evaluación y reparación de daños estructurales en la pluma de la grúa, utilizando métodos de ensayos no destructivos (END) para asegurar la confiabilidad y seguridad operativa del equipo. Este enfoque es crucial para la industria del mantenimiento y operación de grúas, donde la integridad estructural y la prevención de fallas son primordiales.

El capítulo 1 “Aspectos generales y metodológicos”: Este capítulo establece el contexto y la metodología de la investigación. Inicia con los antecedentes del estudio, justificando la necesidad de recuperar estructuralmente la pluma de la grúa P&H 9125TC y el impacto de esta intervención en la seguridad y operatividad del equipo. Se plantea el problema de investigación, formulando el problema general y específicos que orientan el estudio. Se detallan los objetivos generales y específicos, seguidos de la hipótesis principal y sus derivadas. Posteriormente, se describen las variables, dimensiones e indicadores que estructuran el análisis. Se presenta la unidad de análisis, identificando la población y muestra seleccionadas para la investigación. Además, se establecen las fuentes de información, el tipo y nivel de estudio, así como el diseño de investigación empleado. Finalmente, se explican las técnicas e instrumentos de recolección de datos, junto con los métodos de análisis y procesamiento de la información, garantizando la rigurosidad científica del estudio.

El capítulo 2 “Marco teórico y conceptual”: En este capítulo se desarrolla el marco teórico que fundamenta la investigación, proporcionando el soporte conceptual y técnico para la recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC. Se abordan conceptos clave sobre sistemas de mantenimiento, con énfasis en el mantenimiento basado en confiabilidad. Se explican las principales técnicas de Ensayos No Destructivos (END) utilizadas en la detección de defectos estructurales, tales como inspección visual,

líquidos penetrantes y medición de espesores. También se detallan los principios de la confiabilidad. Se incluyen fundamentos sobre el izaje de equipos, resaltando aspectos de planificación, seguridad y evaluación de cargas. Además, se presentan los criterios de soldadura estructural basados en el código ASME Sección IX y el análisis de elementos finitos (FEM) mediante simulación numérica en ANSYS, herramienta clave para evaluar la resistencia y comportamiento mecánico de la pluma de la grúa.

El capítulo 3 “Desarrollo de la Tesis”: Este capítulo describe el proceso integral de recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125 TC. Este proceso se inicia con trabajos preliminares que incluyen la evaluación general del equipo, el desmontaje técnico de la pluma en dos partes (estructura y parte mecánica) y su traslado a un entorno controlado. Luego, se lleva a cabo la inspección inicial de la estructura, empleando técnicas de Ensayos No Destructivos (VT, LPT y medición de espesores), con el fin de caracterizar daños y determinar criterios de intervención. Posteriormente, se realiza el análisis estructural del componente mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), permitiendo identificar zonas críticas bajo condiciones de carga. Con base en estos resultados, se elaboran los procedimientos técnicos de reparación, incluyendo la calificación de soldadores y protocolos de soldadura conforme a normativa ASME. La ejecución de la reparación se complementa con el recubrimiento final, el montaje de la pluma y la validación funcional a través del trabajo de izaje. A lo largo del proceso, se aplica un análisis de confiabilidad en tres niveles: estructura reparada, sistema integrado grúa-estructura y seguridad del izaje.

El capítulo 4 “Análisis de resultados y contrastación de hipótesis”: En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en cada etapa del proceso técnico. Se inicia con la exposición de los hallazgos derivados de la evaluación estructural y los ensayos aplicados, así como del modelado numérico por elementos finitos previo a la intervención. Se analizan también los procedimientos técnicos ejecutados, la calidad de las reparaciones y el comportamiento funcional de la pluma tras su montaje. A

continuación, se desarrolla el cálculo de confiabilidad estructural mediante indicadores como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), evaluando la capacidad operativa de la grúa en condiciones reales de trabajo. Finalmente, se realiza la contrastación de la hipótesis planteada, validando la efectividad de la estrategia de reparación y su impacto en la integridad y seguridad estructural de su sistema de izaje.

Por último, se tienen las “Conclusiones” y “Recomendaciones” de trabajos futuros que se desprenden de la tesis.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES Y METODOLÓGICOS

Este capítulo aborda los fundamentos y el marco metodológico de la investigación. Se inicia con una revisión de los antecedentes de la investigación, contextualizando el estudio en el marco de la problemática actual relacionada con el mantenimiento y la confiabilidad de equipos industriales críticos, como las grúas de celosía.

Se presenta la identificación y descripción del problema de estudio, detallando las deficiencias estructurales y de confiabilidad encontradas en la pluma de la grúa P&H 9125TC, las cuales motivan la necesidad de esta investigación. A continuación, se formula el problema central y se desglosan los problemas específicos que se abordarán a lo largo del estudio.

La justificación del trabajo resalta la importancia de garantizar la seguridad y operatividad de las grúas utilizadas en industrias pesadas, argumentando cómo los Ensayos No Destructivos pueden contribuir significativamente a este objetivo. Los objetivos de la investigación, tanto generales como específicos, se plantean con claridad, alineándose con la necesidad de validar métodos eficaces para la recuperación estructural por soldadura en zona inusual de gran relevancia (viga principal), y la mejora de la confiabilidad de la pluma de la grúa.

El capítulo también incluye la formulación de hipótesis, tanto general como específicas, que guían el proceso investigativo. Se describen las variables, dimensiones e indicadores que se utilizarán para evaluar y medir los resultados de la investigación.

Se define la unidad de análisis y se especifican las fuentes de información, destacando la importancia de contar con datos precisos y relevantes para sustentar el estudio. Además, se detalla el tipo y nivel de investigación, así como el método de diseño adoptado, subrayando la naturaleza aplicada y descriptiva del estudio.

La sección sobre población y muestra explica cómo se seleccionaron los elementos del estudio, garantizando la representatividad y validez de los datos recolectados. Las técnicas e instrumentos de recolección de datos se presentan con un enfoque en métodos rigurosos y precisos, adecuados para el análisis de la confiabilidad estructural mediante Ensayos No Destructivos.

Finalmente, se aborda el análisis y procesamiento de datos, describiendo las técnicas estadísticas y metodológicas que se emplearán para interpretar los resultados y validar las hipótesis planteadas.

1.1 Antecedentes de la investigación

Giri (2019)¹, en su tesis doctoral, se centra en la investigación de la ocurrencia de daños estructurales variados, considerando propiedades de materiales, formas geométricas y la interacción de elementos complejos con sus juntas. El problema general abordado se relaciona con la necesidad de identificar y evaluar de manera eficiente los daños estructurales en materiales y estructuras de construcción. La unidad de análisis comprende materiales y estructuras de construcción sujetos a diversos tipos de daños. El objetivo general de la investigación es examinar la ocurrencia de daños estructurales utilizando diversas técnicas de pruebas no destructivas (END), integrándolas y comparándolas con los ensayos destructivos. La justificación de este estudio radica en la importancia de superar las limitaciones técnicas convencionales en la detección de daños estructurales y en evaluar la confiabilidad y seguridad en la operación de equipos y la vida humana, especialmente en las etapas preliminares de proyectos de construcción. La hipótesis planteada sugiere que las técnicas de pruebas no destructivas, como el desplazamiento de láser, la detección de microondas y la detección piezoeléctrica, ofrecen beneficios significativos en la detección de una variedad de fallas en materiales y estructuras. La metodología empleada en el trabajo implica la aplicación y comparación de

¹ Giri, P. (2019). *Integrated approaches for non-destructive testing of construction materials and structures*. [Tesis doctoral]. Western Sydney University. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1959.7/uws:51404>

diversas técnicas no destructivas, así como la integración de los resultados obtenidos con ensayos destructivos para una evaluación más completa. Los resultados obtenidos indican que las pruebas no destructivas realizadas a materiales y estructuras de construcción, en particular con el sistema de sensor de imágenes y el sensor de microondas, han aportado de manera novedosa a la detección de una variedad de fallas. Estos resultados son especialmente valiosos en las etapas preliminares de proyectos, donde la evaluación y predicción de la confiabilidad y seguridad son cruciales para la operación de equipos y la protección de la vida humana. La discusión de resultados destaca la contribución significativa de las técnicas no destructivas en la detección de fallas en materiales y estructuras, resaltando la importancia de su aplicación, especialmente en las etapas iniciales de proyectos de construcción. Se subraya la relevancia de la confiabilidad y seguridad en la toma de decisiones operativas y la protección del personal. En conclusión, la investigación de Giri (2019) destaca la importancia de las técnicas no destructivas en la detección de daños estructurales, proporcionando beneficios significativos en la evaluación de materiales y estructuras en las fases iniciales de proyectos de construcción. La aplicación de sistemas de sensores como imágenes y microondas demuestra ser innovadora y valiosa para mejorar la confiabilidad y seguridad en la operación de equipos y la protección de la vida humana.

Travassos et al. (2019)², en su artículo, aborda la evaluación de la formación de la capa de pátina en un acero resistente expuesto a la intemperie durante dos años en Sao Paulo, Brasil, y compara esta formación con aceros de características similares expuestos durante dieciséis y veinticuatro años. El problema general abordado es comprender la evolución de la capa de pátina en el acero resistente a lo largo del tiempo de exposición y su relación con la corrosión. La unidad de análisis incluye muestras de acero resistente expuestas a condiciones atmosféricas en Sao Paulo durante diferentes períodos de

² Travassos, S. J., Almeida, M. B., Tomachuk, C. R., & de Melo, H. G. (2020). *Non-destructive thickness measurement as a tool to evaluate the evolution of patina layer formed on weathering steel exposed to the atmosphere*. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1), 687–699. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.010>

tiempo: dos, dieciséis y veinticuatro años. El objetivo general del estudio es correlacionar la formación de la capa de pátina en el acero resistente mediante la realización de Ensayos No Destructivos (END), específicamente utilizando el método de inducción magnética en superficies de características rugosas (ABNT NBR 10443). La justificación de la investigación se basa en la importancia de comprender la evolución de la capa de pátina en el acero resistente expuesto a condiciones atmosféricas, ya que esta capa puede tener un impacto significativo en la resistencia a la corrosión y, por lo tanto, en la durabilidad del material. La hipótesis planteada sugiere que la formación de la capa de pátina variará en función del tiempo de exposición, siendo más pronunciada en períodos cortos y estabilizándose con el contenido de goetita en periodos más largos. La metodología empleada incluye la aplicación de Ensayos No Destructivos, específicamente el método de inducción magnética, para evaluar la formación de la capa de pátina en superficies rugosas. Los resultados obtenidos indican que, para tiempos cortos de exposición, la pendiente de corrosión es pronunciada, mientras que, para períodos más largos, la tasa de espesamiento de la capa de pátina se estabiliza debido al contenido de goetita. Esto sugiere una correlación entre el tiempo de exposición y la evolución de la capa de pátina en el acero resistente. La discusión de resultados se centra en la importancia de comprender la cinética de formación de la capa de pátina en el acero resistente en diferentes condiciones atmosféricas y tiempos de exposición. Se destaca la influencia del contenido de goetita en la estabilización de la tasa de espesamiento de la capa de pátina. En conclusión, el estudio de Travassos et al. (2019) aporta conocimientos significativos sobre la formación de la capa de pátina en el acero resistente expuesto a la intemperie. La correlación entre los Ensayos No Destructivos y la evolución de la capa de pátina proporciona información valiosa para comprender la resistencia a la corrosión y la durabilidad de este tipo de acero en diferentes condiciones ambientales y períodos de exposición.

Diestro (2020)³, en su tesis de maestría, se enfoca en la evaluación de la disposición de dos materiales provenientes de accesorios, denominadas muestras, a través de una prueba neumática. El problema general que aborda se relaciona con la identificación y comprensión de las fallas mecánicas y físicas en estos materiales, particularmente centradas en porosidades y otras imperfecciones, utilizando ensayos no destructivos y destructivos bajo la norma ANSI/ASME B16.3. La unidad de análisis se centra en las muestras de los materiales provenientes de los accesorios, sometidos a una prueba neumática. El objetivo general de la investigación es verificar y comprender las causas de las fallas mecánicas y físicas en estos materiales, especialmente aquellas relacionadas con porosidades, mediante la aplicación de ensayos no destructivos y destructivos bajo la norma ANSI/ASME B16.3. La justificación del estudio se basa en la importancia del aseguramiento de la calidad en la industria, donde la detección temprana de fallas en los materiales es esencial para garantizar el cumplimiento de los estándares y normas. La hipótesis planteada sugiere que la calidad del material influye significativamente en la causa de las fallas mecánicas y físicas observadas durante la prueba neumática. La metodología empleada involucra la realización de ensayos no destructivos y destructivos, específicamente en función de la norma ANSI/ASME B16.3, para analizar las muestras de materiales. Estos ensayos permiten identificar y evaluar porosidades y otras imperfecciones que podrían ser causantes de fallas mecánicas y físicas. Los resultados obtenidos a través de la aplicación de ensayos no destructivos y destructivos permiten comprobar que la mayoría de las fallas en los materiales están relacionadas con cargas externas, específicamente porosidades y otras imperfecciones identificadas según la norma ANSI/ASME B16.3. Además, se verifica la influencia de la calidad del material en la ocurrencia de estas fallas. La discusión de resultados resalta la importancia de la inspección visual y la aplicación de técnicas de inspección para el

³ Diestro Marocho , C. E. (2020). *Investigación sobre el modo de fractura en accesorios de fundición de hierro maleable ANSI/ASME B16.3 CLASE 150 [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.* <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13936>

aseguramiento de la calidad en la industria. Se subraya la relevancia de cumplir con los estándares y normas para garantizar la integridad y funcionalidad de los materiales utilizados en accesorios. En conclusión, la investigación de Diestro (2020) contribuye al aseguramiento de la calidad al analizar las causas de las fallas mecánicas y físicas en materiales provenientes de accesorios mediante ensayos no destructivos y destructivos. La aplicación de la norma ANSI/ASME B16.3 proporciona un marco confiable para la evaluación de porosidades y otras imperfecciones, resaltando la importancia de la inspección visual y la conformidad con estándares para garantizar la calidad y funcionalidad de los materiales en la industria.

Sharma (2020)⁴, en su tesis de maestría, se enfoca en la identificación de la fatiga en paneles compuestos con una matriz polimérica mediante el ensayo no destructivo de emisión acústica modal. El problema general abordado es comprender la degradación en el material a través de la correlación de eventos registrados durante la operación del mecanismo. La unidad de análisis se centra en paneles compuestos con matriz polimérica basada en diferentes capas de diseño. El objetivo general de la investigación es realizar una correlación entre la degradación en el material y los eventos registrados durante la operación del mecanismo, utilizando el ensayo no destructivo de emisión acústica modal. La justificación del estudio radica en la importancia de identificar y comprender la fatiga en paneles compuestos para prevenir daños progresivos y optimizar el rendimiento del material. La hipótesis planteada sugiere que la emisión acústica modal junto con el análisis de parámetros de onda y eventos registrados puede cuantificar la degradación en el material y detectar la fuente de emisión acústica relacionada con la fatiga. La metodología empleada implica el uso del ensayo no destructivo de emisión acústica nodal, el programa Wave Explorer y el lenguaje de programación Python para capturar y analizar los datos relacionados con las fallas en la mecánica de fractura del material. Los resultados

⁴ Sharma, A. (2020). *Frequency Based Study of Crack Analysis using Acoustic Emission in Polymer Matrix Composite [Tesis de maestría, University of Akron]*. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=akron160742750648654

obtenidos indican la evidencia del agrietamiento de la matriz a nivel de capas en los compuestos de matriz polimérica reforzada con fibra de carbono. Se utilizaron análisis de frecuencia y patrones de conglomerados de frecuencia para comprender tanto cualitativa como cuantitativamente el daño, especialmente en relación con el número de grietas en diferentes capas del compuesto. La discusión de resultados destaca la utilidad de los patrones de análisis de frecuencia y conglomerados para comprender el daño en términos cualitativos y cuantitativos. Se demuestra que el contenido de frecuencias de las formas de onda de emisión acústica está relacionado con la ubicación del grosor de la capa, lo que sugiere que un aumento en la frecuencia indica una fuente más interna. En conclusión, la investigación de Sharma (2020) proporciona un enfoque novedoso para identificar y comprender la fatiga en paneles compuestos mediante el ensayo no destructivo de emisión acústica modal. La correlación entre eventos registrados y degradación del material, así como la utilización de análisis de frecuencia, contribuye a la comprensión cualitativa y cuantitativa del daño en diferentes capas del compuesto.

Zvirko et al. (2020)⁵, en su artículo, se enfoca en la degradación de los aceros utilizados en tuberías de gas natural, centrándose en propiedades físicas y mecánicas para determinar la vida útil residual de estos materiales. El problema general abordado es la necesidad de evaluar el grado de degradación de los aceros de las tuberías de gas natural, especialmente en condiciones operativas desafiantes. La unidad de análisis se centra en los aceros utilizados en las tuberías de gas natural, con un enfoque en medir el grado de degradación de estos materiales. El objetivo general de la investigación es evaluar la vida útil residual de los aceros mediante la aplicación de ensayos no destructivos, específicamente la prueba de indentación instrumentada y el método electroquímico. La justificación del estudio radica en la importancia de determinar la vida útil residual de los aceros en tuberías de gas natural para garantizar la seguridad y eficiencia en su

⁵ Zvirko, O., Tsyrlunyk, O., & Nykyforchyn, H. (2020). *Non-destructive evaluation of operated pipeline steel state taking into account degradation stage*. *Procedia Structural Integrity*, 26, 219–224. doi:10.1016/j.prostr.2020.06.025

funcionamiento. La hipótesis planteada sugiere que las resistencias a la fractura frágil son indicadores confiables de degradación, y la prueba de indentación instrumentada es eficaz para predecir la vida útil residual de los aceros en condiciones operativas desafiantes. La metodología empleada incluye la aplicación de ensayos no destructivos, en particular la prueba de indentación instrumentada, que evalúa el envejecimiento por deformación. Además, se utiliza el método electroquímico para predecir los daños disipados por degradación con diferentes resistencias. Los resultados obtenidos indican que las resistencias a la fractura frágil son indicadores confiables de degradación en los aceros de las tuberías de gas natural, incluso en condiciones operativas desafiantes. La prueba de indentación instrumentada se destaca como un método fiable para predecir la vida útil residual de estos materiales. La discusión de resultados resalta la importancia de las resistencias a la fractura frágil como indicadores clave de degradación. Se destaca la utilidad de la prueba de indentación instrumentada para la predicción de la vida útil residual de los aceros en tuberías de gas natural. En conclusión, el estudio de Zvirko et al. (2020) proporciona información valiosa sobre la degradación de los aceros en tuberías de gas natural. La aplicación de ensayos no destructivos, en particular la prueba de indentación instrumentada, se presenta como un enfoque confiable para evaluar la vida útil residual de estos materiales, incluso en condiciones operativas desafiantes.

Biezma et al. (2021)⁶, en su artículo, aborda los riesgos asociados con la disminución de las propiedades mecánicas y el aumento de la corrosión en aceros inoxidables, centrándose en el estudio de la fase Sigma en la microestructura y su impacto en la vida útil y desarrollo de la fractura. El problema general se relaciona con la necesidad de evaluar y comprender los riesgos vinculados a la presencia de la fase Sigma en aceros inoxidables. La unidad de análisis incluye los aceros inoxidables, específicamente la microestructura y la presencia de la fase Sigma. El objetivo general es analizar cómo la

⁶ Biezma, M. V., Martín, U., Linhardt, P., Röss, J., Rodríguez, C., & Bastidas, D. M. (2021). *Non-destructive techniques for the detection of sigma phase in duplex stainless steel: A comprehensive review*. *Engineering Failure Analysis*, 122, 105227. doi:10.1016/j.engfailanal.2021.105227

fase Sigma afecta las propiedades mecánicas y la corrosión, utilizando ensayos no destructivos (END) para determinar esta fase y fallas localizadas, respaldándose en un historial de fallas. La justificación del estudio se basa en la importancia de comprender y mitigar los riesgos asociados con la fase Sigma en aceros inoxidable, ya que su presencia puede comprometer tanto las propiedades mecánicas como la resistencia a la corrosión. La hipótesis planteada sugiere que la fase Sigma tiene un impacto significativo en las propiedades mecánicas y la corrosión de los aceros inoxidable. La metodología empleada implica la utilización de técnicas de END, específicamente ultrasonido y partículas magnéticas, para identificar la presencia de la fase Sigma y las fallas localizadas. Se destacan las ventajas y desventajas de estas técnicas, mostrando los mecanismos y factores clave relacionados con el desarrollo de la fase Sigma. Los resultados obtenidos indican que la fase Sigma tiene un gran impacto en las propiedades mecánicas y la corrosión de los aceros inoxidable. Se resalta la importancia de utilizar cuidadosamente los END para corroborar la presencia de la fase Sigma, correlacionándolos con pruebas destructivas para reducir los riesgos de fallas. Los métodos electroquímicos se consideran factibles, especialmente con experimentos in situ, y se destaca la dependencia de los parámetros acústicos con los cambios microestructurales después de tratamientos térmicos. La discusión de resultados enfatiza la importancia de una evaluación integral de la presencia de la fase Sigma, utilizando múltiples técnicas y considerando factores clave. Se destaca la necesidad de precaución al utilizar END y la viabilidad de los métodos electroquímicos para la detección in situ. En conclusión, el estudio de Biezma et al. (2021) proporciona una comprensión detallada de los riesgos asociados con la fase Sigma en aceros inoxidable. La aplicación de técnicas de END, junto con métodos electroquímicos, ofrece una evaluación completa, permitiendo una correlación significativa entre la presencia de la fase Sigma, las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión.

Tavares et al. (2021)⁷, en su artículo, se enfoca en la caracterización de uniones soldadas en tuberías flexibles utilizando la técnica de microestructura y ensayos no destructivos (END). El problema general abordado se centra en garantizar la calidad y consistencia de las soldaduras en las extremidades de bobinas de aceros inoxidables dúplex tipo 2205, utilizadas en estructuras flexibles para la exploración y producción de petróleo en el mar. La unidad de análisis comprende las uniones soldadas en las tuberías flexibles, específicamente las estructuras de aceros inoxidables dúplex tipo 2205 y sus procesos de soldadura. El objetivo general de la investigación es evaluar la calidad y consistencia de las soldaduras en las bobinas de forma compleja, particularmente en las uniones que deben soportar grandes presiones en el sector marino de exploración y producción de petróleo. La justificación del estudio se basa en la necesidad de garantizar que las soldaduras cumplan con las especificaciones requeridas para resistir tanto las grandes presiones como la corrosión en el medio marino. La hipótesis planteada sugiere que las uniones podrían no estar siendo tratadas adecuadamente, lo que podría resultar en una menor resistencia a la corrosión. La metodología empleada incluyó la aplicación de soldadura por arco de tungsteno con gas automático autógeno (GTAW), seguido de ensayos no destructivos y mediciones de resistencia eléctrica para evaluar las uniones y el metal base. Los resultados obtenidos indican que las uniones no cumplían con las especificaciones requeridas, evidenciando deficiencias en las pruebas de microestructura y señalando una menor resistencia a la corrosión. La discusión de resultados destaca la importancia de garantizar el tratamiento adecuado de las uniones soldadas para cumplir con las normativas y asegurar la resistencia tanto a las presiones como a la corrosión. Se sugiere que las deficiencias en las microestructuras podrían comprometer la integridad de las tuberías flexibles utilizadas en entornos marinos. En conclusión, el estudio de Tavares et al. (2021) subraya la necesidad crítica de asegurar la calidad de las uniones soldadas

⁷ Tavares, S. S. M., Pardal, J. M., Noris, L. F., & Diniz, M. G. (2021). *Microstructural characterization and non-destructive testing and of welded joints of duplex stainless steel in flexible pipes*. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 3399–3408. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.087>

en tuberías flexibles utilizadas en la industria petrolera marina. La aplicación de END y pruebas de microestructura revela deficiencias en las especificaciones requeridas, lo que puede conducir a una menor resistencia a la corrosión, un aspecto esencial dada la exposición de estas tuberías al medio marino.

Lücker et al. (2022)⁸, en su artículo, se centran en la evaluación del rendimiento de equipos de trabajo en relación con la aparición de daños inducidos por procesos que afectan el comportamiento de fatiga y, por ende, la durabilidad de los componentes de dichos equipos. El problema general abordado es la necesidad de comprender cómo los daños inducidos por el proceso afectan la vida útil de los componentes de los equipos. La unidad de análisis incluye los equipos de trabajo y sus componentes, específicamente, se enfoca en la medición de resistencia eléctrica como indicador eficiente del tiempo de daño dúctil. El objetivo general del estudio es caracterizar los daños inducidos por el proceso en la vida útil de los componentes, estableciendo una relación entre el daño de formación y el daño cíclico inducido por la carga. La justificación del estudio se basa en la importancia de comprender la relación entre los daños inducidos por el proceso y la durabilidad de los equipos de trabajo, lo cual tiene implicaciones directas en la eficiencia y vida útil de los componentes. La hipótesis planteada sugiere que existe una dependencia entre el daño inducido y la resistencia eléctrica, de manera que un menor daño inducido se traduce en una menor resistencia eléctrica. La metodología empleada consistió en la realización de ensayos no destructivos, específicamente la medición de resistencia eléctrica, considerada eficiente para evaluar el tiempo de daño dúctil. Además, se llevó a cabo un ensayo destructivo mediante microscopía electrónica de barrido para corroborar la información obtenida. Se utilizó un análisis estadístico del acero de cemento AISI 5115 en la parte experimental. Los resultados obtenidos indican que existe una dependencia entre el daño inducido por el proceso y la resistencia eléctrica, confirmando la hipótesis planteada. En

⁸ Lücker, L., Lingnau, L., & Walther, F. (2022). Non-destructive direct current potential drop assessment of forming-induced pre-damage in AISI 5115 steel. *Procedia Structural Integrity*, 42, 368–373. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.12.046>

términos generales, se concluye que, a menor daño inducido, se observa una menor resistencia eléctrica en el componente evaluado. La discusión de resultados destaca la importancia de la resistencia eléctrica como indicador para evaluar el tiempo de daño dúctil y cómo esto afecta la vida útil de los componentes de los equipos de trabajo. Se sugiere que estos hallazgos pueden tener implicaciones significativas en la gestión de la fatiga y durabilidad de los equipos industriales. En conclusión, el estudio de Lücker et al. (2022) ofrece una perspectiva valiosa sobre la relación entre los daños inducidos por el proceso y la resistencia eléctrica en equipos de trabajo. La aplicación de ensayos no destructivos y destructivos proporciona una comprensión detallada de cómo estos factores afectan la vida útil de los componentes, destacando la importancia de considerar la resistencia eléctrica como un indicador clave.

Khederzadeh (2023)⁹, en su tesis de maestría, aborda el problema general de los daños en las cubiertas de puentes que han sido expuestas a la falta de impermeabilización y asfalto. El enfoque principal de la investigación se centra en los cables de pretensado ubicados en los ductos inyectados, especialmente aquellos cercanos a la superficie de la plataforma, afectados por el deterioro causado por la corrosión. Esta problemática es identificada mediante imágenes térmicas y se asocia a riesgos técnicos y económicos relacionados con las reparaciones. La unidad de análisis se concentra en los cables de pretensado en los ductos inyectados de las cubiertas de puentes afectados por la corrosión debido a la falta de impermeabilización. El objetivo general de la investigación es realizar una evaluación integral de los daños, centrando la atención en la revisión literaria de Ensayos No Destructivos (END) y su aplicación en cables pretensados revestidos con cemento. Además, se propone proporcionar un procedimiento para remediar los vacíos detectados que influyen en la corrosión de estos cables, haciendo uso de materiales de inyección. La justificación del estudio se sustenta en la necesidad de abordar los problemas

⁹ Khederzadeh, H. (2023). *Non-Destructive Assessment and Remedy of Grouted Prestressed Cable Ducts in Post-Tensioned Decks*. [Tesis de maestría]. Toronto Metropolitan University. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10.32920/ryerson.14664345.v1>

de corrosión en cables de pretensado, considerando su importancia en términos técnicos y económicos para la reparación y mantenimiento de las infraestructuras de puentes. La hipótesis planteada sugiere que los END, especialmente el radar de penetración terrestre, el Impacto-Eco y el Potencial de media celda, serán eficaces para evaluar la localización de los tendones y la presencia de vacíos que contribuyen a la corrosión. La metodología empleada implica la aplicación de diversos métodos de END, como el radar de penetración terrestre, Impacto-Eco y Potencial de media celda. Se demuestra que el radar de penetración es eficaz y sensible para evaluar la localización de los tendones, barras de refuerzo y otros materiales en el hormigón. El Impacto-Eco, aunque confirma la aplicación de la norma ASTM C 1383-98a, presenta limitaciones al no poder localizar roturas y muescas en los cables de postensado. Finalmente, el Potencial de media celda se destaca como un método fácil de usar, casi no destructivo, que crea mapas isopotenciales de la superficie del miembro de concreto, aumentando la probabilidad de detectar posibilidades de corrosión. En términos de resultados y su discusión, los métodos de END proporcionan información valiosa sobre la ubicación de los tendones, la presencia de vacíos y la extensión de la corrosión en los cables de pretensado. La aplicación efectiva de estos métodos puede guiar el desarrollo de procedimientos de reparación y mantenimiento más eficientes y económicos para las estructuras de puentes. Las conclusiones incluyen la importancia de implementar estrategias de inspección periódicas y la aplicación adecuada de técnicas de END para prevenir y abordar problemas de corrosión en cables de pretensado en infraestructuras críticas como puentes.

1.2 Identificación y descripción del problema de estudio

En Perú, la industrialización y la utilización de una amplia gama de productos y servicios han generado la necesidad de emplear diversas máquinas en los procesos de producción. Por consiguiente, surge la imperiosa necesidad de llevar a cabo un adecuado chequeo y mantenimiento de estos equipos.

Es ampliamente reconocido que el mantenimiento de maquinaria es crucial para garantizar su rendimiento óptimo y extender su vida útil. En este contexto, se siguen procesos de mantenimiento alineados con los estándares establecidos por las empresas del sector, los cuales se encuentran detallados en manuales y guías proporcionados por los diseñadores y fabricantes de la maquinaria.

Sin embargo, los desafíos surgen cuando una máquina o equipo experimenta una falla, especialmente debido a su antigüedad y, en algunas ocasiones, a la discontinuidad del modelo. En estas situaciones, la solución típicamente no radica en la recuperación, sino en la búsqueda de un reemplazo. Esta alternativa no solo implica una inversión considerable, sino también demoras significativas asociadas con la adquisición, entrega y puesta en marcha del nuevo equipo.

Un ejemplo palpable de esta problemática es el caso de una grúa de celosía P&H 9125TC que, anteriormente en funcionamiento en una empresa petrolera, tuvo que detener sus operaciones en 2020 debido a un incidente que afectó su estructura, específicamente la pluma, causado por una manipulación inadecuada durante la operación.

La complejidad principal radica en la necesidad de recuperar una pluma de grúa antiguo y discontinuado, que data su fabricación en el año 1974, actualmente marcado para su retiro debido a los daños sufridos en el incidente y antigüedad del equipo. Con la estructura comprometida, se presenta el desafío de determinar un enfoque de mantenimiento específico y efectivo para restaurar su funcionalidad.

La norma ASME B30.5, un referente crucial en la normativa de grúas móviles aborda de manera explícita la integridad y posibles fallas en los componentes de estas maquinarias. Ante esta situación, la norma proporciona dos enfoques de manera implícita ante una reparación, modificación y/o alteración y para abordar el problema: la consulta directa al fabricante del equipo, que puede ofrecer pautas específicas para la recuperación, o la revisión por parte de una PERSONA CALIFICADA. Lo recomendable es que se aplique ambos casos debido a la naturaleza ATÍPICA del asunto en la presente investigación, considerado no común.

Una persona calificada, identifica deficiencias en el equipo y, en simultáneo, busca orientación en el manual del fabricante de la grúa en cuestión. Sin embargo, se presenta un desafío sustancial en este proceso. Basándose en la trayectoria de varias grúas, particularmente las de celosía (como es el caso que se aborda), las alternativas de reparación y recuperación suelen ser limitadas y sujetas a criterios parametrizados de manera estricta.

Un aspecto clave a considerar es el historial de estas grúas de celosía, que a menudo establece condiciones específicas para las reparaciones. Por ejemplo, los reticulados o arriostres pueden ser reemplazados o reparados siempre y cuando cumplan con ciertos criterios, como no estar doblados o que; para algunos casos, doblados más de la mitad de su diámetro de tubo, entre otras condiciones especificadas. Asimismo, algunos manuales permiten cortar y reemplazar componentes dañados de manera puntual. Sin embargo, es crucial resaltar que, de manera enfática, los manuales técnicos de estas grúas no permiten la reparación del “miembro estructural principal” en ninguna circunstancia.

Para entender mejor ello, en el procedimiento para la reparación de la pluma de grúa P&H Modelo 9125TC año 1974 NL 2204, en la sección de criterios para determinar la reparación, en su nota menciona: “Los miembros principales de la estructura no se reparan. Cuando uno de los largueros haya sido dañado visiblemente, debe reemplazarse la sección entera de la pluma”.

El hecho de que se lleve a cabo reparaciones en el miembro estructural principal, a pesar de las restricciones establecidas en los manuales técnicos, subraya la complejidad y la singularidad de este caso particular. En el campo de las grúas de celosía, donde la seguridad y la integridad estructural son de suma importancia, estas decisiones son tomadas con extrema precaución y basadas en una evaluación rigurosa de la situación.

En este contexto, la capacidad de reparar ciertos componentes, pero no otros, plantea un desafío técnico y ético. Por un lado, se busca mantener la funcionalidad y prolongar la vida útil de la grúa, pero por otro, se debe asegurar que estas reparaciones no comprometan la seguridad y la integridad estructural del equipo. La toma de decisiones

en estas circunstancias requiere un equilibrio delicado entre la necesidad de mantener la operatividad de la grúa y el imperativo de salvaguardar la seguridad de las operaciones.

Además, la discrepancia entre las opciones proporcionadas por la normativa y la realidad del terreno demuestra la necesidad de abordar estas situaciones atípicas con un enfoque más detallado y flexible. La rigidez de ciertos lineamientos puede no adaptarse completamente a casos específicos, como aquellos que involucran grúas con historiales complejos y requisitos particulares de recuperación.

La complejidad de abordar problemas en grúas de celosía, especialmente cuando se trata de reparaciones en componentes críticos como el miembro estructural principal, destaca la importancia de un enfoque personalizado y cuidadoso. Las decisiones tomadas deben estar respaldadas por una evaluación técnica minuciosa y un compromiso inquebrantable con la seguridad y la integridad estructural. La adaptación de los enfoques normativos a situaciones específicas, aunque atípicas, es esencial para garantizar la efectividad y la seguridad en el mantenimiento y recuperación de estas maquinarias.

La baja confiabilidad en la recuperación de la pluma de una grúa de celosía antigua puede deberse a varios factores que afectan la integridad estructural y el funcionamiento del componente. Algunos de los factores que pueden contribuir a esta baja confiabilidad y deben ser analizados son:

1. **Desgaste y fatiga:** Con el uso continuo de la grúa, la pluma está expuesto a cargas repetidas, lo que puede causar desgaste y fatiga en los materiales. Esto debilita gradualmente la estructura y puede llevar a fallas prematuras.
2. **Daños por impacto o sobrecarga:** Un uso indebido de la grúa o accidentes que involucren impactos o sobrecargas pueden ocasionar daños significativos en la pluma. Estos daños pueden no ser evidentes a simple vista, pero afectan la integridad estructural, lo que puede llevar a la baja confiabilidad en su recuperación.

3. Corrosión: Las grúas utilizadas en ambientes marinos o industriales corrosivos están más propensas a sufrir daños debido a la corrosión. La corrosión debilita los materiales y reduce la capacidad de carga de la pluma.
4. Mantenimiento inadecuado: La falta de un mantenimiento preventivo adecuado puede contribuir a la degradación de la pluma. Si no se inspecciona y repara regularmente, los problemas pueden agravarse con el tiempo y llevar a una baja confiabilidad en su recuperación.
5. Calidad del material y fabricación: Si la pluma no se ha construido con materiales de alta calidad o si la fabricación no ha seguido estándares adecuados, la estructura puede ser propensa a fallas prematuras.
6. Edad y uso prolongado: Con el paso del tiempo y el uso extensivo, incluso con el mantenimiento adecuado, los componentes de la grúa pueden experimentar desgaste natural que afecta su confiabilidad.

Otro aspecto que causa directamente la baja confiabilidad de la pluma de la grúa de celosía puede deberse principalmente por tener personal técnico descalificado, aquellos individuos que no han recibido la formación ni la certificación adecuada para llevar a cabo pruebas de manera profesional y confiable. Este personal calificado emplea técnicas para evaluar la integridad de materiales y componentes con el desafío de no dañar la estructura de manera significativa, lo que permite detectar defectos o fallas internas sin comprometer la funcionalidad o la seguridad del objeto inspeccionado. La falta de capacitación y certificación puede tener varias consecuencias negativas:

1. Inexactitud en las pruebas: Las pruebas estructurales requieren habilidades técnicas y conocimientos específicos para realizar adecuadamente las pruebas y analizar los resultados. Sin la capacitación adecuada, es probable que el personal técnico cometa errores en el procedimiento de inspección, lo que puede llevar a interpretaciones incorrectas o falsos negativos y positivos.
2. Riesgo para la seguridad: En algunos casos, las pruebas estructurales implican el uso de equipos especiales y materiales peligrosos, como fuentes radiactivas

para pruebas de radiografía industrial. Un personal técnico no capacitado puede poner en riesgo su propia seguridad y la de otros al no seguir protocolos de seguridad adecuados.

3. Daño a los equipos: Las pruebas estructurales generalmente se realizan en objetos costosos y críticos, como estructuras, componentes aeroespaciales o equipos de alta tecnología. La realización incorrecta de las pruebas puede causar daños innecesarios en estos elementos, lo que conlleva costos adicionales y riesgos operativos.
4. Falta de cumplimiento normativo: La industria y los organismos reguladores establecen normas y directrices para la realización de pruebas estructurales con el fin de garantizar la calidad y la seguridad. El personal técnico descalificado puede incumplir con estas normativas y poner en riesgo el cumplimiento de los requisitos legales.

Otro problema a enfrentar es el desgaste y daños internos en la pluma de una grúa de celosía puede ocurrir debido a diversos factores y condiciones a las que este componente está expuesto durante su funcionamiento. La pluma de una grúa de celosía es la estructura extensible que permite elevar y manipular cargas pesadas, y está compuesto por múltiples secciones interconectadas. Algunas de las causas más comunes de desgaste y daños internos en la pluma son:

1. Fatiga por cargas repetidas: La pluma está sujeto a ciclos repetitivos de elevación y colocación de cargas pesadas. A lo largo del tiempo, esta carga cíclica puede ocasionar fatiga en los materiales de la pluma y provocar fisuras o grietas.
2. Sobrecarga ocasional: Las grúas de celosía a menudo enfrentan situaciones en las que se supera su capacidad de carga nominal. Esto puede deberse a errores en la estimación de la carga o a situaciones de emergencia. La sobrecarga ocasional puede generar tensiones excesivas en la pluma y causar daños internos.

3. Corrosión: Si la grúa se utiliza en ambientes corrosivos, como en operaciones marinas o industriales, la exposición a la humedad y sustancias corrosivas puede deteriorar los materiales de la pluma con el tiempo.
4. Desgaste por fricción: El movimiento repetitivo de las secciones de la pluma y su contacto con otros componentes de la grúa pueden provocar desgaste y desgarros en las superficies internas.
5. Vibraciones y choques: Durante el funcionamiento, las grúas de celosía pueden estar expuestas a vibraciones y choques, especialmente cuando se están realizando movimientos bruscos de elevación y giro. Estas vibraciones pueden acelerar el desgaste y generar agrietamientos.

Inspecciones y mantenimiento insuficientes: La falta de inspecciones periódicas y un mantenimiento preventivo adecuado pueden llevar a la falta de detección de daños internos en la pluma. Sin una revisión adecuada, los problemas pueden agravarse antes de ser detectados.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema General

¿Cómo influye el análisis de la confiabilidad por Ensayos No Destructivos y simulación numérica en la recuperación estructural de la pluma de una grúa de celosía P&H 9125TC?

1.3.2 Problemas Específicos

Así también, los problemas específicos se formulan con las siguientes

1. ¿Cómo la inspección superficial, END y simulación numérica con análisis por elementos finitos contribuyen a identificar defectos estructurales en la pluma de la grúa y establecer criterios adecuados de intervención?
2. ¿Cómo se puede evaluar la integridad estructural de la pluma y elementos conexos de manera precisa utilizando Ensayos No Destructivos?

3. ¿Cuál es el nivel de confiabilidad actual de la pluma y elementos conexos, y de qué manera se puede mejorar para garantizar la seguridad operativa y el cumplimiento de normativas?

1.4 Justificación e importancia

La recuperación de la confiabilidad de la pluma de una grúa de celosía P&H 9125TC no solo tiene implicaciones directas en la seguridad y el cumplimiento normativo, sino que también conlleva beneficios económicos, sociales, tecnológicos y ambientales, consolidando su importancia integral en diversos aspectos. A continuación, se detallan estos beneficios:

1. **Beneficios Económicos:** La recuperación de la pluma implica una menor necesidad de reparaciones frecuentes o reemplazo prematuro, lo que reduce los costos operativos a largo plazo. Al mejorar la confiabilidad, se prolonga la vida útil de la pluma, evitando gastos innecesarios asociados a reemplazos anticipados.
2. **Beneficios Sociales:** La confiabilidad de la pluma garantiza un entorno de trabajo más seguro para los operadores y el personal en el lugar de trabajo, lo que contribuye a la reducción de accidentes laborales y protege la integridad de las personas. Un compromiso con la seguridad y la inversión en la mejora de equipos elevadores pueden mejorar la moral y la satisfacción laboral, creando un entorno de trabajo más atractivo y competitivo.
3. **Beneficios Tecnológicos:** La recuperación de la pluma puede implicar la incorporación de tecnologías avanzadas y métodos de ensayo no destructivos más eficientes, lo que mejora la confiabilidad.
4. **Beneficios Ambientales:** Al prolongar la vida útil de la pluma, se reduce la necesidad de fabricar nuevos componentes, lo que contribuye a la conservación de recursos y a la disminución del impacto ambiental asociado con la producción y eliminación de equipos.

5. Cumplimiento Normativo y Legal: La recuperación de la pluma garantiza el cumplimiento de las normativas y regulaciones, evitando posibles multas y sanciones legales que podrían derivarse de la no conformidad.
6. Reputación Empresarial y Confianza del Cliente: Un compromiso con la calidad y la seguridad puede diferenciar a la empresa en un mercado competitivo, atrayendo a clientes que valoran la integridad y la responsabilidad. Clientes satisfechos con la fiabilidad y seguridad de los equipos son más propensos a mantener relaciones comerciales a largo plazo, contribuyendo a la estabilidad financiera de la empresa.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Recuperar estructuralmente la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC mediante el análisis de confiabilidad por Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica, asegurando la integridad estructural y la seguridad operativa del equipo a través de un enfoque sistemático de diagnóstico, reparación y validación.

1.5.2 Objetivo Específico

Como objetivos específicos, se tienen:

1. Identificar y diagnosticar defectos estructurales en la pluma de la grúa P&H 9125TC mediante inspección superficial, Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica, utilizando el análisis por elementos finitos para corroborar las zonas críticas y establecer criterios de intervención adecuados.
2. Evaluar el impacto de los procedimientos de reparación en la integridad estructural de la pluma, considerando la aplicación de tratamientos de superficie, inspección de soldaduras y control de calidad de materiales.
3. Implementar un proceso estructurado de montaje y prueba de operación de la pluma para verificar su funcionalidad y seguridad tras la intervención.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

El análisis de confiabilidad mediante Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica contribuye significativamente a la recuperación estructural y mejora la integridad y seguridad operativa de la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC, asegurando la efectividad de los procesos de diagnóstico, reparación y prueba de operación.

1.6.2 Hipótesis Específico

Como hipótesis específicas, se tienen:

1. La inspección superficial, END y simulación numérica con análisis por elementos finitos permiten identificar zonas críticas en la pluma de la grúa, estableciendo criterios adecuados para su intervención segura.
2. La correcta aplicación de los procedimientos de reparación y tratamiento de materiales mejora la integridad estructural de la pluma, reduciendo la incidencia de fallas futuras.
3. La implementación de un proceso estructurado de montaje y prueba de operación asegura la funcionalidad y seguridad de la pluma tras la intervención, minimizando riesgos y garantizando su desempeño.

1.7 Variables, dimensiones e indicadores

A continuación, la operacionalización de las variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	OPERACIONALIZACIÓN		ESCALA DE MEDICIÓN
			DIMENSIONES	INDICADORES	
Variable dependiente (Y): Y1: Recuperación estructural de la pluma de una grúa P&H 9125TC	Proceso de restaurar la integridad original de la estructura dañada.	Evaluación técnica mediante pruebas antes y después de intervenciones para medir la recuperación en unidades específicas	- Evaluación de Integridad Estructural - Restauración de la Funcionalidad Operativa.	- Nivel de resistencia alcanzado en comparación con las especificaciones originales. - Grado de funcionalidad operativa recuperada.	% de resistencia recuperada. - Puntuación cualitativa (baja, moderada, alta).
Variable independiente (X): X1: Análisis de confiabilidad por Ensayos no Destructivos y simulación numérica de la pluma de una grúa P&H 9125TC	Es el uso combinado de técnicas no invasivas y modelado computacional para evaluar la integridad estructural de la pluma de una grúa P&H 9125TC, permitiendo identificar fallas críticas y mejorar su recuperación.	Aplicación de Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica basada en elementos finitos (FEA) para diagnosticar la confiabilidad estructural de la pluma de una grúa P&H 9125TC, determinando zonas críticas y estableciendo criterios de intervención.	- Ensayos No Destructivos de la pluma de una grúa P&H 9125TC - Simulación numérica y evaluación de esfuerzos - Confiabilidad de la pluma de una grúa P&H 9125TC	- Número de daños y deformaciones identificados. - Grado de daño identificado y su localización en la pluma y elementos conexos. - Calidad del material según los resultados de las pruebas. - Comparación de los resultados con estándares de seguridad. - Localización y severidad de los defectos según FEA. - Esfuerzos máximos - Tiempo promedio de tareas de mantenimiento. - Porcentaje de tareas realizadas siguiendo los protocolos de seguridad. - Número de fallos identificados durante el mantenimiento - Evaluación general de la confiabilidad mediante indicadores específicos. - Grado de fiabilidad de los componentes en función de su vida útil estimada. - Cumplimiento de normativas y garantía de seguridad operativa. - Factor de seguridad	- Cantidad de daños. - Puntuación cualitativa - Puntuación cualitativa - Puntuación cualitativa - Coordenadas X,Y,Z y en mm - GPa, MPa - Horas. %. - Cantidad de fallos. - Puntuación cualitativa - Puntuación cualitativa - Sí/No - Adimensional

1.8 Unidad de análisis

La unidad de análisis es la integridad estructural de la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC que se analizará empleando métodos como el cálculo estructural, soportado a la vez; por software de modelado y análisis por el método de elementos finitos, con una serie de pruebas no destructivas para su recuperación estructural y confiabilidad.

Figura 1

Pluma de la Grúa de celosía P&H 9125TC



1.9 Fuentes de información

La información necesaria será tomada de los procesos de trabajo que se realizaron en el proceso de mantenimiento de la recuperación de la pluma de la grúa de celosía.

Se utilizaron como instrumentos de análisis:

- Las guías de funcionamiento de la grúa de celosía P&H 9125 TC.
- Análisis de esfuerzos por Elementos Infinitos (uso de Software ANSYS).
- Los reglamentos de la norma ASME B 30.5 para procesos de mantenimiento en grúas y equipos de izaje.
- Registros del proceso de mantenimiento en la grúa de celosía.
- Registro de las fallas y daños en el proceso de la recuperación de la grúa de celosía.
- Guía de reparación para los reticulados por parte del Fabricante de Pluma de celosía de grúa P&H 9125 TC.

- El código ASME Sección IX para las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) y Control de Calidad de PQR (WPQR).
- Libros de referencia sobre el proceso de trabajo con ensayos no destructivos en equipos pesados
- Manual de operación y mantenimiento de la grúa de celosía
- Procedimientos de trabajo que se realizan en la empresa petrolera

1.10 Tipo y nivel de investigación

1.10.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, pues tiene como objetivo principal la resolución de problemas concretos como es el caso si la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC conserva la integridad estructural luego de una falla y si es recuperable.

1.10.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo, pues va más allá de la descripción del fenómeno como es la falla estructural, sino que busca con las técnicas de Ensayos No Destructivos evaluar las condiciones estructurales de la pluma de la grúa y su recuperación a través de entender las causas del daño y la aplicación de acciones correctivas y preventivas.

1.11 Método de diseño de la investigación

Se desarrollará la investigación en una grúa de celosía P&H 9125TC de una empresa del sector hidrocarburos, cuya pluma ha sido afectado estructuralmente. Esta pluma de la grúa ha tenido mantenimientos correctivos y no se le ha realizado un mantenimiento predictivo, por lo que tiene el riesgo de ser dado de baja. El enfoque es mixto, con un diseño de investigación experimental. A continuación, el enfoque mixto de cualitativo y cuantitativo:

Experimental cualitativo: En estos ensayos, se busca identificar la presencia o ausencia de defectos o anomalías en un material o componente sin proporcionar valores

numéricos precisos. Los resultados se expresan en términos cualitativos, como "defecto presente" o "sin defecto", también niveles o grados con aspectos de baja, medio o alto según se clasifique. Ejemplos de ensayos no destructivos cualitativos incluyen la inspección visual, la inspección por líquidos penetrantes y la inspección por partículas magnéticas.

Experimental cuantitativo: Estos ensayos buscan proporcionar valores numéricos específicos por intermedio de cálculos y soportado mediante software de ingeniería, simulando comportamientos de la estructura bajo sus propiedades o defectos del material o componente, Los resultados se expresan en términos cuantitativos, como factor de seguridad, esfuerzo máximo y mínimos, deformaciones, medidas de espesor, tamaño de defectos, velocidad del sonido, conductividad eléctrica, etc. Ejemplos de ensayos no destructivos cuantitativos incluyen la ultrasonografía, la radiografía industrial y la prueba de corriente inducida.

1.12 Población y muestra

1.12.1 Población

La población en este contexto se refiere al conjunto completo de elementos que componen a la pluma de grúa de celosía P&H 9125TC que son relevantes para el análisis de confiabilidad, durante un tiempo de parada de operación para diagnóstico, evaluación y recuperación (tiempo incierto), en las instalaciones de una empresa del sector hidrocarburo.

1.12.2 Muestra

Es una grúa que superó el tiempo de vida útil, tiene historial de mantenimiento, es de tipo celosía y tiene específicas condiciones de trabajo.

1.13 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La información necesaria será tomada de acuerdo con las siguientes actividades de recolección:

Técnica documental; esta técnica permitirá que la información recolectada sea fiable y que sea redactada y recopilada de forma correcta.

Técnica de análisis por método de elementos finitos mediante software estructural, que permitirá brindar datos importantes sobre el comportamiento y esfuerzos que se encuentran sometido la estructura, de tal manera que; se tome la mejor decisión para la recuperación.

Técnica de observación en el campo de aplicación, con esta técnica, se podrá observar en el campo de aplicación, como se trabajará en el plano del mantenimiento y como este es afectado con respecto a la grúa de celosía, formando todos esos datos una base de información práctica.

Para llevar a cabo Ensayos No Destructivos, se utilizan una variedad de instrumentos y equipos específicos para recolectar datos. Algunos de los instrumentos comunes de recolección de datos utilizados en END incluyen:

1. Radiografía: Los radiólogos utilizan fuentes de radiación ionizante, como rayos X o radiación gamma, para penetrar la muestra y crear una imagen radiográfica en una película o un detector digital. Esto permite la detección de inclusiones, fisuras y otros defectos internos.
2. Líquidos Penetrantes: Se aplica un líquido penetrante en la superficie de una muestra y se elimina el exceso. El líquido penetra en las grietas o defectos superficiales, y un revelador en polvo revela la ubicación de los defectos al absorber el líquido penetrante.
3. Inspección Visual: La inspección visual directa es un método fundamental. Se utilizan herramientas como lentes de aumento, cámaras, fibroscopios o endoscopios para examinar visualmente las superficies y componentes en busca de defectos, corrosión u otros problemas visibles.

1.14 Análisis y procesamiento de datos

Este trabajo es una investigación experimental del tipo longitudinal pues recoge datos cualitativos y cuantitativos a través del empleo método de análisis de elementos finitos y técnicas de Ensayos No Destructivos, y con esas medidas continuas y repetitivas se evalúa el estado de un equipo o componente de un sistema, específicamente los componentes de la pluma de celosía P&H 9125TC y el tiempo planificado es de cuatro meses. Las reparaciones con uniones soldadas siguieron las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) y Control de Calidad de PQR (WPQR) de acuerdo al código ASME Sección IX.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Este capítulo está dedicado al desarrollo del marco teórico y conceptual que sustenta la investigación estableciendo los fundamentos teóricos y las definiciones que son esenciales para comprender y contextualizar el estudio.

Se inicia con una revisión de los sistemas de producción, abordando las distintas metodologías y enfoques que se emplean en la industria para optimizar la eficiencia y productividad de los procesos. Esta sección proporciona una base para entender el contexto en el cual operan las grúas de celosía y la importancia de mantener su funcionalidad y seguridad operativa.

A continuación, se explora el concepto de mantenimiento, detallando los diferentes tipos que existen y su relevancia en la industria. Se hace especial énfasis en el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), un enfoque que se centra en identificar y gestionar los riesgos asociados a la falla de los equipos para asegurar su operatividad continua. Este tipo de mantenimiento es particularmente relevante para la investigación, ya que los Ensayos No Destructivos son una herramienta clave dentro de este enfoque.

La sección sobre Ensayos No Destructivos profundiza en las técnicas y métodos utilizados para evaluar la integridad de los materiales y estructuras sin causar daños. Se describen los principios y aplicaciones de diversos END, tales como la inspección visual, los líquidos penetrantes y otros métodos relevantes. Esta información sirve para entender cómo se detectan y evalúan las fallas en la pluma de la grúa.

El análisis de las fallas se presenta como una parte integral del estudio, donde se discuten las diferentes formas en que ocurren las fallas estructurales y mecánicas, así como sus causas y efectos. Se relaciona con el concepto de confiabilidad, que se define y examina en términos de cómo se puede medir y mejorar mediante el uso de END y prácticas de mantenimiento adecuadas.

Dentro de la sección de confiabilidad, se incluyen los procedimientos específicos para izaje y soldadura, dos actividades críticas en el mantenimiento y reparación de grúas. Estos procedimientos son detallados para asegurar que se sigan las mejores prácticas y se minimicen los riesgos durante estas operaciones.

El capítulo también aborda los distintos tipos de grúas y sus componentes, proporcionando un marco de referencia para entender las especificidades del equipo estudiado. Se describe la configuración y las funciones de cada componente, destacando aquellos que son más relevantes para la evaluación y recuperación de la pluma.

Finalmente, el marco conceptual se desarrolla con un enfoque en las técnicas específicas de END utilizadas en la investigación. Se detallan los análisis de líquidos penetrantes y las inspecciones visuales directas e indirectas, explicando cómo cada técnica contribuye a la detección de fallas y al aseguramiento de la integridad estructural.

2.1 Sistemas de producción

Según Carro & Gonzáles (2012), es un sistema que contiene flujos de información, productos, procesos e insumos, los cuales los enlazan con el exterior, el ambiente externo y los clientes; cuando se habla de insumos se refiere a la energía, materiales, equipos e instalaciones, y los recursos humanos empleados para obtener el bien o servicio final. También menciona que el sistema de producción Toyota, también denominado Just in Time, es uno de los más conocidos, creado por Shingeo Shingo y Taichii Ohno, ellos introdujeron conceptos innovadores y técnicas que tenían como objetivo fundamental utilizar tan solo la cantidad necesaria para elaborar un producto, eliminando cualquier elemento que no contribuya a dicho fin; en la actualidad, variedad de empresas pueden utilizar dicha metodología debido a su flexibilidad.

2.2 Mantenimiento

Según lo desarrollado por Urdiales (2013), al mantenimiento se le define así al proceso que conglomerar una serie de tareas relacionadas entre sí, cuya finalidad es lograr un grado más alto en la confiabilidad de las instalaciones, máquinas y equipos. Por otro

lado, Alarcón & Romero (2020), define al mantenimiento como una secuencia de acciones para garantizar la vida útil calculada para una máquina o equipo, acciones que van desde la limpieza de cada componente hasta la reparación de estos. Ambos desarrollan tipos de mantenimiento y el mantenimiento basado en la confiabilidad.

2.2.1 Tipos de mantenimiento

Los mantenimientos se pueden dividir de manera principal en 3 tipos:

- **Mantenimiento correctivo:** Es aquel que se lleva a cabo sin previa planificación, frente a una situación imprevista cuando se produce una avería o falla. Los efectos de este tipo de mantenimiento afectan especialmente en los costos, debido a que se requiere la reparación y compra de repuestos que no estaban considerados en el presupuesto, además que afecta al ciclo productivo en general por la paralización de la misma actividad.
- **Mantenimiento preventivo:** Se define como aquel que se realiza previo a la ocurrencia de una avería o falla. Es un trabajo planificado sistemáticamente, anticipándose a sucesos que afecten la operación eficiente y segura de un equipo y de manera económica a la empresa, con la finalidad de evitar averías imprevistas. Una característica de este mantenimiento es que es específica para un área y a equipos o maquinarias específicos, dado que se programan fechas permite tener un historial de las acciones realizadas y planificar los siguientes mantenimientos conforme se requiera, además de contar con un presupuesto específico.
- **Mantenimiento predictivo:** Tal como indica su nombre, es aquel en el que se elabora la predicción del comportamiento de un equipo o máquina y a partir de este, se planifica con anticipación el mantenimiento, para hacer dicha predicción es necesario realizar un monitoreo de las características e interacciones de un sistema, empleando los avances tecnológicos y automatización.

2.2.2 Mantenimiento basado en la confiabilidad

Se refiere al proceso sistemático y analítico que toma como base el conocimiento del funcionamiento de los sistemas y las averías de dicho funcionamiento. Este proceso tiene como método central el AMEF (Análisis sistemático de los Modos y Efectos de Falla), fallas que son evaluadas en un contexto operacional y que es probable que ocurran en una máquina o equipo específicos (Urdiales, 2013). Según el mantenimiento de este tipo es necesario debido a 3 razones fundamentales: Facilita de forma sistémica el mejor enfoque que se le debería asignar a los recursos necesarios para realizar el mantenimiento, mejorando su rendimiento; es un mantenimiento que nace a raíz de los enfoques tradicionales y permite afrontar las debilidades ligadas a estos; y permite sopesar y relacionar el fallo de los activos con los riesgos presentes en la empresa.

2.3 Análisis por elementos Finitos

El análisis de elementos finitos es el modelado de productos y sistemas en un entorno virtual para encontrar y resolver problemas potenciales (o existentes) de rendimiento del producto. FEA es la aplicación práctica del FEM, que es utilizado por ingenieros y científicos para modelar matemáticamente y resolver numéricamente problemas complejos estructurales, acústicos, electromagnéticos, térmicos, de fluidos y multifísicos. El software FEA se puede utilizar en una amplia gama de industrias, pero se usa más comúnmente en las industrias aeronáutica, automotriz, electrónica, maquinaria industrial, marina y productos de consumo.

2.4 Ensayos No Destructivos

Según Sanchez (2015), este término se usa en el medio ingenieril para poder asignar los tipos de métodos que se usan para un determinado estudio de investigación. Los ensayos no destructivos no hacen una destitución a los ensayos destructivos, sino que, vienen a ser un complemento, en los ensayos no destructivos se aplican métodos físicos indirectos, por ejemplo, la inspección visual, la transmisión del sonido, las marcas

de líquidos penetrantes, entre otros. El objetivo primordial de este tipo de ensayo es la verificación de la sanidad de las piezas examinadas; por lo tanto, cuando se aplican estas pruebas, no se busca la determinación de propiedades físicas sino la homogeneidad y continuidad; es decir, los ensayos no destructivos no presentan un grado de afectación al material que se va a examinar.

2.5 Fallas

Según Aguiar & Rodriguez (2014), cuando se habla de mantenimiento, el concepto de falla debe estar correctamente definido, es así que se le entiende como una interrupción o alteración del desempeño de una función necesaria; el conocimiento de este concepto permite clasificar las fallas presentes en las maquinarias o equipos y analizar las causas que lo originan. Las fallas pueden tener dentro de sus orígenes a los errores de cálculo o la elaboración de un diseño inadecuado, también pueden provenir de errores en la fabricación o el mal uso que se les da a los equipos o máquinas, también pueden producirse por fenómenos naturales o al mismo desgaste debido a su uso, entre muchas otras causas.

2.6 Confiabilidad

Según Esquivel (2009), es la capacidad de un producto o equipo de poder realizar una determinada función, de una manera ya prevista. Por otro lado, la confiabilidad también se puede definir, como una probabilidad de que un determinado equipo realice una función sin la presencia de incidentes por un determinado tiempo y bajo de una serie de condiciones. El mantenimiento basado en este término fue desarrollado por primera vez por una industria de aviación de la república de los Estados Unidos, el cual consistió en analizar las funciones de los activos, determinar las posibles fallas para posteriormente realizar un análisis de las causas de estas, además, se estudiaron sus efectos y analizaron sus consecuencias.

2.6.1 Procedimientos de izaje

El procedimiento de izaje viene a ser una secuencia de las operaciones el cual se inicia en la adjudicación de una obra, en donde se observa el tipo de territorio, los posibles accesos y el peso de las estructuras de un determinado material. El procedimiento se realiza normalmente en base a la gestión de calidad ISO 10005:2005 (Osorio, 2019)

2.6.2 Procedimientos de soldadura

Antes de realizar la aplicación por soldadura se pasa a establecer un determinado procedimiento, generalmente representado por “WPS”, además de un registro de calificación representado por “PQR”, en donde en los registros se sincera el proceso de tratamiento de pre y post calentamiento con las temperaturas de seguimiento y control que el material base necesita para el adecuado tratamiento y soldabilidad, de esta forma se demuestra la aplicación de las soldaduras con propiedades mecánicas correctas, por ejemplo, la ductilidad, resistencia y dureza. Además, se detalla que la calidad de estas soldaduras se determina a través de ensayos de tipo destructivo. (Barrera & Rojano, 2015)

2.7 Tipos de grúas

- Grúas Móviles: Montadas sobre ruedas para facilitar la movilidad en el sitio de trabajo. De uso común para construcción de edificios, carreteras y puentes.
- Grúas Sobre Orugas: Equipadas con orugas para mejorar la estabilidad en terrenos difíciles. De uso común para proyectos de construcción en terrenos irregulares o suelos blandos.
- Grúas Torre: Fijas en una ubicación vertical con una torre alta y contrapeso. De uso común para construcción de rascacielos y grandes estructuras.
- Grúas Telescópicas: Brazo extensible que puede alargarse o acortarse según sea necesario. De uso común para manipulación de carga en espacios reducidos.
- Grúas de Celosía: Estructura reticular que proporciona resistencia y estabilidad.

Una máquina de elevación de funcionamiento discontinuo es cual ayuda en la

elevación y distribución en el espacio, cargas suspendidas de un gancho. (Perú Construye, 2018). De uso común para elevación de cargas pesadas en construcción, montaje de estructuras metálicas.

- Grúas Flotantes: Montadas sobre barcasas o pontones para trabajos sobre agua. De uso común para construcción en puentes, puertos y operaciones marítimas.

2.8 Componentes de una Grúa

- Pluma (llamada Boom en inglés): Parte principal que se eleva para levantar y mover cargas. Son de tipo telescópico, de celosía, abatible.
- Contrapeso: Peso adicional para equilibrar la carga y mantener la estabilidad. Evita vuelcos y asegura un funcionamiento seguro.
- Cabina de Control: Espacio desde donde el operador maneja la grúa. Equipada con controles, pantallas y sistemas de seguridad.
- Sistema de Giro: Permite a la grúa girar para acceder a diferentes áreas de trabajo. De tipo giratorio continuo, por secciones.
- Pluma de Celosía: Estructura reticular que forma la parte extensible de la pluma. Ligera pero resistente, adecuada para cargas pesadas.
- Motor y Sistema Hidráulico: Proporciona la potencia necesaria para operar la grúa y controlar sus movimientos.
- Sistema de Estabilización: Patas extensibles o estabilizadores que garantizan la firmeza de la grúa durante la elevación de cargas.
- Dispositivos de Seguridad: Incluye sistemas antivuelco, límites de carga, alarmas y otros dispositivos para garantizar la seguridad durante la operación.

2.9 Marco conceptual

El marco conceptual se deriva de la aplicación de las técnicas modernas del mantenimiento, además de la revisión constante de los diversos componentes de las

máquinas que realizan operaciones en la planta, para de esta manera, tener un ejercicio de las labores de forma excelente sin ocurrencias.

2.9.1 Análisis de líquidos penetrantes

Es un método de análisis no destructivo, utilizado para detectar discontinuidades en la superficie de materiales como grietas, fracturas, poros, superposiciones o defectos de unión. Las pruebas de penetración se pueden realizar en cualquier material sólido no poroso, como metal, cerámica o plástico; se usa muy comúnmente para detectar defectos en fundiciones, forjas y soldaduras, por ejemplo, para detectar fallas en las pruebas de corrosión de materiales (INFINITIA, 2021)

2.9.2 Análisis por inspección visual directa

Se realiza sin ninguna ayuda visual, se utiliza la visión del examinador en una orientación y condiciones de iluminación específicas.

2.9.3 Análisis por inspección visual indirecta

Se realizan utilizando equipos como endoscopios o video endoscopios, y en situaciones o condiciones que son inaccesibles para el ojo humano; se utilizan para poder analizar los componentes internos sin tener que realizar un proceso de desmontaje. (SCISA, s.f.)

2.9.4 Zona ZAT o ZAC

Zona Afectada Térmicamente (ZAT) o Zona Afectada por el Calor (ZAC), como: “La zona adyacente a la soldadura, que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero no se funde”. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y cambios en sus características mecánicas, pudiendo ser muy propensa a desarrollar grietas o condiciones muy desfavorables.

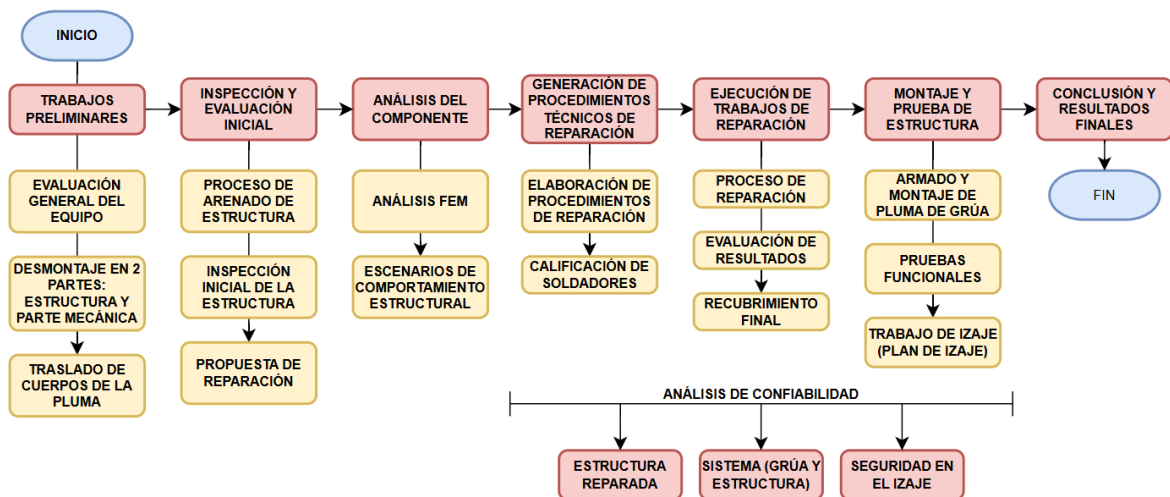
CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA TESIS

El proceso de recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125 TC se llevó a cabo bajo una secuencia metodológica, representada esquemáticamente en la Figura 2. Este diagrama de flujo integra las principales etapas del procedimiento técnico, desde los trabajos preliminares hasta la ejecución de reparaciones y la validación funcional del sistema, incorporando criterios de ingeniería estructural, mecánica y confiabilidad operativa.

Figura 2

Diagrama de proceso de recuperación estructural



La intervención inicia con trabajos preliminares, los cuales comprenden la evaluación general del equipo, el desmontaje en dos partes (estructura y parte mecánica) y el traslado de los cuerpos de la pluma hacia un entorno controlado. Esta etapa permitió establecer el estado inicial del equipo y preparar las condiciones necesarias para las evaluaciones posteriores.

A continuación, se realiza la inspección y evaluación inicial, la cual incluye el proceso de arenado de la superficie, inspección visual (VT), medición de espesores,

detección de discontinuidades mediante líquidos penetrantes (LPT) y análisis de deformaciones.

Posteriormente, se desarrolla el análisis del componente mediante simulación computacional utilizando el Método de Elementos Finitos (FEM). Esta fase permite representar escenarios de carga aplicados a la estructura y determinar las zonas críticas de concentración de esfuerzos, sirviendo de base para la propuesta de intervención estructural. A partir de estos hallazgos se formula una propuesta técnica de reparación.

La siguiente etapa corresponde a la generación de procedimientos técnicos de reparación, que contempla la elaboración de protocolos de soldadura conforme a normativas ASME, la calificación de soldadores y la planificación detallada de las actividades de intervención.

Una vez definidos los procedimientos, se ejecutan los trabajos de reparación, que comprenden la preparación de las superficies, la intervención estructural y el recubrimiento final, seguido de la evaluación de resultados para verificar la calidad de los trabajos realizados.

Seguidamente, se desarrolla el montaje y prueba de la estructura, fase en la cual se realiza el armado y montaje de la pluma, la ejecución del trabajo de izaje (Plan de Izaje) y la validación funcional del sistema mediante pruebas bajo carga controlada.

Durante todo el proceso, se implementa un análisis de confiabilidad enfocado en tres niveles:

- **Confiabilidad de la estructura reparada**, evaluando el cumplimiento de los requisitos estructurales definidos en el análisis FEM.
- **Confiabilidad del sistema**, que considera la interacción entre la estructura recuperada y el sistema mecánico de la grúa.
- **Seguridad en el izaje**, validada a través de la ejecución controlada del plan de izaje y sus parámetros operacionales.

Finalmente, se realiza una evaluación post-trabajo e inspección final, orientada a confirmar la eficacia de las reparaciones implementadas y la operatividad segura del

equipo. Este capítulo desarrolla en detalle cada una de estas fases, consolidando así la trazabilidad del proceso técnico aplicado a la recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125 TC.

3.1 Trabajos preliminares

Los trabajos preliminares constituyen la fase inicial del proceso de recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC. Esta etapa es fundamental, ya que permite realizar una evaluación integral del equipo, asegurar su desmontaje seguro y garantizar un traslado controlado hacia la zona de intervención. Los subprocesos dentro de esta fase incluyen la evaluación general del equipo, el retiro en dos partes del sistema y el traslado de los cuerpos de pluma, cada uno con tareas específicas que aseguran la eficiencia y seguridad del proceso.

3.1.1 Evaluación general del equipo Grúa

La evaluación general del equipo grúa constituye la primera fase dentro del proceso de recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC. Este procedimiento es fundamental, ya que permite determinar el estado mecánico y estructural del equipo antes de iniciar cualquier intervención. A través de esta evaluación, se identifican anomalías que puedan comprometer la seguridad y operatividad de la grúa, facilitando la planificación de las acciones correctivas necesarias.

El propósito de la evaluación general del equipo grúa es establecer un diagnóstico integral de su estado actual, asegurando que todos los sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos y estructurales sean revisados con rigurosidad. Con ello, se busca minimizar los riesgos durante el desmontaje y la posterior intervención.

El procedimiento de evaluación general de la grúa se divide en tres etapas principales:

1. Inspección visual preliminar

Se realiza una inspección visual inicial para identificar signos evidentes de desgaste, deformaciones, fisuras, corrosión y otros defectos estructurales que puedan

comprometer la funcionalidad del equipo. Durante esta fase, el personal técnico se enfoca en revisar los siguientes componentes:

- Pluma de la grúa: Se analizan posibles deformaciones, fisuras o corrosión en los reticulados y uniones de la estructura.
- Mecanismos de izaje: Se inspeccionan las poleas, polipastos y cables para verificar que no presenten daños o fatiga mecánica.
- Sistema hidráulico: Se revisan las conexiones y cilindros hidráulicos en busca de fugas o fallas de presión.
- Sistema eléctrico: Se inspeccionan los circuitos, controles y conexiones eléctricas para descartar problemas de funcionamiento.
- Estructura general del equipo: Se analizan las bases, soportes y mecanismos estructurales de la grúa.

2. Evaluación técnica detallada

Tras la inspección visual, se procede con pruebas técnicas y mediciones específicas para validar la integridad del equipo. Estas pruebas incluyen:

- Medición de espesores estructurales: Se utilizan equipos de ultrasonido para determinar la pérdida de material debido a corrosión en la estructura de la pluma.
- Ensayos No Destructivos (END): Se aplican pruebas como inspección visual (VT) y líquidos penetrantes (LPT) en las uniones y soldaduras de la pluma para detectar posibles fisuras.
- Verificación de alineación y geometría estructural: Se emplean herramientas de medición para asegurar que la pluma no presente desviaciones o deformaciones significativas.
- Análisis de cargas y distribución de esfuerzos: Se estudian las áreas sometidas a mayores esfuerzos para prever posibles puntos de falla.

Para complementar la evaluación del equipo, se revisan los manuales del fabricante y los registros de mantenimiento previos. Este análisis permite comparar las condiciones

actuales del equipo con las especificaciones originales y el historial de intervenciones, facilitando la identificación de posibles deficiencias.

Los resultados de esta fase permiten establecer las acciones correctivas necesarias antes del desmontaje de la pluma. Entre los hallazgos esperados se incluyen:

- Identificación de zonas críticas que requieren intervención inmediata.
- Registro de fisuras o deformaciones que podrían comprometer la integridad estructural.
- Determinación de la necesidad de reemplazo de componentes deteriorados.
- Establecimiento de criterios de seguridad para la manipulación del equipo durante su desmontaje y traslado.

3.1.2 Desmontaje en dos partes: estructura y parte mecánica del equipo grúa.

El retiro de la pluma de la grúa P&H 9125TC es una etapa crítica en el proceso de recuperación estructural, ya que permite desensamblar el equipo de manera controlada para facilitar su reparación y posterior reinstalación, para fines de la presente investigación; la actividad de desmontaje de la parte mecánica con la estructura, se basa a que el presente informe de investigación, se referirá única y exclusivamente a la recuperación de la pluma de grúa, esto garantizará a la vez: una manipulación segura y minimizando los riesgos de daño estructural.

3.1.2.1 Procedimiento General de Retiro

El procedimiento de retiro en dos partes del sistema sigue un protocolo técnico que involucra la desconexión progresiva de los componentes, el aseguramiento de la estabilidad estructural y la aplicación de maniobras de izaje controladas. Este proceso se desarrolla en las siguientes fases:

1. Preparación del área de trabajo:

- Se delimitan las zonas de trabajo y se establecen las medidas de seguridad correspondientes.

- Se verifica la disponibilidad de los equipos de izaje auxiliares y herramientas necesarias.
- Se asigna el personal especializado para supervisar cada una de las operaciones.

2. Desconexión de sistemas eléctricos, hidráulicos y mecánicos:

- Se desenergiza el equipo motriz de la grúa y se desconectan los sistemas eléctricos asociados.
- Se purgan los sistemas hidráulicos para evitar presiones residuales durante la manipulación.
- Se liberan los anclajes estructurales que mantienen unidas las secciones de la pluma con el cuerpo de la grúa.

3. Separación de los componentes estructurales:

- Se inicia el desmontaje de los elementos mecánicos que unen la pluma con el equipo motriz.
- Se asegura la integridad de los puntos de conexión para evitar tensiones incontroladas en la estructura.
- Se establece una secuencia de desmontaje ordenada para reducir esfuerzos no deseados en la estructura.

4. Izaje y traslado controlado de cada sección:

- Se emplean grúas auxiliares para levantar y trasladar cada una de las secciones de la pluma.
- Se utilizan eslingas, polipastos y dispositivos de sujeción para garantizar estabilidad en los movimientos.
- Se siguen los protocolos de maniobra establecidos por el fabricante para evitar deformaciones en la estructura desmontada.

3.1.2.2 Desmontaje de los cables de grúa

El primer paso dentro del retiro de la pluma consiste en la desconexión y desmontaje de los cables de izaje. Este procedimiento es fundamental para liberar la tensión en los mecanismos de la pluma y evitar riesgos durante la manipulación.

- Se aflojan y retiran progresivamente los cables de la grúa, asegurando que la tensión se libere de manera controlada.
- Se inspeccionan los cables retirados para evaluar su estado y determinar si requieren reemplazo o mantenimiento.
- Se almacenan adecuadamente los cables para evitar daños o deformaciones que puedan afectar su rendimiento posterior.

3.1.2.3 Desmontaje de los mecanismos de la pluma

La pluma de la grúa cuenta con diversos mecanismos que permiten su operación y control. Para desmontarla de manera eficiente, es necesario retirar estos componentes en una secuencia específica:

- Cabezal: Se desmonta el cabezal, asegurando que no haya cargas residuales en la estructura.
- Poleas y polipastos: Se retiran las poleas y polipastos utilizados para el sistema de izaje.
- Seguros y fijaciones estructurales: Se eliminan los seguros y mecanismos de fijación que mantienen unidas las secciones de la pluma.
- Mecanismos auxiliares: Se desmontan los elementos adicionales, como sensores, dispositivos de control y conexiones secundarias.

Cada uno de estos componentes se almacena en áreas designadas, siguiendo un orden estricto para facilitar su reinstalación.

3.1.2.4 Desmontaje por partes de los cuerpos de la pluma

El desmontaje de la pluma se realiza en secciones estratégicas para garantizar la seguridad del proceso y evitar esfuerzos innecesarios en la estructura. Este procedimiento se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Se determina el punto de separación de cada cuerpo de la pluma, siguiendo las especificaciones del fabricante.
- Se emplean grúas auxiliares para sostener cada segmento mientras se desconectan sus fijaciones estructurales.
- Se realiza un control de peso y estabilidad antes de mover cada sección, asegurando que no haya desequilibrios durante la maniobra.
- Se trasladan las secciones desmontadas hacia una zona de almacenamiento temporal, donde serán preparadas para su posterior inspección y arenado.

3.1.2.5 Medidas de seguridad durante el desmontaje

Para minimizar los riesgos durante el proceso de desmontaje de la pluma, se aplican estrictos protocolos de seguridad:

- Inspección previa del área de trabajo: Se verifican las condiciones del entorno para descartar obstáculos o elementos que puedan interferir en las maniobras.
- Uso de equipos de protección personal (EPP): Todo el personal involucrado en el proceso debe utilizar cascos, guantes, chalecos reflectantes y botas de seguridad.
- Monitoreo de cargas y tensiones: Se emplean dispositivos de medición para asegurar que no se generen sobrecargas en los equipos de izaje.
- Comunicación y coordinación: Se establecen señales y radios de comunicación para coordinar cada fase del desmontaje y evitar errores en la maniobra.

3.1.2.6 Registro y documentación del desmontaje

Durante el desmontaje de la pluma, se lleva a cabo una documentación detallada del proceso, la cual incluye:

- Registro fotográfico del estado de los componentes antes, durante y después del desmontaje.
- Medición de posibles deformaciones o anomalías estructurales detectadas en las secciones desmontadas.
- Registro de tiempos y procedimientos empleados en cada fase del desmontaje.
- Recomendaciones técnicas para la reparación y reacondicionamiento de los componentes.

3.1.3 Traslado de los cuerpos de pluma

El traslado de los cuerpos de la pluma de la grúa P&H 9125TC es una fase clave dentro del proceso de recuperación estructural, ya que permite movilizar las secciones desmontadas hacia la zona de tratamiento y reparación. Debido a las dimensiones y peso de los componentes, este proceso requiere una planificación logística rigurosa, la implementación de medidas de seguridad especializadas y la utilización de equipos adecuados para el transporte.

3.1.3.1 Logística y planificación

El traslado de los cuerpos de la pluma de la grúa P&H 9125TC constituye una fase fundamental dentro del proceso de recuperación estructural, ya que permite movilizar las secciones desmontadas hacia la zona de arenado y reparación. Este procedimiento requiere de una planificación detallada, el uso de equipos de izaje adecuados y la aplicación de estrictas medidas de seguridad para garantizar la integridad de los componentes transportados.

3.1.3.2 Planificación y logística del traslado

El traslado de los cuerpos de la pluma se lleva a cabo siguiendo una planificación meticulosa, que contempla la identificación de los recursos necesarios, la evaluación de rutas y la asignación del personal responsable de la operación. La planificación del traslado incluye:

1. Coordinación con el equipo de logística:

- Se establece un cronograma de actividades para evitar interrupciones en otras operaciones de la empresa.
- Se definen las responsabilidades de cada miembro del equipo de trabajo.
- Se verifican los equipos de transporte y izaje que se utilizarán en el traslado.

2. Selección de la ruta de transporte:

- Se analiza el trayecto a seguir desde el área de desmontaje hasta la zona de arenado y reparación.
- Se identifican posibles obstáculos o restricciones en el camino, como pendientes, espacios reducidos o interferencias con otras estructuras.
- Se establecen puntos de control para supervisar el avance del traslado y evitar incidentes.

3. Asignación de equipos de izaje y transporte:

- Se determina la capacidad de carga de los equipos de izaje para garantizar que soporten el peso de cada sección desmontada.
- Se seleccionan grúas móviles, plataformas de transporte y dispositivos de sujeción adecuados para la movilización de los cuerpos de la pluma.

4. Evaluación de condiciones climáticas y ambientales:

- Se consideran factores como velocidad del viento, humedad y temperatura, que pueden influir en la estabilidad del traslado.
- Se establecen medidas preventivas en caso de condiciones adversas que puedan afectar la seguridad de la operación.

3.1.3.3 Procedimiento de traslado

El procedimiento de traslado de los cuerpos de la pluma se lleva a cabo en varias etapas para garantizar que la movilización se realice de manera segura y eficiente:

1. Preparación de los cuerpos de la pluma:

- Se aseguran las secciones desmontadas mediante el uso de eslingas, correas de sujeción y sistemas de anclaje que eviten movimientos inesperados.
- Se etiquetan las diferentes partes de la pluma para su correcta identificación y ubicación en la zona de reparación.

2. Carga de los cuerpos de la pluma en el equipo de transporte:

- Se emplean grúas auxiliares para levantar y posicionar las secciones de la pluma sobre los vehículos de transporte.
- Se verifica la distribución de peso en el vehículo para evitar desbalances o sobrecargas.
- Se fijan los cuerpos de la pluma con dispositivos de retención que impidan desplazamientos durante el trayecto.

3. Desplazamiento hacia la zona de arenado:

- Se realiza el traslado a velocidad controlada, siguiendo las rutas previamente establecidas.
- Se mantiene comunicación constante entre el personal de traslado y los operadores de grúa para coordinar cada fase del movimiento.
- Se monitorean las condiciones del terreno y los posibles riesgos a lo largo del trayecto.

4. Descarga en la zona de arenado:

- Se realiza el posicionamiento de los cuerpos de la pluma en la zona designada para la limpieza y preparación superficial.
- Se inspeccionan nuevamente los componentes trasladados para verificar que no hayan sufrido daños durante el transporte.
- Se registran las condiciones finales de cada sección para su posterior intervención en el proceso de arenado y reparación.

3.1.3.4 Medidas de seguridad en el traslado

La seguridad es un aspecto clave en la movilización de los cuerpos de la pluma, ya que cualquier error en la manipulación de las secciones desmontadas puede generar accidentes o daños estructurales. Las principales medidas de seguridad implementadas incluyen:

1. Evaluación de riesgos antes del traslado:

- Se identifican los posibles peligros asociados con la maniobra, como caídas de carga, interferencias con otras estructuras o fallos en los equipos de izaje.
- Se establecen protocolos de respuesta ante emergencias para actuar rápidamente en caso de incidentes.

2. Uso de equipos de protección personal (EPP):

- Todo el personal involucrado en la operación debe portar cascos de seguridad, guantes de alta resistencia, chalecos reflectantes y calzado de seguridad con punta de acero.
- Se utilizan arneses de seguridad en caso de que el personal deba subir a los vehículos de transporte o grúas.

3. Monitoreo de la estabilidad de la carga:

- Se supervisa constantemente la posición y fijación de los cuerpos de la pluma para evitar desplazamientos no controlados.
- Se ajustan las sujeciones durante el traslado si es necesario, asegurando que la carga permanezca estable en todo momento.

4. Coordinación en tiempo real:

- Se establecen canales de comunicación entre los operadores de grúa, transportistas y supervisores de seguridad para informar cualquier eventualidad durante la movilización.
- Se designan puntos de parada y control en la ruta para realizar verificaciones de seguridad antes de continuar con el traslado.

3.1.3.5 Registro y documentación del traslado

Para garantizar un control adecuado de la operación, se lleva a cabo un registro detallado de cada fase del traslado. Este registro incluye:

1. Reportes de inspección previos y posteriores al traslado:

- Se documenta el estado inicial de los cuerpos de la pluma antes de ser trasladados.
- Se realiza una evaluación posterior para verificar que no hayan sufrido daños durante la movilización.

2. Registro de tiempos y procedimientos ejecutados:

- Se anotan los tiempos empleados en cada etapa del traslado para evaluar la eficiencia del proceso.
- Se detallan los equipos utilizados y las técnicas de manipulación implementadas.

3. Registro fotográfico y videográfico:

- Se capturan imágenes del proceso de carga, traslado y descarga de los cuerpos de la pluma.
- Se utilizan grabaciones como referencia para futuras operaciones similares.

4. Informe de seguridad y recomendaciones:

- Se analizan los incidentes o dificultades encontradas durante el traslado para mejorar los procedimientos en futuras movilizaciones.
- Se emiten recomendaciones sobre mejoras en la logística y seguridad del transporte de estructuras similares.

3.2 Inspección y evaluación inicial

La inspección y evaluación inicial de la pluma de la grúa P&H 9125TC es una etapa crítica dentro del proceso de recuperación estructural, ya que permite identificar los daños existentes y establecer los procedimientos de reparación necesarios. Esta fase incluye la

limpieza superficial de la estructura mediante arenado, la inspección visual con diferentes técnicas y la determinación de las intervenciones correctivas a ejecutar.

La evaluación inicial se lleva a cabo en un entorno controlado con el objetivo de detectar fisuras, corrosión, deformaciones y otros defectos que puedan comprometer la integridad estructural de la pluma. Para ello, se aplican diversos métodos de inspección no destructiva (END), garantizando una identificación precisa de las anomalías sin afectar la estructura.

3.2.1 Proceso de arenado de la estructura

El proceso de arenado de la estructura es una etapa fundamental en la inspección inicial, ya que permite la limpieza profunda de la superficie de la pluma de la grúa. Esta técnica elimina óxido, residuos de pintura, impurezas y otros contaminantes, dejando la superficie en condiciones óptimas para la posterior evaluación y aplicación de tratamientos correctivos.

El arenado tiene como finalidad:

- Eliminar óxidos, impurezas y residuos de recubrimientos anteriores.
- Mejorar la visibilidad de defectos estructurales como grietas, porosidad y deformaciones.
- Facilitar la adhesión de nuevos recubrimientos protectores y asegurar una inspección efectiva.
- Preparar la superficie para la aplicación de técnicas de inspección no destructiva (END), tales como líquidos penetrantes o medición de espesores.

3.2.1.1 Procedimiento del arenado

El proceso de arenado se realiza en un área delimitada y bajo estrictos protocolos de seguridad. Las principales etapas del procedimiento incluyen:

1. Preparación del área de trabajo

- Se acondiciona un espacio específico para realizar el arenado, asegurando una ventilación adecuada para la disipación del polvo generado.
- Se establecen medidas de seguridad para el personal, incluyendo el uso de trajes especiales, máscaras con filtros de aire, guantes de protección y gafas de seguridad.
- Se instalan barreras físicas y señalización para evitar la exposición de otros trabajadores al material particulado generado durante el proceso.

2. Selección del material abrasivo

- Se elige el abrasivo adecuado según el tipo de superficie y nivel de limpieza requerido.
- Los materiales más utilizados incluyen arena de sílice, granalla de acero y escoria de cobre, dependiendo de la rugosidad deseada.
- Se verifica la granulometría del abrasivo para garantizar una remoción eficaz sin dañar la estructura de la pluma.

3. Aplicación del arenado

- Se utiliza un equipo de proyección de alta presión para dispersar el material abrasivo sobre la superficie de la pluma.
- La presión y el flujo del material abrasivo se regulan de acuerdo con las especificaciones del fabricante y los estándares de limpieza SSPC-SP5.
- Se aplica el chorro de abrasivo en patrones uniformes para garantizar una cobertura homogénea en toda la superficie.

4. Inspección post-arenado

- Una vez finalizado el arenado, se realiza una inspección visual para verificar que la superficie esté completamente libre de óxido y contaminantes.
- Se registran imágenes de la superficie limpia para compararlas con la condición inicial.

- Se realizan mediciones de rugosidad superficial para asegurar que el acabado cumple con las especificaciones requeridas para la inspección y posterior aplicación de recubrimientos.

5. Limpieza y disposición de residuos

- Se retiran los residuos del material abrasivo y los contaminantes desprendidos durante el arenado.
- Se gestionan los desechos según las normativas ambientales, asegurando una disposición adecuada de los residuos generados.
- Se revisan los filtros del sistema de ventilación y se realiza el mantenimiento de los equipos de arenado.

3.2.1.2 Estándares y normativas aplicadas

El proceso de arenado se ejecuta siguiendo los estándares internacionales para limpieza de superficies metálicas en estructuras sometidas a esfuerzos elevados. Las normativas aplicadas incluyen:

- **SSPC-SP 5 (White Metal Blast Cleaning):** Define los requisitos para alcanzar un acabado de metal blanco, eliminando completamente óxidos, pinturas y contaminantes visibles en la superficie.
- **ISO 8501-1 (Grado de Limpieza de Superficies de Acero):** Proporciona una clasificación visual del nivel de limpieza requerido para superficies metálicas antes de la aplicación de recubrimientos protectores.
- **OSHA 1910.94(a) (Ventilación y Protección para Arenado):** Regula las condiciones de seguridad para el uso de materiales abrasivos y la protección del personal involucrado en el proceso.

3.2.1.3 Beneficios del arenado en la evaluación estructural

El proceso de arenado proporciona múltiples ventajas en la inspección y recuperación de la pluma de la grúa, tales como:

- **Mejora en la detección de defectos:** Elimina impurezas que pueden ocultar grietas, fisuras o corrosión, facilitando una evaluación precisa de la estructura.
- **Optimización de la adhesión de recubrimientos:** Prepara la superficie para la aplicación de imprimaciones y recubrimientos anticorrosivos, asegurando una mayor durabilidad de la estructura.
- **Mayor eficiencia en la inspección con ensayos no destructivos (END):** Al limpiar la superficie, se mejoran los resultados de inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido.
- **Prolongación de la vida útil de la pluma:** La eliminación de agentes corrosivos y la posterior aplicación de recubrimientos adecuados contribuyen a la conservación de la estructura.

3.2.2 Inspección inicial de la estructura

La inspección inicial de la estructura de la pluma de la grúa P&H 9125TC es un paso fundamental dentro del proceso de evaluación y recuperación. Esta etapa tiene como propósito identificar defectos estructurales, determinar el grado de deterioro y establecer la magnitud de las reparaciones necesarias. Para ello, se aplican ensayos no destructivos (END), que permiten detectar anomalías sin comprometer la integridad de la estructura. Como objetivos tiene:

- Detectar fisuras, grietas, corrosión, deformaciones y otros defectos en la pluma.
- Evaluar la magnitud del daño estructural mediante inspección visual y END.
- Registrar evidencia gráfica y documental de las anomalías encontradas.
- Establecer criterios de aceptación o rechazo de las diferentes secciones de la pluma.

3.2.2.1 Procedimiento de inspección inicial

El proceso de inspección inicial de la estructura se lleva a cabo en un entorno controlado, asegurando la correcta aplicación de los métodos de inspección y la integridad del equipo evaluado.

La inspección inicial se lleva a cabo bajo los estándares internacionales establecidos en:

- **ASME B30.5** (Norma para grúas móviles y locomotoras): Regula los criterios de seguridad, operación e inspección de grúas, garantizando un procedimiento de evaluación estructural conforme a las mejores prácticas.
- **ASME B30.9** (Norma para aparejos y dispositivos de izaje): Especifica los requisitos para el manejo seguro de equipos de izaje utilizados en la grúa, incluyendo cables y accesorios críticos.
- **SNT-TC-1A** (Certificación de personal en Ensayos No Destructivos – ASNT): Define las exigencias mínimas para la calificación y certificación del personal encargado de realizar Ensayos No Destructivos (END), asegurando la idoneidad técnica del equipo de inspección.

Estas normativas garantizan que los criterios de inspección sean consistentes con las mejores prácticas del sector, proporcionando una metodología estandarizada y fiable para la detección de defectos estructurales.

Los pasos principales del procedimiento incluyen:

1. Revisión de documentación técnica

- Se analizan los planos estructurales y las especificaciones del fabricante para identificar puntos críticos de la estructura.
- Se revisan los registros históricos de mantenimiento y operación para detectar antecedentes de fallas recurrentes.

2. Inspección visual (VT) directa y remota

- Se realiza una inspección visual directa de toda la superficie de la pluma utilizando herramientas como lupas, espejos y cámaras de alta resolución.
- En áreas de difícil acceso, se emplean equipos de inspección remota como drones o boroscopios.

- Se documentan todas las anomalías detectadas mediante registros fotográficos y notas de inspección.

3. Inspección con líquidos penetrantes (LPT)

- Se aplica un líquido penetrante para detectar grietas superficiales y discontinuidades en la estructura.
- Se remueve el exceso de líquido y se aplica un revelador para visualizar los defectos.
- Se evalúan los resultados según los criterios de aceptación de la norma ASTM E165/E165M.

4. Medición de espesores

- Se emplea un medidor de espesores por ultrasonido para determinar la pérdida de material debido a corrosión.
- Se comparan los resultados con las especificaciones originales del fabricante para evaluar la necesidad de refuerzos estructurales.

5. Identificación de tubos doblados y deformaciones

- Se analizan los reticulados de la pluma para detectar tubos doblados o con deformaciones críticas.
- Se emplean herramientas de medición para determinar el grado de desviación respecto a la geometría original.
- Se registran los daños en un informe técnico con recomendaciones para su corrección.

3.2.2.2 Resultados de la inspección inicial

- Se identificaron defectos críticos en las uniones soldadas y secciones reticuladas de la pluma.
- Se detectó una reducción del espesor en algunas áreas, con pérdidas de material de entre un 5 y un 10%.

- Se evidenció corrosión en zonas expuestas a ambientes marinos y de alta humedad.
- Se confirmó la presencia de grietas superficiales en áreas sometidas a esfuerzos cíclicos, cuerpo base de pluma.

Los hallazgos de la inspección inicial permiten definir las estrategias de reparación adecuadas y establecer los procedimientos técnicos que se llevarán a cabo en la siguiente etapa del proceso.

3.2.3 Propuesta de reparación

Con base en los resultados obtenidos en la inspección inicial de la estructura de la pluma de la grúa P&H 9125TC, se procede a desarrollar una propuesta de reparación que garantice la recuperación estructural del equipo. Esta propuesta incluye la selección de los procedimientos técnicos más adecuados, los materiales a utilizar y las estrategias de control de calidad que aseguren la efectividad del proceso de reparación y los parámetros de mantenimiento y cuidados que se van establecer en el equipo grúa.

3.2.3.1 Objetivos de la propuesta de reparación

- Restaurar la integridad estructural de la pluma de la grúa.
- Garantizar la seguridad operativa mediante la aplicación de técnicas de soldadura certificadas.
- Eliminar defectos como fisuras, corrosión y deformaciones estructurales.
- Aplicar un control de calidad riguroso para validar la efectividad de las reparaciones.
- Establecer condiciones parametrizados, como longitud de pluma y capacidad de carga establecida para la pluma recuperada.
- Establecer un plan de inspecciones frecuentes y periódicos de manera que se pueda mantener y alertar ante una posible falla.

3.2.3.2 Criterios de selección de métodos de reparación

Para la ejecución de la reparación, se establecen criterios basados en normativas internacionales y buenas prácticas de ingeniería. Entre los aspectos clave se incluyen:

- **Tipo y severidad del defecto:** Se priorizan las reparaciones en función del impacto que los defectos detectados puedan tener en la seguridad y funcionalidad de la pluma.
- **Método de reparación aplicable:** Se seleccionan los procedimientos de soldadura, refuerzo estructural o reemplazo de componentes según la naturaleza de la anomalía identificada.
- **Materiales utilizados:** Se aseguran materiales compatibles con la estructura original, garantizando su resistencia mecánica y durabilidad.
- **Requerimientos de control de calidad:** Se establecen ensayos de verificación post-reparación para validar la efectividad de las intervenciones.

3.2.3.3 Métodos de reparación seleccionados

1. Reparación de soldaduras defectuosas

- Se ejecutan procedimientos de soldadura según el código ASME Sección IX y AWS D1.1.
- Se aplican técnicas de precalentamiento y postcalentamiento para minimizar tensiones residuales.
- Se realizan ensayos no destructivos posteriores para verificar la calidad de las uniones soldadas.

2. Reemplazo de componentes dañados

- Se sustituyen los tubos de los reticulados que presenten deformaciones severas.
- Se instalan nuevos elementos estructurales según las especificaciones del fabricante.
- Se ejecuta un ensamblaje y soldadura controlada para evitar tensiones residuales en la estructura.

3. Tratamiento anticorrosivo y recubrimientos

- Se aplica un sistema de protección anticorrosiva mediante imprimación epóxica y recubrimiento de poliuretano de alta resistencia.
- Se verifica el espesor del recubrimiento para asegurar su adherencia y durabilidad.
- Se inspecciona la uniformidad del acabado para garantizar la protección de la estructura.

3.2.3.4 Validación y control de calidad de la reparación

Para asegurar que los procedimientos de reparación se ejecuten de manera efectiva y conforme a los estándares establecidos, se implementan controles de calidad en cada fase del proceso. Estos controles incluyen:

- **Inspecciones visuales y END post-reparación:** Se realizan inspecciones con líquidos penetrantes y ultrasonido para verificar la integridad de las soldaduras y refuerzos estructurales.
- **Pruebas de carga simulada:** Se aplican cargas controladas a la pluma para evaluar su desempeño estructural y detectar posibles fallas.
- **Registro de parámetros de soldadura:** Se documentan las variables críticas del proceso de soldadura, incluyendo amperaje, voltaje y velocidad de deposición.
- **Certificación de soldadores:** Se verifica que los soldadores involucrados en el proceso cumplan con las certificaciones requeridas.

La propuesta de reparación diseñada para la pluma de la grúa P&H 9125TC busca restablecer su funcionalidad, garantizar su seguridad operativa y prolongar su vida útil. A través de la aplicación de procedimientos técnicos rigurosos y un control de calidad estricto, se asegura que la estructura reparada cumpla con los estándares exigidos para su reintegración en condiciones óptimas de operación.

3.3 Análisis del componente

Una vez que los cuerpos de la pluma han sido desmontados y trasladados a un entorno seguro, se procede a la medición detallada de toda la estructura. Dado que el equipo data del año 1974 y no cuenta con planos originales de soporte, es necesario documentar manualmente la distribución de los reticulados, estructuras de amarre y longitudes generales.

Posteriormente, las mediciones recopiladas se ingresan en el software INVENTOR 2024, permitiendo el modelado tridimensional de la estructura. Tras ensamblar todas las partes y contrastarlas en campo con la estructura real, se obtiene un modelo preciso. Este modelo es luego exportado a ANSYS 2024 R2 para el análisis estructural bajo dos escenarios: Análisis de la pluma con el problema estructural actual y Análisis de la pluma tras la recuperación estructural.

3.3.1 Análisis FEM

El análisis de elementos finitos (FEM) permite evaluar el comportamiento estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC bajo condiciones de carga reales. Mediante simulaciones numéricas en ANSYS, se identifican las zonas críticas de la estructura, facilitando la toma de decisiones fundamentadas sobre su reparación y refuerzo.

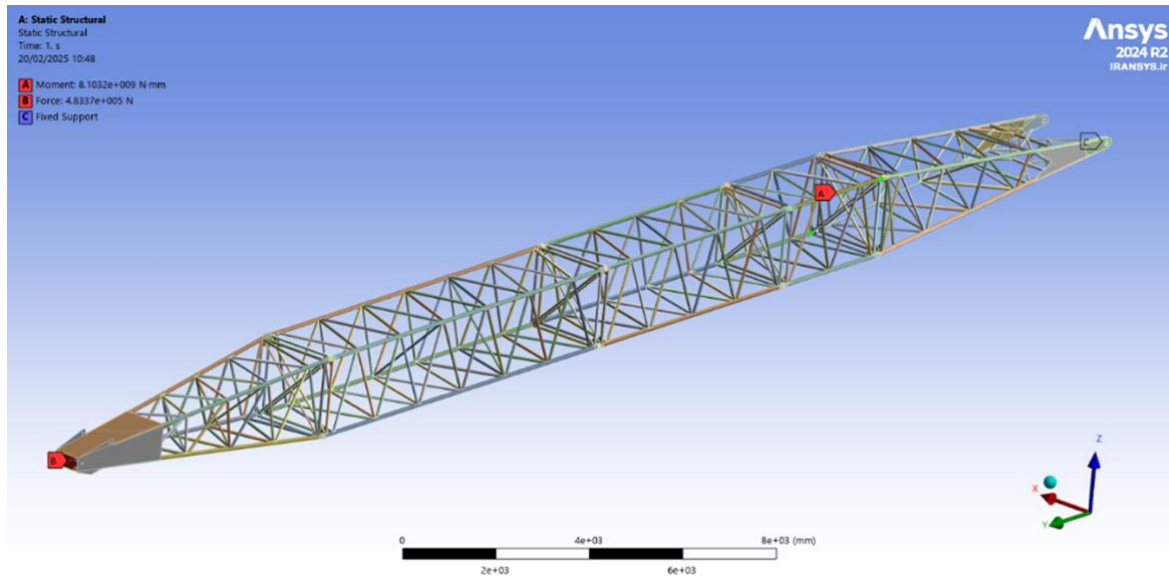
3.3.1.1 Análisis FEM para el diagnóstico de la pluma de grúa P&H 9125TC para la toma de decisión de reparación

El análisis inicia con la definición de condiciones de frontera, implementando la restricción Fixed Support, la cual simula las fuerzas generadas por el motor del carro de la grúa. Esto permite que la simulación reproduzca de manera realista el comportamiento estructural durante los izajes.

Para garantizar un modelado preciso, el eje longitudinal de la estructura se alineó con uno de los ejes principales del software ANSYS. Además, la fuerza generada por la carga izada se descompuso en una fuerza diagonal, asegurando que el análisis refleje fielmente las condiciones de operación sin distorsionar los resultados.

Figura 3

Condiciones de contorno de grúa P&H 9125TC para la toma de decisión de reparación



Para la simulación, se consideró una carga máxima de izaje basada en los registros históricos de operación de la grúa P&H 9125TC. La carga total utilizada en el análisis se desglosa de la siguiente manera:

- Carga principal izada: 50 toneladas
- Peso de la estructura de la pluma (110 FT): 6.5 toneladas
 - Para efectos del modelado, esta carga se trasladó al extremo de la pluma, generando un momento equivalente a 3.25 toneladas en dicha ubicación.
- Carga adicional aplicada en el extremo de carga: 3 toneladas

Carga total considerada: 56.25 toneladas = 551,812.50 N

Para obtener un modelo preciso de la distribución de cargas en la estructura, se realizó una descomposición de fuerzas, obteniendo:

- Componente de fuerza aplicada: 483,371.03 N
- Momento total generado sobre la estructura: 16,206,463.9 N·m
- Momento distribuido en dos zonas de análisis: 8,103,231,934 N·mm

El análisis FEM identifica las condiciones críticas en la estructura de la pluma como los mayores esfuerzos, la distribución de las deformaciones y el factor de seguridad.

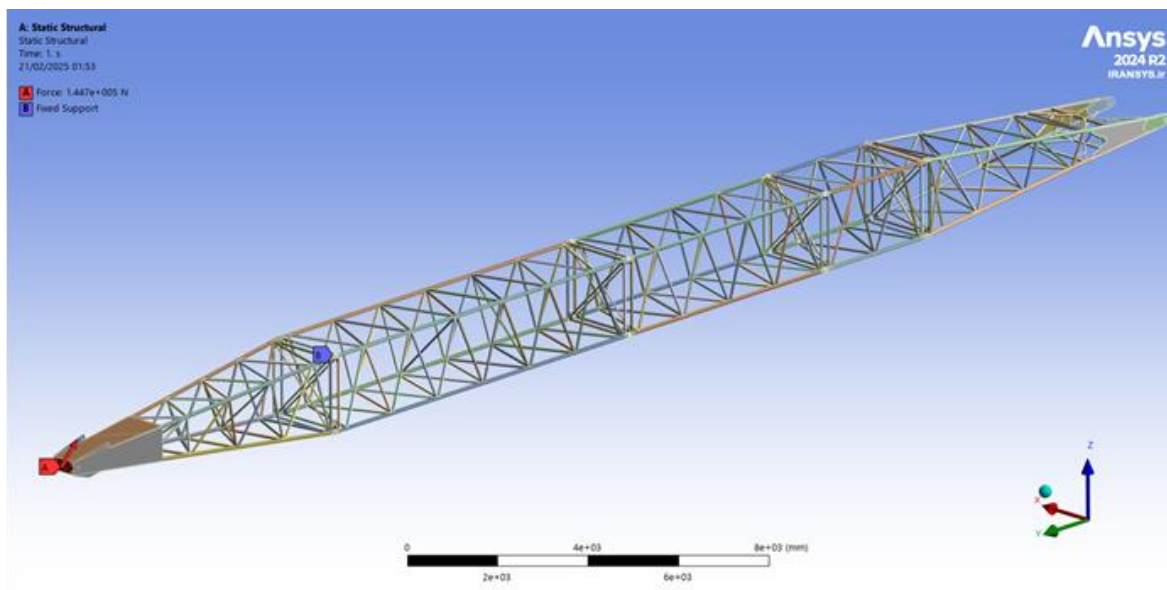
3.3.1.2 Análisis FEM de la pluma de grúa P&H 9125TC con reparación y recomendaciones realizadas

Tras la implementación de las reparaciones estructurales recomendadas, se procedió a realizar un nuevo análisis por elementos finitos (FEM) en ANSYS 2024 R2, evaluando el desempeño de la pluma en condiciones de operación restaurada.

Se mantuvieron las condiciones de frontera utilizando la restricción Fixed Support, la cual simula la fuerza generada por el motor del carro de la grúa, garantizando que la simulación refleje el comportamiento estructural real durante los izajes. Como en el análisis previo, el eje longitudinal de la estructura se alineó con uno de los ejes principales del software ANSYS, y se descompuso la fuerza generada por la carga izada en una componente diagonal para evitar distorsiones en los resultados.

Figura 4

Condiciones de contorno de grúa P&H 9125TC con reparación y recomendaciones realizadas



Para esta evaluación, se consideró una carga máxima dentro de las pruebas de carga realizadas tras la reparación, respetando los parámetros y condiciones establecidas. La distribución de cargas se definió de la siguiente manera:

- Carga principal izada: 10 toneladas
- Peso de la estructura de la pluma (110 FT): 6.5 toneladas

- Para efectos del modelado, esta carga se trasladó al extremo de la pluma, lo que genera un momento equivalente a 3.25 toneladas en dicha ubicación.
- Carga adicional de compensación: 1.5 toneladas
 - Considerando la redistribución de esfuerzos debido a la nueva configuración estructural.

Carga total considerada: 14.75 toneladas = 144,697.5 N

La descomposición de fuerzas arrojó los siguientes valores:

- Componente de fuerza aplicada: 102,317 N

El análisis FEM identifica las condiciones críticas en la estructura de la pluma como los mayores esfuerzos, la distribución de las deformaciones y el factor de seguridad.

3.4 Generación de procedimientos técnicos de reparación

La generación de procedimientos técnicos de reparación constituye una fase crítica en la restauración estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC. Esta etapa busca establecer lineamientos técnicos precisos para garantizar la ejecución de reparaciones bajo estándares de calidad y seguridad. La planificación detallada de los procedimientos permite minimizar los riesgos estructurales y optimizar la durabilidad del equipo tras la intervención.

Los procedimientos técnicos de reparación incluyen la verificación de materiales, la preparación de protocolos de soldadura y el aseguramiento de la calidad mediante la certificación del personal encargado de las tareas. Además, se definen los parámetros para la ejecución de ensayos no destructivos (END) y pruebas de validación estructural posteriores a la reparación.

En este sentido, se aplican normativas de referencia como AWS D1.1 (Código de Soldadura Estructural en Acero), ASME Sección IX (Cualificación de Procedimientos de Soldadura y Soldadores) y la norma SSPC-SP5 (Limpieza por Chorro Abrasivo a Metal

Blanco), garantizando el cumplimiento de los requisitos de integridad estructural y operatividad segura de la grúa.

3.4.1 Elaboración de procedimientos de reparación

La elaboración de procedimientos de reparación es una fase crucial en la restauración de la pluma de la grúa P&H 9125TC. Esta etapa implica la definición detallada de las actividades necesarias para la corrección de defectos estructurales, asegurando la ejecución de los trabajos de manera eficiente y segura.

3.4.1.1 Verificación de materiales y preparación de procedimientos

Antes de iniciar las reparaciones, se realiza una verificación de los materiales a emplear, comparándolos con las especificaciones del fabricante y las normativas aplicables. Se analizan los siguientes aspectos:

- Compatibilidad de los materiales de soldadura con la aleación de la pluma.
- Condiciones de los metales base y metales de aporte, asegurando la integridad estructural.
- Resistencia mecánica y propiedades metalúrgicas en las zonas de intervención.
- Revisión de documentación técnica del fabricante, garantizando que los procedimientos de reparación se alineen con las recomendaciones del fabricante.

Una vez finalizada la verificación de materiales, se procede a la elaboración del Procedimiento de Soldadura de Reparación (WPS) y el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR), ambos documentos técnicos regulados por la norma ASME Sección IX. Estos documentos establecen los parámetros de soldadura a emplear, incluyendo:

- Tipo de electrodo o alambre de soldadura.
- Parámetros eléctricos (amperaje, voltaje y velocidad de alimentación).
- Posiciones de soldadura y secuencia de aplicación.
- Métodos de precalentamiento y postcalentamiento.

3.4.1.2 Preparación del área de reparación

La zona donde se realizarán las reparaciones debe prepararse adecuadamente para garantizar la efectividad de los trabajos. Este proceso incluye:

- Limpieza y acondicionamiento superficial bajo la norma SSPC-SP5, eliminando residuos, óxido y recubrimientos previos.
- Protección de áreas adyacentes mediante biombos corta viento para evitar contaminación con partículas de soldadura.
- Marcado y delimitación de zonas de intervención, asegurando precisión en los trabajos de reparación.

3.4.1.3 Aplicación de ensayos no destructivos previos a la reparación

Antes de proceder con la soldadura, se aplican Ensayos No Destructivos (END) para evaluar la integridad estructural de la pluma y validar la extensión de los daños. Entre los métodos empleados se incluyen:

- Inspección Visual (VT): Evaluación directa de discontinuidades superficiales.
- Inspección con Líquidos Penetrantes (LPT): Detección de fisuras en las zonas críticas de soldadura.
- Medición de espesores: Identificación de reducción de material en áreas vulnerables.

Estos ensayos confirman la viabilidad de las reparaciones y establecer los parámetros de intervención con base en datos técnicos precisos.

3.4.2 Calificación de soldadores

La calificación de soldadores es un proceso fundamental dentro de la reparación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC. Esta etapa tiene como objetivo garantizar que los operarios encargados de la soldadura cumplan con los estándares de calidad y normativas internacionales aplicables, asegurando la integridad estructural de las reparaciones realizadas.

3.4.2.1 Procedimiento de calificación

El proceso de calificación de soldadores se desarrolla conforme a la norma ASME Sección IX, que regula los requisitos para la calificación de procedimientos de soldadura (PQR) y la calificación de soldadores (WPQR). A continuación, se detallan las etapas del procedimiento:

- 1. Selección del personal a calificar:** Se identifican los soldadores que participarán en las reparaciones y se verifica su experiencia y conocimientos previos en soldadura de estructuras metálicas con materiales de alta resistencia.
- 2. Preparación de probetas de prueba:** Se elaboran probetas según los parámetros establecidos en el Procedimiento de Soldadura Calificado (WPS), utilizando el mismo material base que será reparado en la estructura de la pluma, en este caso, ASTM A242.
- 3. Ejecución de la soldadura de prueba:** Los soldadores ejecutan la soldadura sobre las probetas en las posiciones requeridas. En este caso, se realiza en posición 6G, siguiendo el proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding) con electrodos de clasificación AWS E7018, tal como se establece en el WPS DDT-P&H-WPS001.
- 4. Inspección Visual (VT) y Ensayos No Destructivos (END):** Las probetas soldadas son sometidas a una inspección visual (VT), verificando la presencia de discontinuidades superficiales como grietas, porosidad, falta de fusión o socavaciones. Posteriormente, se aplican ensayos no destructivos, como la Inspección con Líquidos Penetrantes (PT), para detectar defectos superficiales que no sean visibles a simple vista.
- 5. Evaluación de parámetros de soldadura:** Se realiza un seguimiento y control de los parámetros eléctricos y térmicos de la soldadura, incluyendo el rango de amperaje (80-240 A), voltaje (30-40 V), polaridad invertida, pre-calentamiento

entre 70°F y 400°F, y post-calentamiento en el rango de 220-250°C durante 2 a 3.5 horas.

- 6. Registro de calificación de soldador (WPQR):** Si el soldador cumple con todos los criterios de aceptación, se emite el Registro de Calificación de Soldador (WPQR), certificando su competencia para realizar soldaduras en la estructura de la pluma bajo los estándares ASME Sección IX.

3.4.2.2 Resultados de la calificación de soldadores

Las pruebas realizadas para la calificación de soldadores en este proyecto han demostrado los siguientes resultados:

- **Inspección visual (VT):** Aprobada, sin presencia de defectos superficiales significativos.
- **Pruebas de líquidos penetrantes (PT):** Aprobadas, sin evidencia de grietas o porosidades críticas.
- **Control de parámetros de soldadura:** Cumplimiento de los valores establecidos en el WPS DDT-P&H-WPS001.
- **Estructura de los cordones de soldadura:** Se verificó que los cordones de soldadura en las probetas cumplen con los requisitos de uniformidad y ausencia de socavaciones. Ver Anexo E.

3.4.2.3 Aplicación de la soldadura en la pluma

Una vez calificados los soldadores, estos pueden proceder con la ejecución de las reparaciones estructurales en la pluma de la grúa. Para ello, se sigue el mismo procedimiento establecido en la calificación, asegurando la repetibilidad de los parámetros y la calidad de la unión soldada.

El seguimiento de la soldadura se lleva a cabo mediante controles de calidad en cada fase del proceso, con registros documentados de los avances y los resultados obtenidos. Además, se implementa un sistema de supervisión continua con inspectores

certificados CWI (Certified Welding Inspector) para garantizar el cumplimiento de los estándares aplicables.

En conclusión, la calificación de soldadores es un proceso clave para garantizar la integridad estructural de la reparación de la pluma de la grúa, minimizando el riesgo de fallas y asegurando la operatividad segura del equipo tras la ejecución de los trabajos.

3.5 Ejecución de trabajos de reparación

La ejecución de los trabajos de reparación es una fase fundamental en la recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC. En esta etapa, se implementan las acciones correctivas necesarias para restaurar la resistencia estructural y garantizar la operatividad segura del equipo.

El proceso de reparación incluye una serie de procedimientos que involucran la preparación de superficies, la eliminación de material deteriorado, la aplicación de soldaduras calificadas y el control de calidad en cada una de las etapas.

3.5.1 Proceso de reparación

3.5.1.1 Preparación de la superficie

Antes de iniciar las reparaciones estructurales, se lleva a cabo un proceso de acondicionamiento de la superficie, el cual garantiza que la soldadura y otros tratamientos estructurales se adhieran correctamente. Este procedimiento incluye:

- 1. Limpieza superficial** mediante arenado SSPC-SP10 para eliminar óxido, pintura y contaminantes.
- 2. Desbaste mecánico** de las zonas afectadas para asegurar una superficie adecuada para la aplicación de la soldadura.
- 3. Eliminación de material deteriorado** mediante corte de secciones dañadas de los tubos reticulados y la base de la pluma.
- 4. Precalentamiento del metal base** en un rango de 70°F – 400°F, minimizando esfuerzos térmicos que puedan generar fisuras en la soldadura.

3.5.1.2 Reemplazo de elementos dañados

En función de la inspección inicial, algunas partes de la estructura de la pluma requieren reemplazo debido a deterioro severo o pérdida de espesor. Las acciones correctivas incluyen:

- 1. Sustitución de reticulados defectuosos** con tubos, conformes a la especificación ASTM A242, garantizando compatibilidad con la estructura original.
- 2. Reposición de secciones de la base de la pluma**, asegurando el correcto alineamiento de los nodos de unión.
- 3. Corte y ajuste de los nuevos elementos estructurales**, con precisión para garantizar la continuidad de la resistencia mecánica de la pluma, todo bajo lo indicado en el manual del fabricante de reparación.

3.5.1.3 Procedimiento de soldadura

Las soldaduras realizadas en la estructura de la pluma siguen el procedimiento WPS DDT-P&H-WPS001, el cual cumple con la norma ASME Sección IX.

- 1. Aplicación de soldadura con proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding)** utilizando electrodo E7018 por indicación del manual de reparación del fabricante, que proporciona alta resistencia mecánica.
- 2. Control de temperatura en la soldadura**, asegurando la aplicación de calor controlado y la correcta disipación térmica.
- 3. Realización de soldaduras en múltiples pases**, garantizando una fusión homogénea entre el metal base y el metal de aporte.
- 4. Postcalentamiento y tratamiento térmico posterior**, con temperaturas entre 220°C y 250°C, manteniendo la soldadura libre de esfuerzos residuales.

El proceso de soldadura se ejecuta bajo un sistema de supervisión estricta, con la verificación continua de los parámetros eléctricos y mecánicos del procedimiento.

3.5.1.4 Ensayos No Destructivos (END) en la reparación

Para garantizar la calidad estructural de las reparaciones, cada soldadura es sometida a Ensayos No Destructivos (END) que permiten verificar la integridad de la unión.

- **Inspección visual (VT):** Revisión inicial de la calidad de la soldadura, verificando defectos superficiales.
- **Inspección con líquidos penetrantes (PT):** Detección de grietas y fisuras superficiales en las soldaduras aplicadas.
- **Ultrasonido (UT):** Identificación de defectos internos en la unión soldada.

Los resultados obtenidos en cada una de estas inspecciones son documentados y comparados con los criterios de aceptación definidos en las normativas aplicables.

3.5.1.5 Control de calidad y documentación

Cada etapa del proceso de reparación es supervisada por inspectores certificados CWI (Certified Welding Inspector), quienes verifican que los trabajos cumplan con las especificaciones establecidas en el procedimiento de reparación.

Los registros de los ensayos no destructivos, los parámetros de soldadura y la trazabilidad de los materiales utilizados son almacenados en el informe de calidad de la reparación. Este documento servirá como referencia para auditorías y garantizará la conformidad con las normativas internacionales.

En conclusión, el proceso de reparación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC es un procedimiento altamente controlado que busca restaurar la funcionalidad de la estructura mediante técnicas de soldadura certificadas y controles de calidad rigurosos.

3.5.2 Evaluación de resultados

La evaluación de resultados es una etapa crítica en la ejecución de los trabajos de reparación, ya que permite verificar la calidad de las intervenciones realizadas y garantizar que la estructura de la pluma de la grúa P&H 9125TC ha recuperado su integridad mecánica y funcionalidad. Para ello, se emplean diversos métodos de inspección y

ensayos no destructivos (END), los cuales aseguran la conformidad con los estándares de seguridad y normativas aplicables.

3.5.2.1 Inspección visual final (VT)

La inspección visual (VT) es el primer control realizado sobre las reparaciones estructurales. Consiste en una revisión detallada de las zonas intervenidas para detectar irregularidades o defectos superficiales en las soldaduras y componentes sustituidos. Los aspectos evaluados incluyen:

- Presencia de socavaciones, fisuras o porosidad en la soldadura.
- Uniformidad en la aplicación del cordón de soldadura.
- Alineación de los componentes estructurales reparados.
- Eliminación de residuos de escoria y material de aporte.

3.5.2.2 Ensayos No Destructivos (END)

Para asegurar la integridad estructural de las uniones soldadas, se aplican ensayos no destructivos, los cuales permiten identificar defectos internos y superficiales sin comprometer la resistencia del material. Estos ensayos incluyen:

1. Inspección con líquidos penetrantes (PT)

- Se aplica para detectar grietas, fisuras o porosidades en la superficie de las soldaduras.
- Consiste en la aplicación de un líquido penetrante en la zona a evaluar, seguido de un revelador que permite visualizar cualquier discontinuidad.

2. Ultrasonido (UT)

- Permite identificar defectos internos en las soldaduras, como inclusiones de escoria, falta de fusión o poros internos.
- Se emplean transductores ultrasónicos que generan ondas acústicas para analizar la homogeneidad del material.

3. Medición de espesores (UTT)

- Se realiza con equipos de ultrasonido para verificar que los espesores de las reparaciones cumplen con los requerimientos de diseño.
- Permite detectar posibles reducciones de espesor debidas a la corrosión o desgaste.

Los resultados de estas inspecciones y ensayos son documentados en un informe técnico, donde se registran las condiciones finales de la pluma y se comparan con los criterios de aceptación establecidos en la normativa ASME Sección IX y AWS D14.1.

3.5.2.3 Análisis de conformidad

Una vez obtenidos los resultados de las inspecciones y ensayos, se procede a un análisis comparativo con los estándares de aceptación. Se verifican los siguientes parámetros:

- Cumplimiento de las dimensiones y espesores especificados en los planos técnicos.
- Ausencia de defectos en las soldaduras y uniones estructurales.
- Cumplimiento de los requerimientos mecánicos y resistencia de la estructura.

Si las reparaciones cumplen con los criterios de aceptación, se autoriza la aplicación del recubrimiento final. En caso de encontrar defectos, se procede con las correcciones necesarias antes de avanzar a la siguiente fase.

3.5.3 Recubrimiento final

El recubrimiento final es la última etapa del proceso de reparación, donde se aplican tratamientos de protección a la superficie de la pluma para prevenir la corrosión y garantizar su durabilidad en condiciones operativas exigentes.

3.5.3.1 Preparación de la superficie

Antes de aplicar el recubrimiento, la superficie de la pluma debe ser preparada adecuadamente para garantizar la adherencia y efectividad del sistema de protección. Este proceso incluye:

- **Limpieza con arenado SSPC-SP5** para eliminar cualquier residuo de óxido, grasa o contaminantes en la superficie.
- **Aplicación de solventes desengrasantes** para asegurar una superficie libre de impurezas.
- **Verificación de rugosidad superficial** mediante comparadores de perfil, asegurando que la textura es adecuada para la adhesión del recubrimiento.

3.5.3.2 Aplicación del recubrimiento

El recubrimiento se aplica en varias capas para ofrecer una protección óptima contra la corrosión y el desgaste mecánico. Se utilizan los siguientes tipos de recubrimientos:

1. Imprimación epóxica anticorrosiva

- Se aplica una primera capa de primer epóxico con alto contenido de zinc, lo que proporciona una barrera contra la corrosión.
- Este recubrimiento cumple con la norma ISO 12944-5, asegurando su efectividad en ambientes industriales agresivos.

2. Capa intermedia

- Se aplica una segunda capa de pintura epóxica de alta resistencia química.
- Su función es mejorar la resistencia a la humedad y a los agentes químicos presentes en el ambiente operativo de la grúa.

3. Capa de acabado

- Se aplica una capa final de pintura de poliuretano de alta resistencia, la cual proporciona un acabado protector contra impactos mecánicos y radiación UV.
- Esta pintura mejora la estética de la estructura y facilita futuras inspecciones visuales.

3.5.3.3 Control de calidad del recubrimiento

Una vez aplicado el recubrimiento, se realizan inspecciones para garantizar su correcta aplicación y efectividad. Los controles incluyen:

- **Medición del espesor de la película de pintura** mediante equipos de prueba de espesor de recubrimiento, asegurando que cumple con las especificaciones del fabricante.
- **Prueba de adherencia** para evaluar la resistencia del recubrimiento a la delaminación y desprendimiento.
- **Verificación de resistencia a la corrosión** mediante pruebas de niebla salina (ISO 9227), garantizando la durabilidad del recubrimiento en condiciones ambientales adversas.

3.6 Montaje y prueba de estructura

La etapa de montaje y prueba de estructura es crucial para garantizar que la pluma de la grúa P&H 9125TC recupera su funcionalidad y seguridad estructural después de las reparaciones. Esta fase involucra la reinstalación de los componentes de la pluma y su integración con el sistema de la grúa, alineado al manual técnico del fabricante, asegurando su correcto funcionamiento mediante pruebas operativas.

3.6.1 Armado y montaje de pluma de grúa

3.6.1.1 Verificación del área de trabajo

Antes de iniciar el montaje de la pluma, se realiza una verificación detallada del área de trabajo para garantizar condiciones seguras y adecuadas para la operación de izaje y ensamblaje. Este proceso incluye:

1. **Inspección del área:** Se revisa el espacio donde se realizará el montaje, asegurando la ausencia de obstáculos, contaminación o cualquier elemento que pueda interferir con la operación.

- 2. Condiciones del suelo:** Se verifica la nivelación y capacidad de soporte del suelo, especialmente en zonas donde se instalarán los soportes y sistemas de elevación.
- 3. Accesos y rutas de movimiento:** Se definen las rutas de acceso para el traslado de componentes, asegurando que sean despejadas y permitan el libre movimiento del equipo de izaje.
- 4. Condiciones ambientales:** Se evalúan las condiciones meteorológicas, como viento, temperatura y humedad, que puedan afectar la estabilidad del proceso de montaje.
- 5. Verificación de equipos y herramientas:** Se inspeccionan las herramientas y dispositivos de izaje para garantizar que están en condiciones operativas óptimas.

3.6.1.2 Identificación de peligros y control de riesgos

Para minimizar riesgos en el montaje, se implementa un análisis de peligros y medidas de control que incluyen:

- Uso obligatorio de equipos de protección personal (EPP) para todos los operarios.
- Capacitación del personal en técnicas seguras de izaje y montaje.
- Implementación de señalización y restricciones de acceso en el área de trabajo.
- Supervisión continua de las operaciones por un especialista en seguridad.

3.6.1.3 Proceso de armado y montaje

El montaje de la pluma de la grúa sigue un procedimiento estructurado alineado a las indicaciones del manual del fabricante, cumpliendo el orden de cada cuerpo para garantizar su correcta integración con el equipo:

1. Posicionamiento de la base de la pluma

- Se coloca la base de la pluma sobre soportes estables y nivelados.
- Se alinean los puntos de fijación con la estructura de la grúa.

2. Instalación de los reticulados y secciones intermedias

- Se ensamblan progresivamente las secciones de la pluma utilizando los pines de amarre de alta resistencia.
- Se verifica la alineación y nivelación en cada etapa del montaje.

3. Colocación de componentes mecánicos

- Instalación de poleas, polipastos y mecanismos de sujeción de cables.
- Aseguramiento de pasadores y fijaciones estructurales.

4. Montaje de cableado y accesorios

- Se instalan los cables de izaje y los sistemas de control de la pluma.
- Se ajustan y prueban los sistemas hidráulicos y eléctricos si corresponden.

5. Inspección del ensamblaje

- Se realiza una verificación estructural y dimensional de la pluma ensamblada.
- Se comparan los parámetros de instalación con las especificaciones del fabricante.

3.6.1.4 Inspección y validación del montaje

Una vez finalizado el montaje, se lleva a cabo una inspección exhaustiva para garantizar la estabilidad y alineación de la pluma. Los aspectos evaluados incluyen:

- **Verificación de pernos y soldaduras:** Se inspeccionan visualmente y, en caso necesario, se aplican pruebas no destructivas (VT y PT) para validar la calidad de las uniones.
- **Alineación estructural:** Se mide la rectitud y nivelación de la pluma para asegurar que no haya desviaciones que comprometan su operatividad.
- **Prueba de movilidad:** Se realiza un primer movimiento de la pluma sin carga para verificar la correcta operación de los sistemas de izaje.

3.6.2 Pruebas funcionales

Las pruebas funcionales en el montaje de la pluma de la grúa son esenciales para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del equipo antes de su uso en operaciones de izaje. Estas pruebas permiten validar la resistencia estructural, la operatividad de los sistemas mecánicos y la estabilidad de la grúa bajo carga bajo condiciones reales para el izaje. Los objetivos funcionales son:

- Verificar la integridad estructural de la pluma ensamblada y su correcta alineación.
- Evaluar la estabilidad del sistema con y sin carga.
- Corroborar el correcto funcionamiento de los mecanismos de izaje, incluyendo cabrestantes, poleas y ganchos.
- Comprobar la operatividad de los estabilizadores y contrapesos en condiciones estáticas y dinámicas.
- Simular el comportamiento de la grúa bajo condiciones reales de trabajo, porcentaje de estabilizadores, longitud de pluma, radio de giro y carga.

3.6.2.1 Etapas de las pruebas funcionales

1. Inspección preliminar

- Se verifica que todas las conexiones mecánicas y soldaduras cumplan con las especificaciones del diseño.
- Se inspecciona visualmente la estructura de la pluma, en busca de fisuras, deformaciones o anomalías.
- Se confirma la correcta instalación de acuerdo al manual del fabricante y se corrobora a la vez; funcionamiento de los dispositivos de seguridad.

2. Pruebas en vacío

- Se realizan maniobras de movimiento de la pluma sin carga para evaluar funcionalidad, ángulos de inclinación y respuesta a los controles.
- Se verifican los frenos y limitadores de recorrido.

- Se inspeccionan los sistemas hidráulicos o mecánicos para detectar posibles fugas o fallas en el accionamiento.

3. Prueba de carga estática

- Se realiza unas 02 pruebas estáticas, con cargas de 5 y 10 toneladas y elevados a una altura de 1.5 metros a un tiempo de 45 minutos.
- Se mide la deflexión de la pluma, el comportamiento de los pines de amarre, la estructura como tal y dispositivos de seguridad motriz.
- Se monitorean los sistemas de control y estabilización para detectar posibles anomalías.

4. Prueba de carga dinámica

- Se simula una operación de izaje real con carga controlada de 5 y 10 Tn, evaluando la respuesta del sistema en condiciones operativas.
- Se mide el comportamiento del sistema durante la elevación y descenso de la carga.
- Se realiza un análisis de oscilaciones y estabilidad durante los movimientos de la grúa.

5. Verificación de la seguridad

- Se evalúan los sistemas de emergencia y de frenado.
- Se prueba la capacidad de respuesta ante interrupciones de energía o fallas mecánicas.
- Se revisan los registros de sensores y sistemas electrónicos de monitoreo.

6. Documentación y aprobación

- Se documentan los resultados de las pruebas, registrando cualquier ajuste o corrección requerida.
- Se emite un informe de certificación que valida la operatividad de la pluma para su uso en operaciones de izaje por un personal calificado.

- Se procede con la aprobación del equipo para la siguiente fase: el trabajo de izaje (Plan de Izaje).

3.6.3 Trabajo de izaje (Plan de Izaje)

El trabajo de izaje requiere una planificación detallada para garantizar la seguridad y eficiencia en la manipulación de cargas pesadas. Un plan de izaje (en inglés conocido como Riggin Plan) adecuado considera factores como el peso de la carga, el ángulo de elevación, la distribución de cargas y las condiciones del entorno de trabajo que para nuestro caso es una condición atípica.

3.6.3.1 Factores claves del Plan de Izaje

- Peso y dimensiones de la carga.
- Capacidad de carga de la grúa y configuración del contrapeso.
- Condiciones del terreno y área de trabajo.
- Selección y disposición de eslingas y dispositivos de sujeción.
- Cálculo de estabilidad y distribución de esfuerzos.

3.6.3.2 Etapas del trabajo de izaje

1. Inspección y preparación previa

- Se inspecciona el área de trabajo, asegurando una superficie estable para la grúa.
- Se verifican las condiciones meteorológicas, ya que factores como el viento pueden afectar la estabilidad.
- Se realiza un chequeo del equipo de izaje, incluyendo grúa, ganchos, eslingas y puntos de anclaje.

2. Cálculo de parámetros de izaje

- Se establecen los radios de giro y ángulos de inclinación adecuados para cada operación.
- Se calcula el momento de estabilidad de la grúa en función de la carga a levantar teniendo en cuenta la condición atípica de la grúa.

- Se determinan los puntos de anclaje de las eslingas y el tipo de configuración a utilizar (choker, cesta, vertical).

3. Selección de eslingas y accesorios de izaje

- Se eligen eslingas conforme a la normativa **ASME B30.9** (Slings), asegurando que su capacidad supere el peso de la carga.
- Se verifica el número de grilletes y la resistencia de los puntos de anclaje.
- Se determina el ángulo de inclinación de las eslingas para evitar esfuerzos excesivos en los accesorios de izaje.

4. Prueba de Levantamiento Controlado

- Se levanta la carga unos centímetros del suelo para evaluar su estabilidad y corregir cualquier inclinación.
- Se monitorea la distribución de la carga y la tensión en las eslingas.
- Se verifica la respuesta de la grúa ante el peso aplicado.

5. Ejecución del izaje

- Se inicia el izaje con velocidad controlada, asegurando que no haya movimientos bruscos.
- Se mantiene comunicación constante entre el operador de la grúa y el equipo de rigging mediante señales visuales y radiales.
- Se estabiliza la carga en su punto de destino antes de proceder con el descenso controlado.

6. Inspección post-izaje

- Se verifica la integridad estructural de la carga y de los accesorios de izaje.
- Se registran los parámetros del izaje y se documenta cualquier incidente o desviación del procedimiento.
- Se liberan las eslingas y se almacena el equipo de rigging en condiciones óptimas para su próximo uso.

3.6.3.3 Cálculos de estabilidad y seguridad

Las siguientes consideraciones numéricas fueron aplicadas para validar el izaje seguro:

- Pruebas de carga de 10 toneladas y 5 toneladas, considerando el cálculo de momentos y estabilidad.
- Evaluación de tensiones en eslingas, asegurando que la carga distribuida cumpla con los estándares ASME.
- Cálculo de fuerzas estáticas y dinámicas, para prever impactos en la grúa durante la operación de izaje.
- Determinación de ángulos de inclinación críticos, garantizando la correcta distribución del esfuerzo.

3.7 Cálculo de confiabilidad

El cálculo de confiabilidad es un aspecto fundamental en la evaluación de componente. La confiabilidad se determina por la probabilidad de que el equipo opere sin fallas durante un periodo determinado. Para ello, se emplean herramientas analíticas como el cálculo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y la confiabilidad exponencial, con base en datos obtenidos de inspecciones, ensayos no destructivos (END) y simulaciones numéricas por el método de elementos finitos (FEM).

Su fórmula universal es:

$$CONFIABILIDAD \text{ o } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Operativo (Horas)}}{\text{Nro. de Paradas no Planeados}} \quad (2)$$

$$\text{Tiempo Operativo (Horas)} = \text{Tiempo Total Disponible} - \text{Tiempo Inactividad} \quad (3)$$

Donde:

$e = 2.718$, t = Tiempo efectivo de operación y $MTBF$ = Tiempo medio entre la falla.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Este capítulo presenta el análisis integral de los resultados obtenidos durante la evaluación, desmontaje, análisis estructural, reparación, verificación funcional y análisis de confiabilidad de la pluma de la grúa P&H 9125 TC. El propósito es validar la hipótesis técnica del proyecto y evidenciar la mejora en la confiabilidad estructural del sistema recuperado.

Se inicia con los resultados de la evaluación general del equipo, los cuales comprenden la inspección superficial de la pluma y la verificación del traslado de sus cuerpos estructurales al área de trabajo. Luego, se detalla el procedimiento de desmontaje de la pluma en dos secciones (estructura y parte mecánica), seguido de una evaluación del impacto que estas acciones generaron sobre la preparación y condiciones de seguridad del izaje.

En la sección siguiente, se abordan los resultados de la inspección y evaluación inicial de la estructura, realizada tras el proceso de arenado. Se incluyen los ensayos no destructivos aplicados: inspección visual (VT), líquidos penetrantes (LPT), medición de espesores e identificación de tubos deformados, los cuales permitieron caracterizar con precisión las discontinuidades presentes y determinar criterios de intervención.

Posteriormente, se expone el análisis del componente mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), identificando escenarios de comportamiento estructural ante cargas típicas de operación. Este modelado permitió anticipar concentraciones de esfuerzos y definir zonas críticas, constituyendo una base cuantitativa para el planteamiento de reparaciones.

A continuación, se documentan los procedimientos técnicos de reparación, que abarcan la preparación de superficies, ejecución de soldaduras conforme a los

lineamientos de la ASME Sección IX, calificación de soldadores y acciones de control de calidad. Se incluye el resumen de resultados de la reparación ejecutada.

Luego, se desarrollan los resultados del cálculo de confiabilidad, abordado desde tres enfoques: (i) confiabilidad de la estructura reparada, (ii) confiabilidad del sistema grúa-estructura y (iii) confiabilidad de la operación de izaje. Para ello, se aplicaron criterios cuantitativos como el tiempo medio entre fallas (MTBF), la evaluación de márgenes de seguridad estructural y la revisión del plan de izaje.

El capítulo cierra con los resultados del montaje y pruebas funcionales de la estructura reparada, detallando los procedimientos de armado, ejecución del trabajo de izaje, e inspección post-trabajo. Finalmente, se realiza la discusión de los resultados obtenidos, la contrastación de la hipótesis de partida y se presentan los principales aportes técnicos derivados del proyecto, destacando su aplicabilidad en la recuperación de estructuras sometidas a condiciones de carga cíclica o fatiga.

4.1 Análisis de resultados de la evaluación general del equipo

La evaluación general del equipo de la pluma de la Grúa P&H 9125TC, que se constituye de la base y pluma, se fundamenta en una inspección detallada y la documentación de las condiciones estructurales y operativas del equipo. Esta evaluación es crucial para identificar los daños existentes y planificar adecuadamente las reparaciones necesarias. Se utilizó una combinación de inspección visual, mediciones de espesores y análisis de daños estructurales para obtener una comprensión completa del estado de la pluma.

4.1.1 Inspección superficial de la pluma de la Grúa P&H 9125TC

La inspección superficial se llevó a cabo de manera meticulosa para detectar cualquier anomalía visible en la estructura de la pluma. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

- Se detectaron fisuras en los cordones de soldadura en el cuerpo base de la estructura de celosía, en unión de planchas de 5/16 y tubo de 3 pulgadas.

- Presencia de corrosión y perforaciones en la zona interior de la intersección de plancha y tubería.
- Fisuras entre las planchas.
- Uniones soldadas con desbastes y fisuras longitudinales que requieren ser atendidas.
- Se tomaron fotografías de alta resolución y se elaboraron esquemas detallados para documentar la ubicación y extensión de los daños.
- La inspección se realizó conforme a las normativas B30.5, B30.9 y la práctica recomendada SNT-TC-1a, que proporcionan directrices claras sobre los procedimientos de inspección y los criterios de aceptación y rechazo.

4.1.2 Resultado del traslado de cuerpos de la pluma

El traslado de la Grúa P&H 9125TC desde un punto del muelle, hasta el taller de mantenimiento de flota pesada fue una operación crítica que requirió una planificación y ejecución. A continuación, se presenta el análisis de los resultados del traslado:

- La planificación del traslado incluyó la coordinación con diversas unidades, la evaluación de rutas y la preparación del equipo de transporte. Esta etapa se ejecutó conforme a lo planificado, minimizando interrupciones y asegurando que el traslado se realizara en el tiempo previsto.
- Se implementaron estrictas medidas de seguridad durante el traslado, incluyendo la utilización de equipos de protección personal (EPP) y la supervisión continua por parte de personal de seguridad. No se reportaron incidentes durante el traslado, lo que indica una ejecución segura y eficiente.
- El traslado se realizó sin causar daños adicionales a la pluma. La estructura se mantuvo estable durante el movimiento, gracias al uso de equipos de soporte adecuados y a la cuidadosa manipulación por parte del equipo de transporte.
- Se mantuvieron registros detallados de todo el proceso de traslado, incluyendo las inspecciones previas y posteriores al traslado, las rutas utilizadas y los

procedimientos de seguridad implementados. Esta documentación es vital para futuras referencias y auditorías.

- La coordinación entre los equipos involucrados fue efectiva, lo que permitió una comunicación fluida y la resolución rápida de cualquier eventualidad. Esta coordinación fue clave para el éxito del traslado.

4.2 Resultados del desmontaje de la pluma

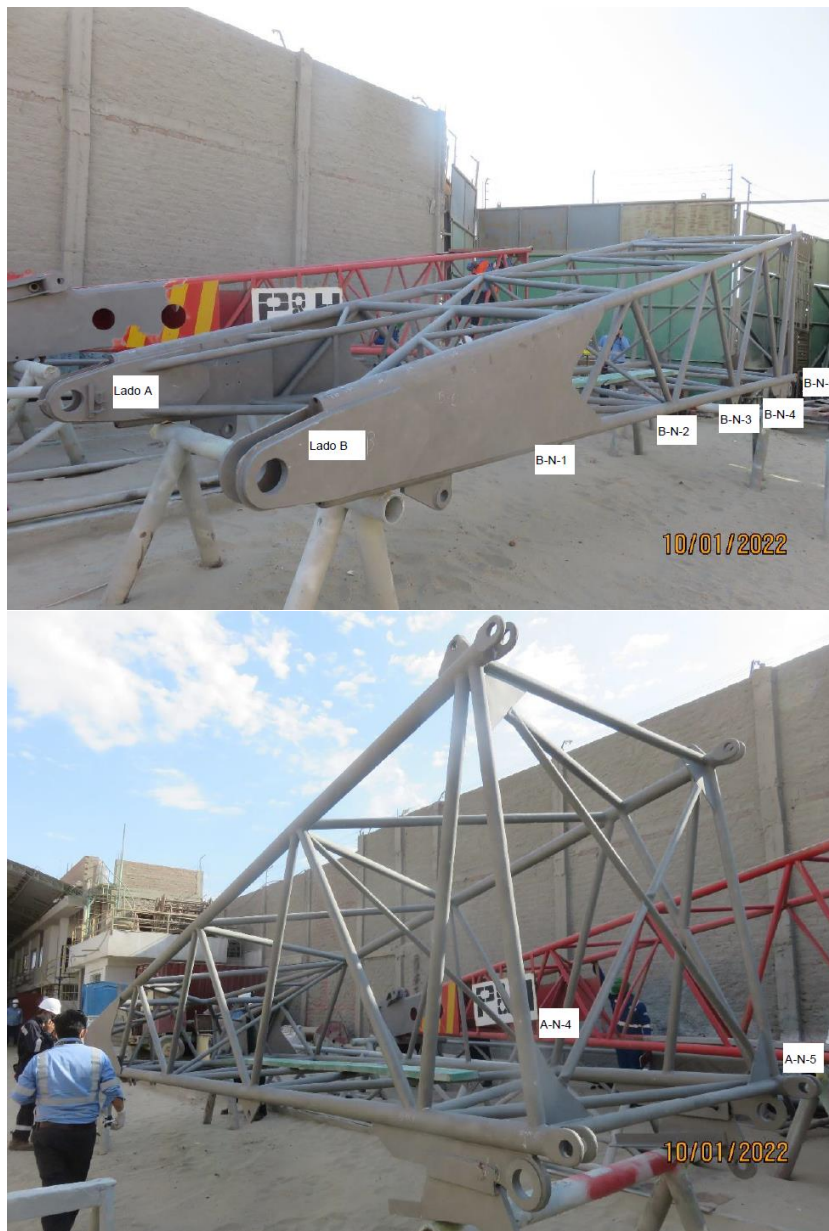
El desmontaje de la pluma de la Grúa P&H 9125TC requiere adherirse estrictamente a los procedimientos del fabricante y a las normativas de seguridad. Esta sección detalla los resultados obtenidos durante el proceso de desmontaje, evaluando tanto el procedimiento seguido como el impacto de las medidas de preparación y seguridad en la integridad estructural de la pluma.

4.2.1 Procedimiento de desmontaje según el fabricante

El procedimiento de desmontaje de la pluma se realizó siguiendo las instrucciones y recomendaciones proporcionadas por el fabricante, P&H, donde la Figura 5,6 y 7 ilustran la base, la pluma y el cuerpo de la pluma de la grúa, correspondientemente.

Figura 5

Base de la pluma de la Grúa P&H 9125TC



Nota: las piezas desmontadas son etiquetadas.

A continuación, se describen los resultados observados durante el proceso:

- Se verificó el área de trabajo para asegurar que las condiciones eran adecuadas y que se contaba con el equipo necesario.
- Se realizaron reuniones de planificación con el equipo de trabajo para asegurar que todos comprendían el procedimiento y las medidas de seguridad.
- El desmontaje se inició con la desconexión de todos los sistemas auxiliares y el aseguramiento de la pluma en una posición segura.

- Se desmontaron las secciones de la pluma siguiendo el orden especificado por el fabricante, comenzando por los extremos y avanzando hacia el centro.
- Las piezas desmontadas fueron etiquetadas y almacenadas de manera ordenada para facilitar la inspección y reparación posteriores.
- Cada sección desmontada fue inspeccionada visualmente para identificar cualquier daño o anomalía que no hubiera sido detectado en inspección inicial.
- Se mantuvo un registro detallado de cada paso del desmontaje, incluyendo fotografías y notas de cualquier hallazgo significativo.
- Los registros se utilizaron para planificar las reparaciones y para asegurar que el proceso de reensamblaje pudiera realizarse sin contratiempos.

Figura 6

Pluma de la Grúa P&H 9125TC



Nota: las piezas desmontadas son etiquetadas.

Figura 7

Cuerpo de la Pluma de la Grúa P&H 9125TC



4.2.2 Impacto de la preparación y seguridad en la integridad estructural

La preparación y las medidas de seguridad implementadas durante el desmontaje tuvieron un impacto significativo en la integridad estructural de la pluma. A continuación, se analizan los resultados obtenidos:

1. Medidas de preparación:

- Se realizaron todas las preparaciones necesarias para asegurar que el área de trabajo estaba libre de obstrucciones y que se contaba con el equipo adecuado.
- Se establecieron puntos de apoyo y sistemas de sujeción para asegurar que las secciones de la pluma no sufrieran daños adicionales durante el desmontaje.

2. Impacto en la integridad estructural:

- Gracias a las medidas de preparación y seguridad, el desmontaje se realizó sin causar daños adicionales a las secciones de la pluma.
- La integridad de las piezas estructurales se mantuvo, lo que permitió una evaluación más precisa y planificaciones de reparaciones efectivas.

- Las inspecciones realizadas durante el desmontaje confirmaron que la preparación adecuada y las medidas de seguridad fueron eficaces para preservar el estado estructural de la pluma.

3. Seguridad del personal:

- No se reportaron incidentes ni accidentes durante el proceso de desmontaje, lo que indica que las medidas de seguridad implementadas fueron efectivas.
- La capacitación y las reuniones de planificación previas aseguraron que todo el personal estaba informado y preparado para realizar sus tareas de manera segura.

4. Lecciones aprendidas:

- La importancia de la preparación y la planificación se destacó como un factor crítico para el éxito del desmontaje.
- Las técnicas y procedimientos utilizados sirven como referencia para futuros proyectos de desmontaje y reparación de equipos similares.

4.3 Análisis del componente

Una vez que los cuerpos de la pluma han sido desmontados y trasladados a un entorno seguro, se procede a la medición detallada de toda la estructura. Dado que el equipo data del año 1974 y no cuenta con planos originales de soporte, es necesario documentar manualmente la distribución de los reticulados, estructuras de amarre y longitudes generales.

Posteriormente, las mediciones recopiladas se ingresan en el software INVENTOR 2024, permitiendo el modelado tridimensional de la estructura. Tras ensamblar todas las partes y contrastarlas en campo con la estructura real, se obtiene un modelo preciso. Este modelo es luego exportado a ANSYS 2024 R2 para el análisis estructural bajo dos escenarios: Análisis de la pluma con el problema estructural actual y Análisis de la pluma tras la recuperación estructural.

4.3.1 Resultados de análisis FEM

En esta sección se presentan los resultados del análisis estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC mediante el Método de Elementos Finitos (FEM). La simulación numérica permitió evaluar la distribución de esfuerzos, identificar los mayores esfuerzos y determinar zonas críticas susceptibles a falla estructural. Se realizaron dos modelos de análisis: el primero con la estructura en su estado deteriorado y el segundo con la estructura restaurada, permitiendo comparar su comportamiento mecánico bajo condiciones de carga representativas. A partir de los resultados obtenidos, se establecieron criterios de reparación y refuerzo, asegurando que la pluma recuperada cumpla con los requisitos de seguridad y operatividad.

4.3.1.1 Resultados de análisis FEM para el diagnóstico de la pluma de grúa P&H 9125TC para la toma de decisión de reparación

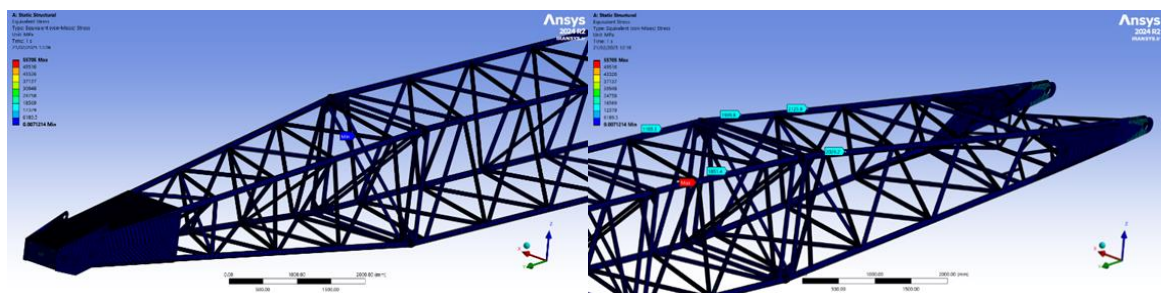
El análisis FEM permitió identificar las siguientes condiciones críticas en la estructura de la pluma:

- Zona de mayores esfuerzos

Los mayores esfuerzos se localizaron en las vigas principales situadas en los extremos de la estructura, alcanzando un valor máximo de 2.09 GPa.

Figura 8

Distribución de los esfuerzos en la estructura para la toma de decisión de reparación



- Deformaciones y Seguridad Operativa

Los resultados del análisis de deformaciones indican que la pluma supera los límites permisibles del material ASTM A242, lo que compromete tanto la capacidad de

carga operativa como la seguridad estructural. Se identificaron deflexiones significativas que afectan el rendimiento del equipo.

Figura 9

Distribución de las deformaciones en la estructura para la toma de decisión de reparación

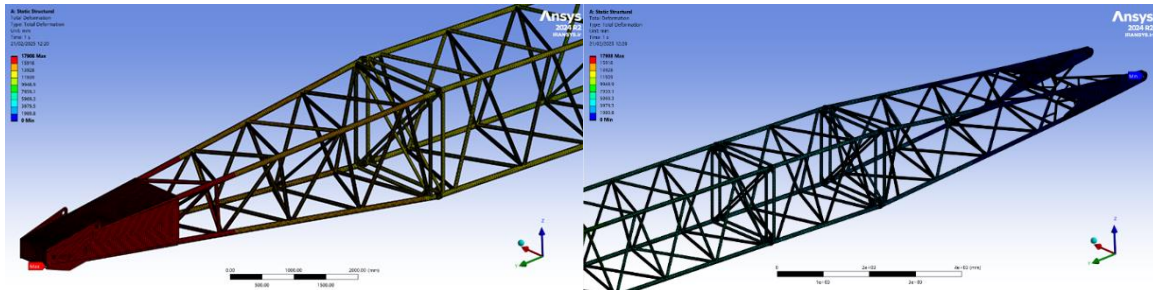
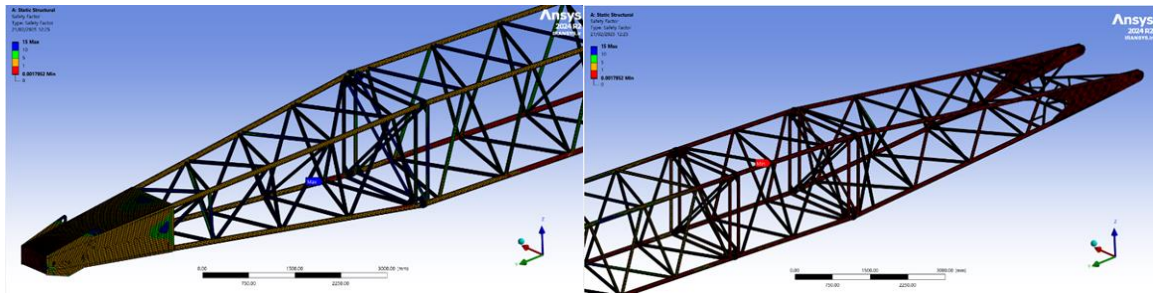


Figura 10

Distribución del factor de seguridad en la estructura para la toma de decisión de reparación



- Factor de Seguridad

El análisis del factor de seguridad reveló lo siguiente:

- En la zona de base de la estructura (cercana a la parte mecánica de la grúa), los valores son inferiores a 1, indicando un alto riesgo de fallo estructural.
- Al excluir los valores extremos generados en las condiciones de frontera (debidamente rígidas), se observó que el factor de seguridad promedio también es menor a 1 en diversas secciones de la pluma.
- Se concluye que los esfuerzos sobrepasan los límites permisibles del material, sometiendo a la estructura a sobreesfuerzo y aumentando el riesgo de colapso en condiciones operativas.

4.3.1.2 Resultados de análisis FEM de la pluma de grúa P&H 9125TC con reparación y recomendaciones realizadas

- Mayores esfuerzos

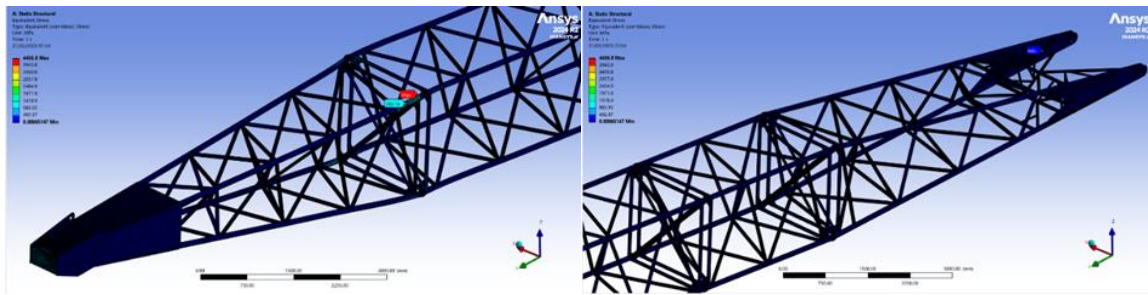
El análisis FEM indicó que, con la estructura recuperada, los mayores esfuerzos continúan ubicándose en las vigas principales de los cuerpos extremos, aunque con una reducción significativa respecto al análisis previo.

Esfuerzo máximo registrado: 709.16 MPa

- Notablemente inferior a los 2.09 GPa obtenidos en la evaluación inicial, lo que indica una notable mejora en la distribución de cargas.

Figura 11

Distribución de los esfuerzos en la estructura con reparación y recomendaciones realizadas



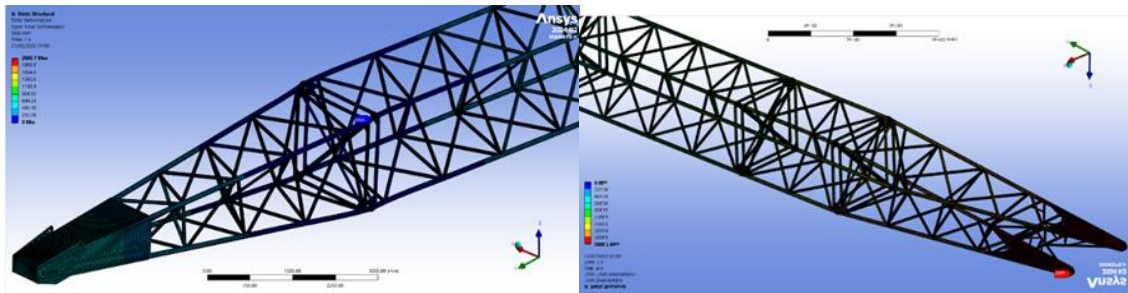
- Deformaciones y Seguridad Operativa

Con las reparaciones implementadas y una longitud de pluma establecida en 110 FT, el análisis estructural arrojó los siguientes resultados:

- Deformaciones dentro de los límites permitidos por el material ASTM A242, permitiendo que la grúa soporte cargas operativas sin comprometer su seguridad ni rendimiento.
- Deflexiones controladas, evitando riesgos de fallo y asegurando la estabilidad del sistema.

Figura 12

Distribución de las deformaciones en la estructura con reparación y recomendaciones realizadas



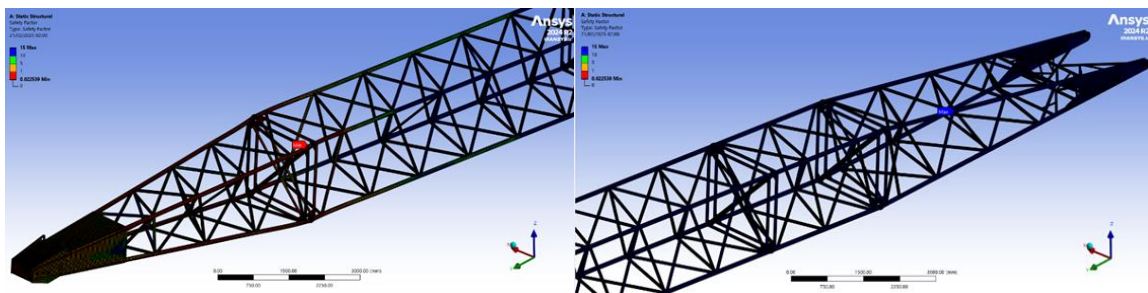
- **Factor de Seguridad**

El factor de seguridad promedio obtenido en este análisis mejoró significativamente, alcanzando un valor de 5. Esto garantiza que:

- Los esfuerzos dentro de la estructura no superan los límites permisibles, reduciendo la probabilidad de fallo.
- La estructura presenta un comportamiento óptimo en términos de esfuerzo, minimizando los riesgos de fractura o deformaciones críticas durante la operación.

Figura 13

Distribución del factor de seguridad en la estructura con reparación y recomendaciones realizadas



4.4 Análisis de inspección y evaluación inicial

La inspección y evaluación inicial estructural de la pluma de la Grúa P&H 9125TC es la que determina la magnitud de los daños y planifica las reparaciones necesarias.

Este proceso se realizó en dos etapas principales: la Preparación de la Superficie (SSP-SP-5) y la Inspección Visual (VT). A continuación, se detallan los procedimientos obtenidos en cada una de estas etapas.

4.4.1 Preparación de la superficie (SSP-SP-5)

La preparación de la superficie antes de realizar cualquier reparación o inspección adicional. El estándar SSP-SP-5 especifica los requisitos para un arenado a metal blanco, que es esencial para asegurar que la superficie esté completamente libre de contaminantes y en condiciones óptimas para la inspección y soldadura.

Procedimiento de preparación de la superficie (SSP-SP-5)

1. Despiece de la pluma y componentes:

- Se desmontaron las secciones de la pluma y los componentes asociados, siguiendo los procedimientos establecidos por el fabricante.
- Cada pieza fue etiquetada y almacenada adecuadamente para facilitar el proceso de preparación.

2. Arenado a metal blanco:

- Se utilizó equipo de arenado para limpiar la superficie de todas las secciones de la pluma, eliminando óxido, pintura, grasa y otros contaminantes.
- El proceso de arenado se realizó hasta alcanzar un acabado de metal blanco, asegurando que la superficie estuviera libre de impurezas y lista para la inspección y soldadura.

4.4.2 Inspección Visual (VT)

El procedimiento para Inspección Visual (VT) se llevó a cabo siguiendo los estándares de la práctica recomendada SNT-TC-1A, asegurando la precisión y fiabilidad de los resultados.

Procedimiento de Inspección Visual (VT)

1. Preparación del área de inspección:

- Se limpió la superficie de la pluma para eliminar cualquier residuo o suciedad que pudiera interferir con la inspección.
- Se utilizó iluminación adecuada para garantizar la visibilidad de todas las áreas inspeccionadas.

2. Inspección directa:

- Se realizaron inspecciones visuales directas en todas las secciones de la pluma, enfocándose en las áreas críticas como uniones soldadas, intersecciones y zonas previamente identificadas con daños.
- Se utilizaron herramientas auxiliares como lupas y cámaras de alta resolución para mejorar la capacidad de detección de defectos.

3. Inspección remota:

- En áreas de difícil acceso, se emplearon boroscopios y cámaras remotas para inspeccionar el interior de las estructuras tubulares y otros componentes inaccesibles.
- Las imágenes obtenidas se analizaron en tiempo real para identificar cualquier anomalía.

4.4.3 Inspección con Líquidos Penetrantes (LPT)

La Inspección con Líquidos Penetrantes (LPT) se realizó para detectar defectos superficiales que no son visibles a simple vista. Este método es especialmente útil para identificar grietas y fisuras en las soldaduras y en la superficie del metal.

Procedimiento de inspección LPT:

1. Aplicación de líquidos penetrantes:

- Se aplicó un líquido penetrante sobre la superficie de las áreas a inspeccionar.
- El líquido se dejó reposar para que penetrara en cualquier grieta o defecto superficial.

2. Eliminación del exceso de líquido:

- Se eliminó el exceso de líquido de la superficie, dejando el líquido penetrante solo en los defectos.

3. Aplicación de revelador:

- Se aplicó un revelador que hace visible el líquido penetrante que quedó en los defectos.

4.4.4 Medición de espesores

La medición de espesores se llevó a cabo utilizando técnicas de ultrasonido para evaluar la integridad del material y detectar áreas de corrosión interna o pérdida de material.

Procedimiento de medición de espesores:

1. Preparación de la superficie:

- Las superficies fueron limpiadas y preparadas para asegurar un buen contacto entre el transductor y la superficie del metal.

2. Medición ultrasonido:

- Se utilizó un equipo de ultrasonido para medir el espesor del material en varias ubicaciones críticas, siguiendo un patrón predefinido.
- Para ello se dividió en cuadrantes cada cara de cuerpo de base de la pluma de grúa 9125TC para el orden respectivo y la toma de datos.

4.4.5 Identificación de tubos doblados

Los tubos doblados en los reticulados son indicativos de sobrecarga, impactos o esfuerzos acumulados que superan la capacidad de diseño de la pluma. La identificación precisa de estos daños es crucial para determinar las reparaciones necesarias y prevenir fallos estructurales futuros.

Procedimiento de inspección:

1. Preparación del área:

- Se preparó el área de inspección asegurando que todas las superficies estuvieran limpias y accesibles.

- Se establecieron puntos de referencia y se utilizaron herramientas de medición precisas para asegurar la exactitud de las observaciones.

2. Inspección visual y medición:

- Se llevó a cabo una inspección visual detallada de todos los tubos en los reticulados, buscando cualquier signo de deformación, abolladuras o curvaturas no planeadas.
- Se utilizaron reglas, niveles y calibradores para medir la extensión de las deformaciones y comparar con las especificaciones originales del diseño.

4.4.6 Resultados de la inspección y evaluación inicial

1. Se identificaron varias fisuras y grietas en los cordones de soldadura de la base de la estructura de celosía, especialmente en las intersecciones de la plancha de 5/16" y la tubería de 3" (Ver Figuras 14 y 15).

Figura 14

Fisura longitudinal de 8" en la intersección de plancha de 5/16" y tubería de 3"



Figura 15

Fisura longitudinal de 3" en la intersección de plancha de 5/16" y tubería de 3"



Figura 16

Inspección por boroscopio de las zonas zat de plancha 5/16" con las tuberías 3"



2. La inspección reveló corrosión severa y perforaciones en la zona interior de la intersección de plancha y tubería (Ver Figura 16 y 17).

Figura 17

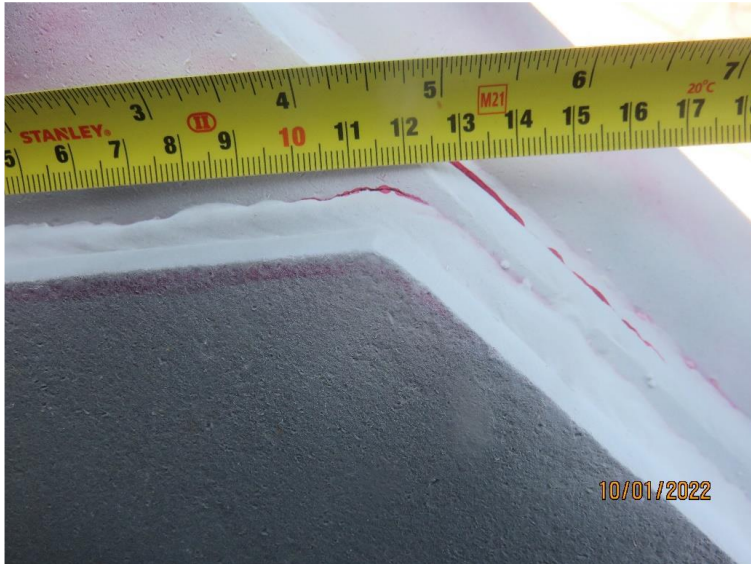
Corrosión por perforación en la zona interna de la tubería de 3"



3. Se detectaron desbastes y fisuras adicionales en el traslape entre las planchas de 1" y 5/16" en el lado A de la pluma (Ver Figura 18).

Figura 18

Fisura longitudinal de 1" en el traslape entre plancha de 5/16" y plancha de 1" Lado A



4. Se evidenció corrosión por picadura de 0.01" en la superficie externa de la tubería de 3" (ver Figura 19).

Figura 19

Corrosión por picadura de 0.01" en la superficie externa de la tubería de 3" en el lado A de la pluma



5. La unión soldada del nodo n°4 del lado A de la pluma, se evidenció dos desbastes con espesor de 10% en el cordón de soldadura, debido a preparación de zeta, intersección de soldadura en nodo (Ver Figura 20 con referencia de la Figura 12).

Figura 20

Unión soldada en el nodo 4 lado A de la base de la pluma



6. El nodo n°5 lado B de la pluma se observó fisura longitudinal de 3" en la unión soldada de la intersección del nodo y plancha de 5/16" con el tubo de 3". (Ver Figura 21 con referencia de la Figura 4)

Figura 21

Unión soldada en el nodo 5 lado B de la base de la pluma



7. Se evidenció por boroscopio (lado A) un 20% en la superficie externa de la tubería de 3" en el lado A de la pluma. (Ver Figura 22)

Figura 22

Corrosión por picadura de 0.01" en la superficie externa de la tubería de 3" en el lado A de la pluma



8. Se observó que algunos nodos presentaban poros en los cordones de soldadura, falta de fusión y falta de material de aporte. Esta condición fue particularmente notable en dos nodos (10-16) (ver Figura 23 con referencia de la Figura 12).

Figura 23

Evidencia de dos (02) nodos (10-16) con el cordón de soldadura con poros, falta de fusión y falta de material de aporte



9. Se evidenciaron fisuras y deformaciones en cartelas y planchas intermedias de $e=1.9''$ (C2-C-P5) (ver Figura 24).

Figura 24

Evidencia de plancha intermedia de $e=1.9''$ (C2-C-P5) con deformación



Figura 25

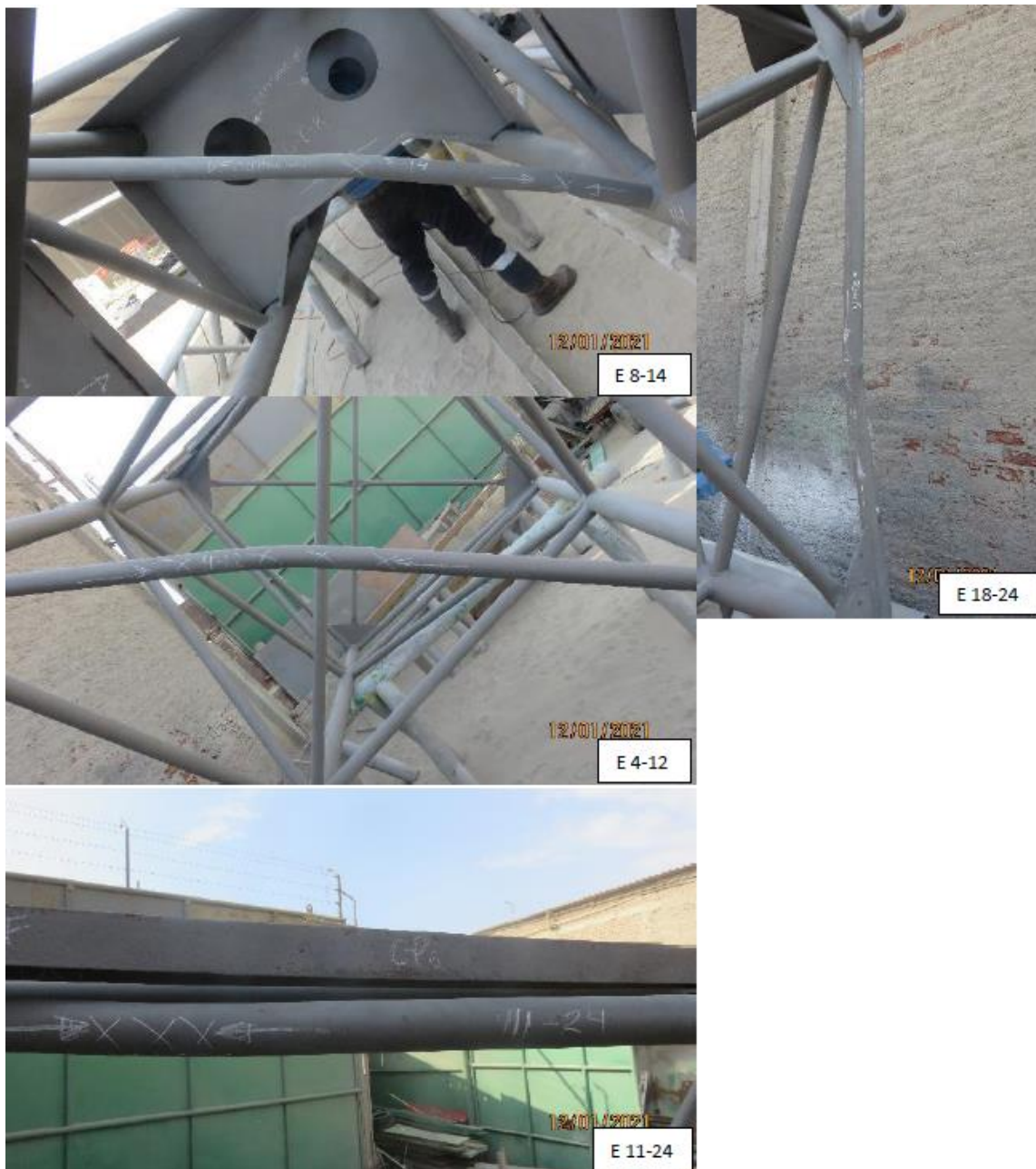
Evidencia de Cartelas en el nodo 24 - nodo 12 y plancha de refuerzo intermedia (C2-P6) con corrosión con pérdida de material y fisura en el cordón de soldadura



10. Se detectó pérdida de material y fisuras en el cordón de soldadura en cartelas ubicadas en el nodo 24 y nodo 12, y en la plancha de refuerzo intermedia (C2-P6) (ver Imagen 25).
11. Cuatro (04) arriostres (8-14, 4-22, 11-24 y 18-24) presentan deformación posiblemente por un sobreesfuerzo. (Ver Figura 26)

Figura 26

Evidencia de deformación de cuatro (04) arriostres (8-14, 4-22, 11-24 y 18-24)



12. Un (01) arriostre (6-17) presenta abolladura. (Ver Figura 27)

Figura 27

Evidencia de abolladura de un (01) arriostre (6-17)



13. Un (01) arriostre (2-8) presenta corrosión severa con perforación (Ver Figura 28)

Figura 28

Evidencia de corrosión severa con perforación de un (01) arriostre (2-8)



14. Los arriostres y miembro estructural principal del cuerpo de la pluma presentaron fallas de recubrimiento, ampollamiento y formación de óxido en un 50% de su superficie (ver Figura 29 y 30).

Figura 29

Arriostres y miembro estructural principal presentan falla de recubrimiento con ampollamiento y formación óxido en un 50% de su superficie del Cuerpo N°1



Figura 30

Arriostres y miembro estructural principal presentan falla de recubrimiento con ampollamiento y formación óxido en un 50% de su superficie del Cuerpo N°2



15. Las cartelas de ajuste también mostraron desgaste por equipos en puntos específicos (ver Figura 31 y 32).

Figura 31

Cartelas de ajuste presentan desbastado por equipo en los puntos 6 y 16 del Cuerpo N°1



Figura 32

Cartelas de ajuste presentan desbastado por equipo en los puntos 4 y 10 del Cuerpo N°2



16. En el arriostre 1-5 se observó una pequeña abolladura de 0.5" de diámetro (ver Figura 33).

Figura 33

En el arriostre 1-5 presenta una pequeña abolladura 0.5" de diámetro



17. Las mediciones revelaron variaciones significativas en el espesor del material en diferentes áreas de la pluma. Los datos de las mediciones de espesores se registraron en tablas detalladas, proporcionando un mapa claro de las áreas afectadas (Figura 34 y Tabla 2 corresponde al cuadrante del Lado A, la Figura 35 y Tabla 3 corresponden al cuadrante del Lado B, la Figura 36 y Tabla 4 corresponden a la medición de parte superior del lado A de Viga principal y la Figura 37 y Tabla 5 corresponden a la medición de parte superior del lado B de Viga principal).

Figura 34

Cuadrantes del Lado A de base de la pluma

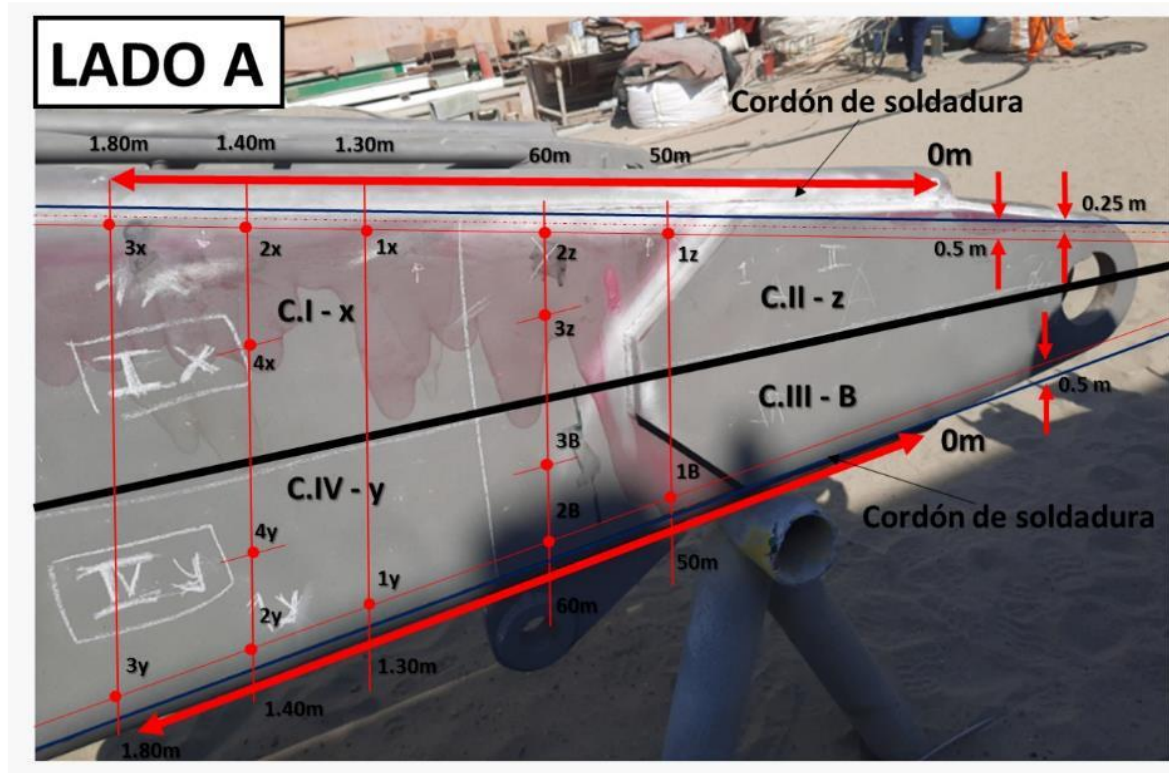


Tabla 2

Medición de espesores por cuadrante del Lado A de base de la pluma

Medición de espesores por cuadrante – Lado A				
Cuadrante I – X				
Punto	Ubicación		Espesores	
	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1X	1.30	0.50	7.83	8.03
2X	1.40	0.50	6.57	7.43
3X	1.80	0.50	8.08	8.09
4X	1.40	18.00	8.13	--
Cuadrante II – Z				
Punto	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1Z	0.50	0.50	6.16	6.66
2Z	0.60	0.50	4.46	6.97
3Z	0.60	0.16	7.82	--
Cuadrante III – B				
Punto	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1B	0.50	0.50	7.87	7.90
2B	0.60	0.50	7.85	7.92
3B	0.60	0.16	7.80	--
Cuadrante IV – Y				
Punto	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1Y	0.50	0.50	7.87	7.90
2Y	0.60	0.50	7.85	7.92
3Y	0.60	0.16	7.80	--

Figura 35

Cuadrantes del Lado B de base de la pluma

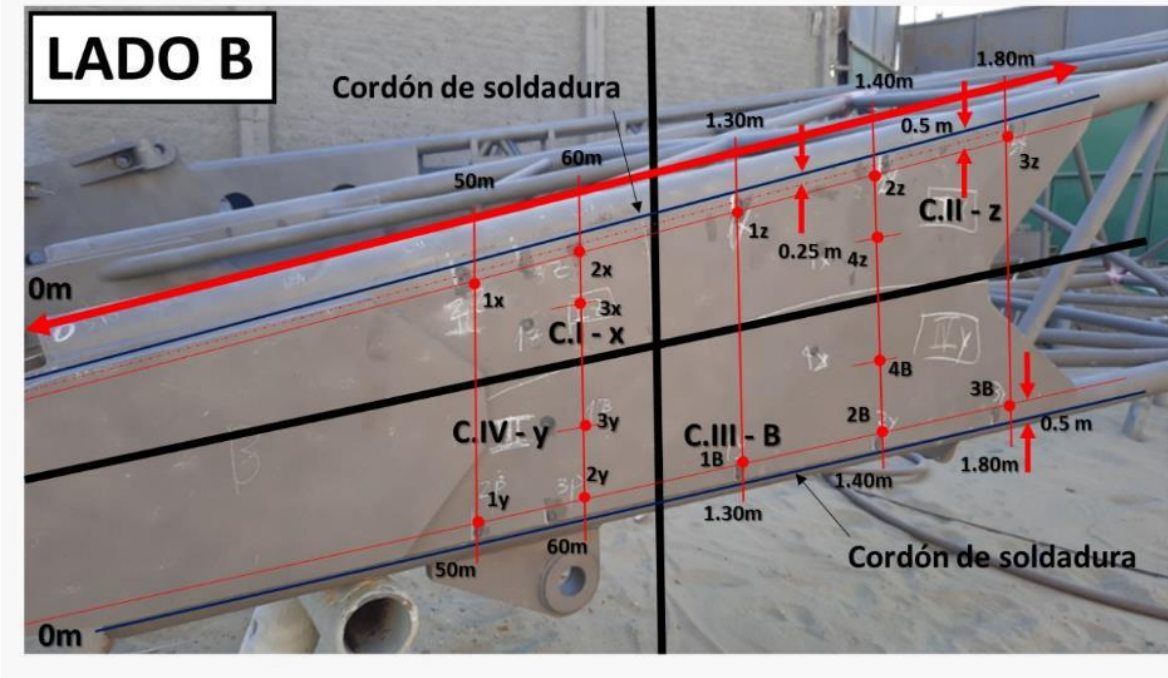


Tabla 3

Medición de espesores por cuadrante del Lado B de base de la pluma

Medición de espesores por cuadrante – Lado B				
Cuadrante I – X				
Punto	Ubicación		Espesores	
	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1X	0.50	0.50	4.90	6.86
2X	0.60	0.50	5.38	7.29
3X	0.60	0.16	8.06	--
Cuadrante II – Z				
Punto	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1Z	1.30	0.50	7.06	6.81
2Z	1.40	0.50	7.55	8.03
3Z	1.80	0.50	7.86	7.96
4Z	1.40	0.18	7.94	--
Cuadrante III – B				
Punto	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1B	1.30	0.50	8.03	8.14
2B	1.40	0.50	8.07	8.07
3B	1.80	0.50	8.14	8.07
4B	1.40	0.18	8.04	--
Cuadrante IV – Y				
Punto	X (m)	Y (m)	A 0.5 m	A 0.25 m
1Y	0.50	0.50	8.15	8.11
2Y	0.60	0.50	8.08	8.14
3Y	0.60	0.16	8.04	--

Figura 36

Medición de parte superior del lado A de Viga principal de la pluma

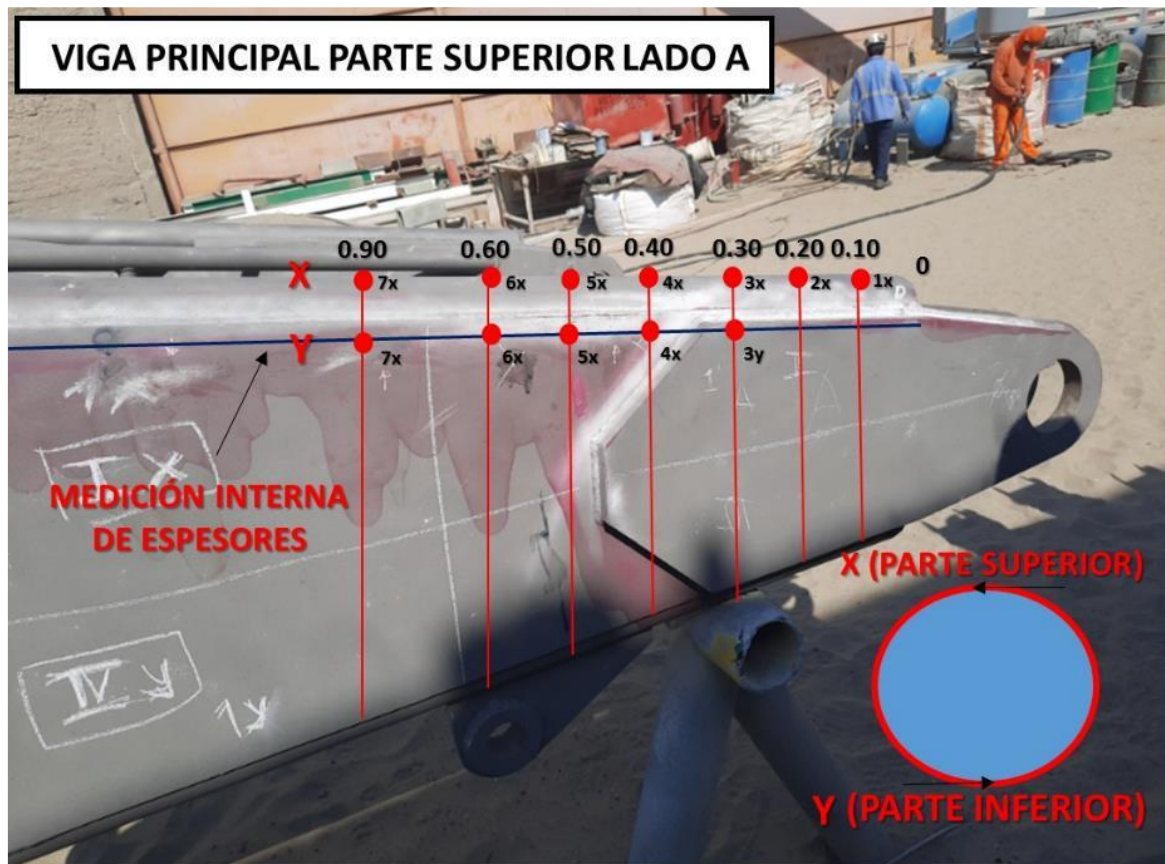


Tabla 4

Medición de espesores de parte superior del lado A de Viga principal de la pluma

En X		
Punto	(m)	Espesor
1X	0.10	4.15
2X	0.20	6.58
3X	0.30	6.70
4X	0.40	6.70
5X	0.50	6.79
6X	0.60	6.68
7X	0.90	6.45
En Y		
3Y	0.30	4.46
4Y	0.40	7.32
5Y	0.50	6.75
6Y	0.60	6.64
7Y	0.90	6.70

Figura 37

Medición de parte superior del lado B de Viga principal de la pluma

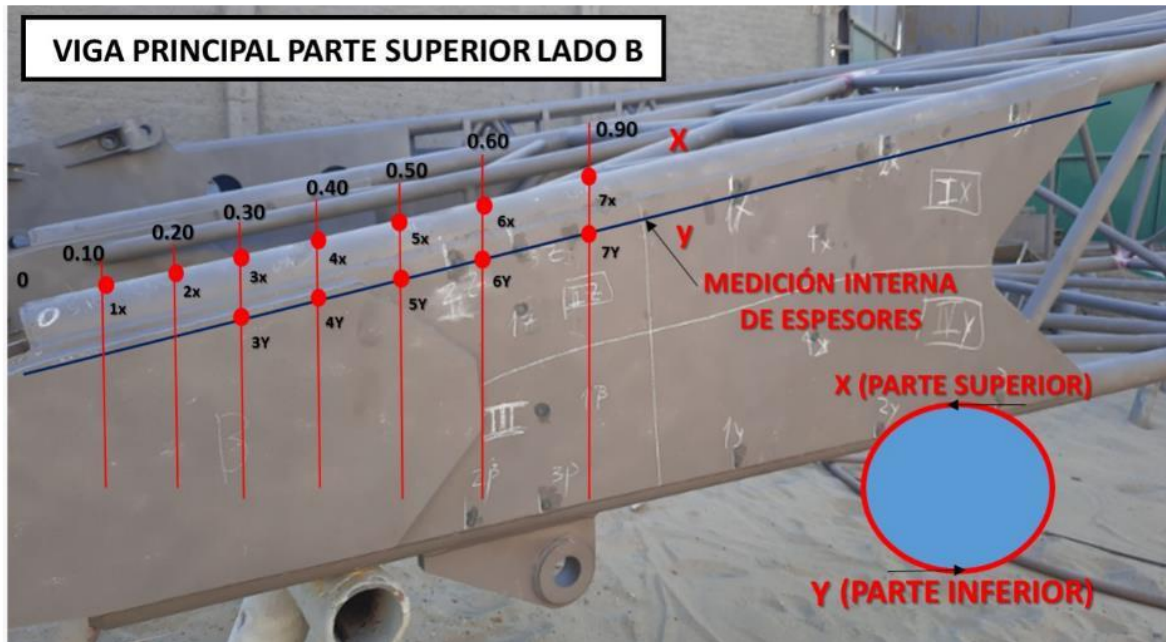


Tabla 5

Medición de espesores de parte superior del lado B de Viga principal de la pluma

En X		
Punto	(m)	Espesor
1X	0.10	6.25
2X	0.20	6.40
3X	0.30	6.55
4X	0.40	6.55
5X	0.50	6.62
6X	0.60	6.60
7X	0.90	6.70
En Y		
3Y	0.30	5.99
4Y	0.40	6.20
5Y	0.50	6.76
6Y	0.60	6.83
7Y	0.90	6.64

4.5 Procedimientos técnicos de la reparación

La reparación de la pluma de la grúa P&H 9125TC se llevó a cabo siguiendo los pasos y procedimientos indicados previamente, con un enfoque en la inspección y el aseguramiento de la calidad, y cumpliendo con las normas técnicas aplicables.

El objetivo de la reparación es dar a conocer los pasos ejecutados y las inspecciones y/o controles de calidad desarrollados durante la reparación de la pluma de

la grúa P&H, teniendo en cuenta los requisitos exigibles de Calidad, Salud, Seguridad y Medio Ambiente.

Normas Técnicas Aplicables

- REC-CIM-032-2022 - Inspección de Pluma de Grúa P&H. (Ver el Anexo C de Procedimiento para la reparación de pluma de grúa)
- AWS D14.1 - Especificación para soldadura de grúas industriales y otros equipos de manipulación de materiales.
- Código ASME Sección IX para las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) y Control de Calidad de PQR (WPQR).
- G.050, Seguridad durante la Construcción.
- Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo y sus modificatorias.
- Decreto Supremo N° 005-2012-TR, Reglamento de la Ley N° 29783.
- Decreto Supremo N° 043-2007-EM, Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos.

4.5.1 Descripción de la reparación

4.5.1.1 Reparación de fisura en base de pluma (Base de la pluma)

- Se realizó la reparación de las fisuras en las uniones soldadas en el nodo 4 lado A, nodo 5 lado B, juntas entre la plancha 5/16" con el tubo 3" en el lado A y plancha 5/16" con la plancha 1" lado A, usando el procedimiento de reparación de pluma de la Grúa P&H. (Ver Figura 38, 39 y 40), además, se siguieron las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) y Control de Calidad de PQR (WPQR) de acuerdo al código ASME Sección IX.

Figura 38

Reparación de fisuras en el nodo 4 lado A, nodo 5 lado B, juntas entre la plancha 5/16" con el tubo 3" en el lado A y plancha 5/16" con la plancha 1" lado A

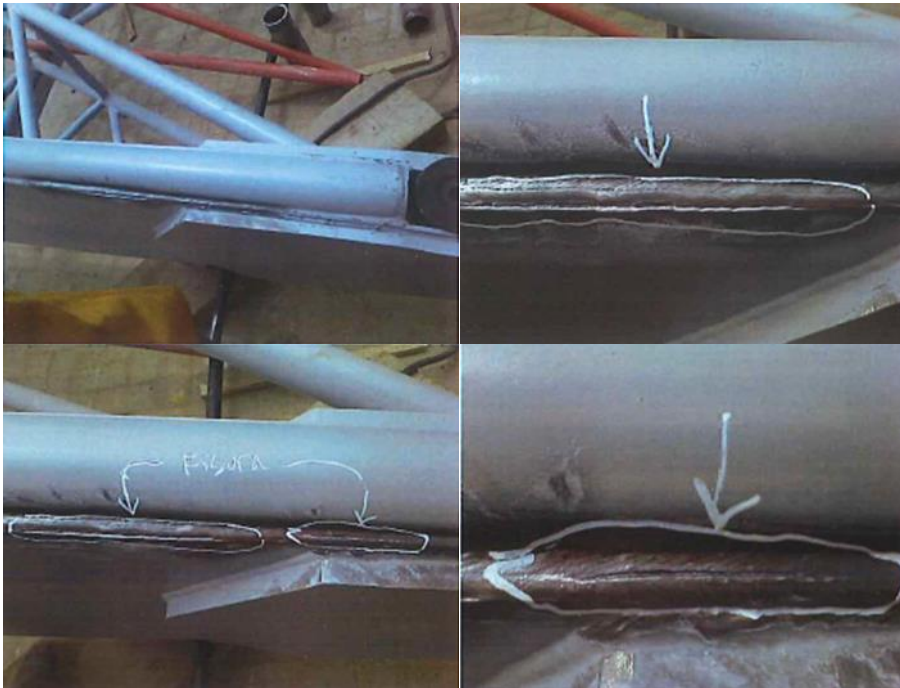


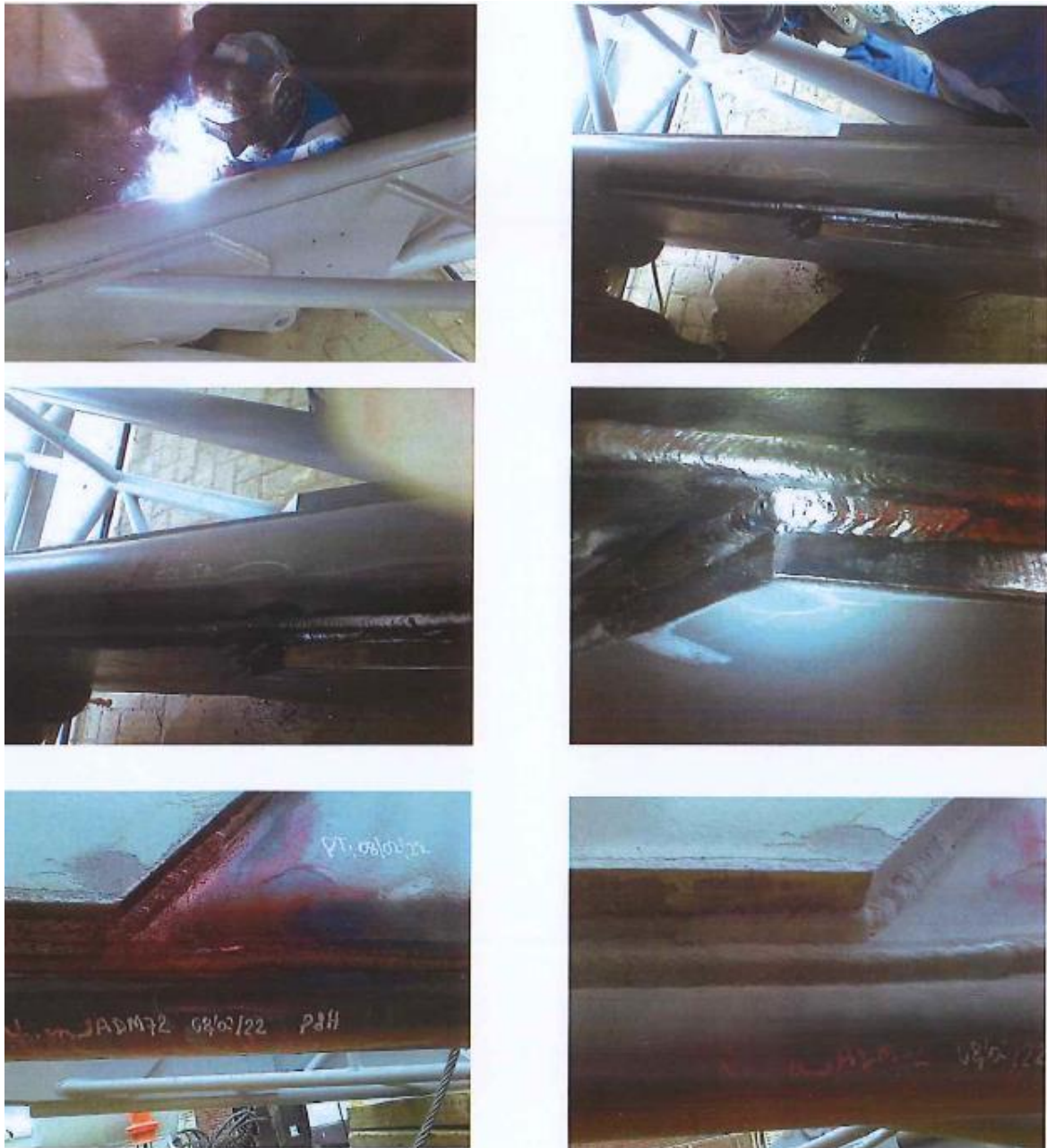
Figura 39

Reparación de fisura longitudinal de 8" y 3" en el nodo 4 lado A, nodo 5 lado B, juntas entre la plancha 5/16" con el tubo 3" en el lado A y plancha 5/16" con la plancha 1" lado A



Figura 40

Reparación de fisura longitudinal de 1" en el traslape entre la plancha 5/16" y plancha 1" lado A



- Para la reparación por soldadura de la viga principal de la base de la pluma de grúa, se siguió un tratamiento y procedimiento experimental dado a un histórico de reparaciones de éxito, que compete a reparaciones por soldadura de aleaciones y aceros de mediano y alto carbono, sumado a indicaciones de una personal calificado que realiza el seguimiento y control de todo el proceso.

- El procedimiento consistió en realizar un proceso precalentamiento con equipo a llama Neutra (Ambos porcentajes, tanto de oxígeno como oxiacetileno al 50%), este precalentamiento se controla la temperatura con un pirómetro calibrado al material a un máximo de 100 °F. La soldadura se realizó entre 70 °F y 400 °F de temperatura. Se empleó electrodo recomendado E-7018 de 1/8".

4.5.1.2 Reparación de Pluma (Reticulados)

- Se realizó la reparación de las uniones soldadas en el nodo 10 y 16, usando el procedimiento de reparación de pluma de la Grúa P&H. (Ver Figura 41 y 42)

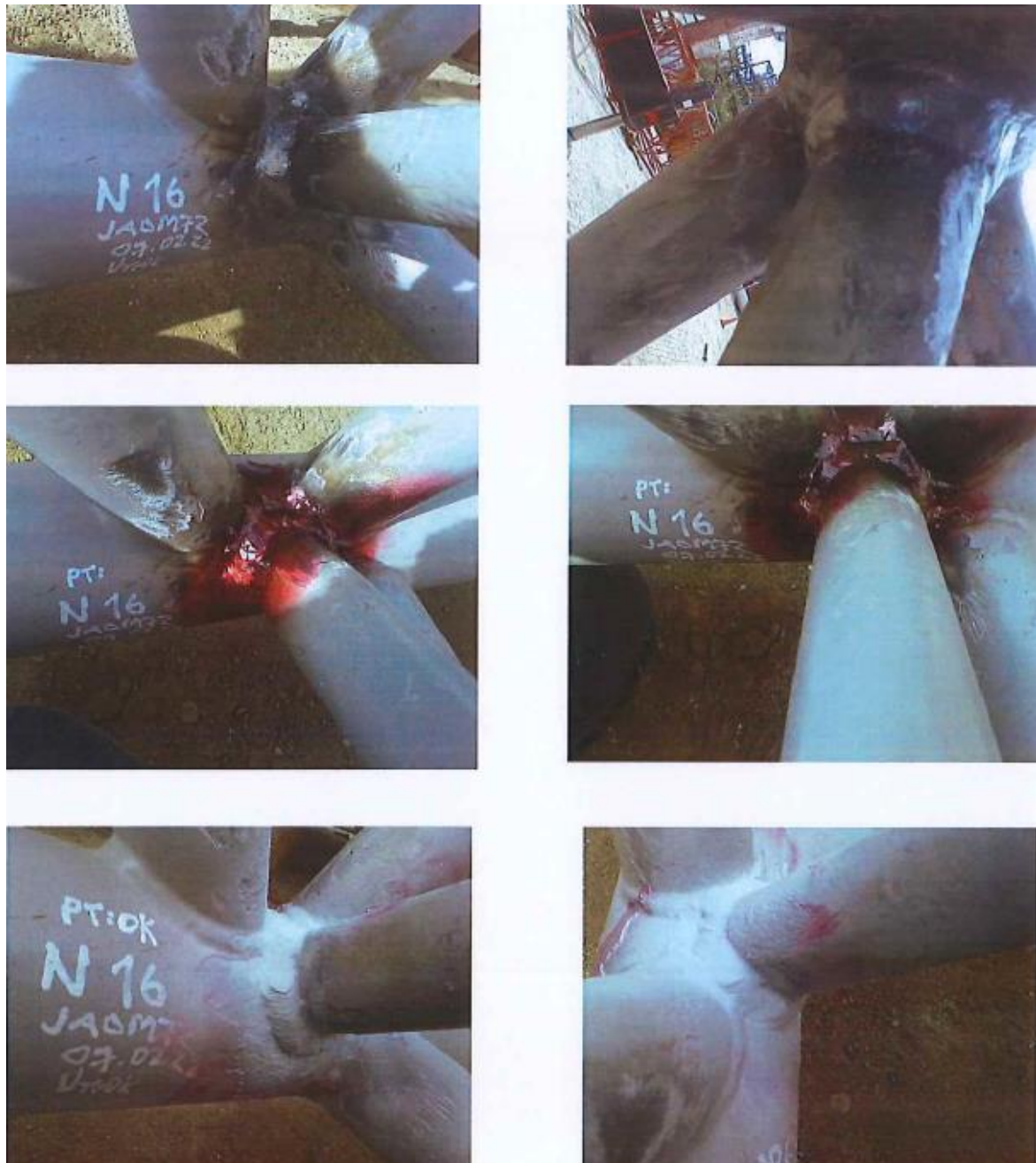
Figura 41

Reparación de soldadura en nodos (N10)



Figura 42

Reparación de soldadura en nodos (N16)



- Se realizó el reemplazo de los 2 dos arriostres ASTM A242 (8-14, 4-12, en Figura 43 y 44, correspondientemente) con las mismas dimensiones, usando el procedimiento de reparación de pluma de la Grúa P&H.

Figura 43

Reemplazo de arriostre (8-14)

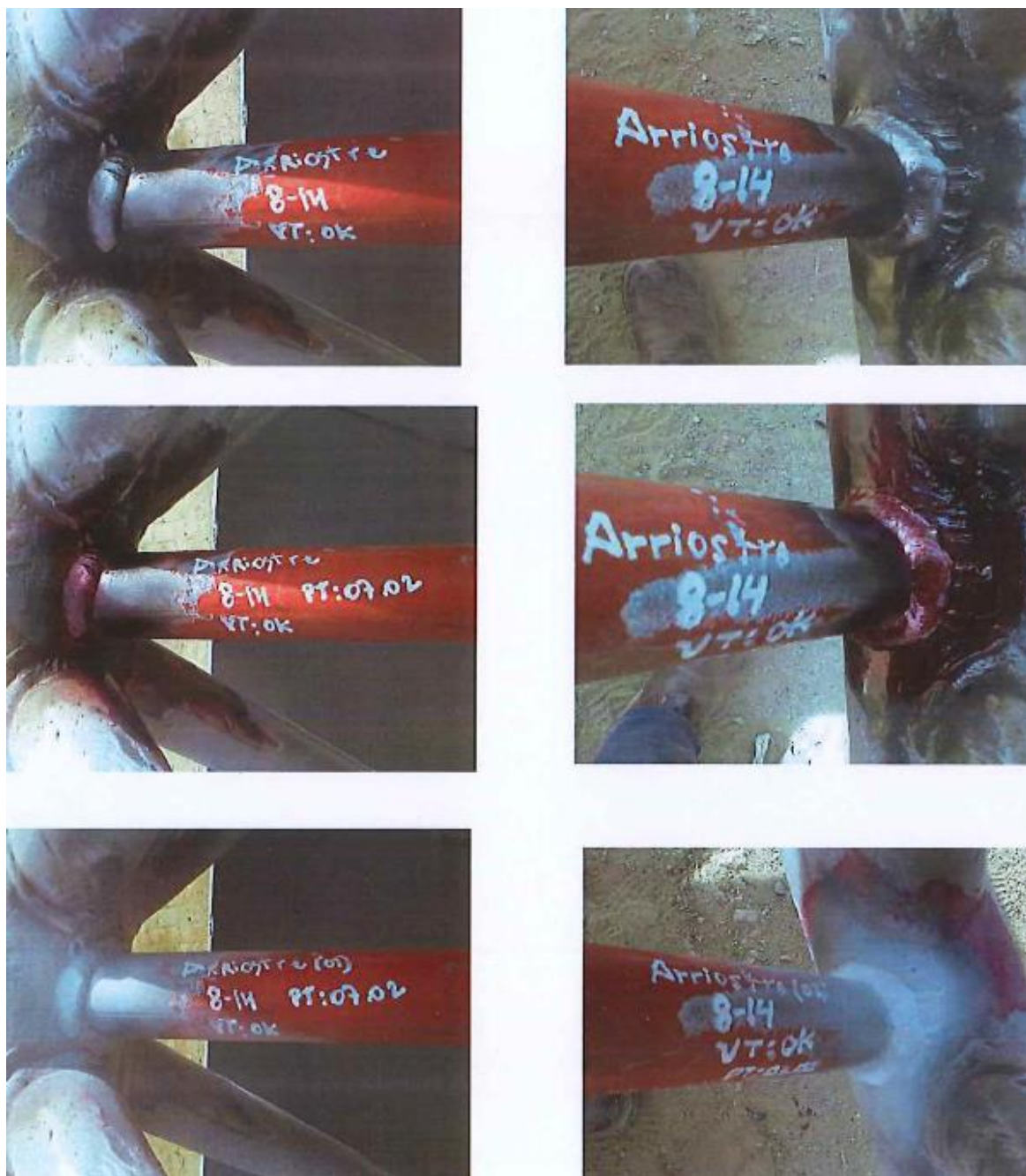
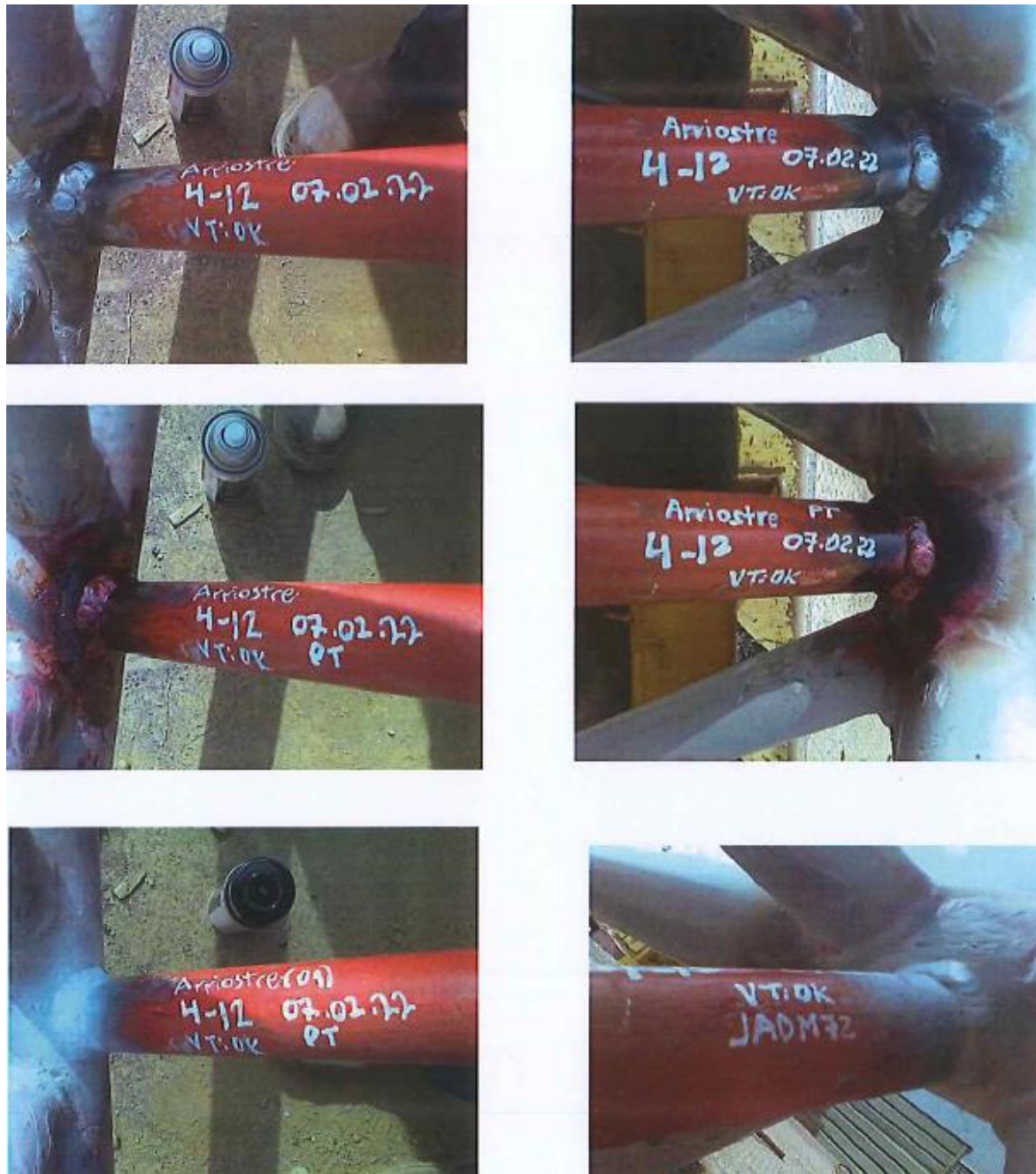


Figura 44

Reemplazo de arriostre (4-12)



- Se realizó la reparación de la fisura de la plancha intermedia ASTM A-242 (C2-P6). Se siguieron las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) y Control de Calidad de PQR (WPQR) de acuerdo al código ASME Sección IX.

Figura 45

Reparación de fisura de plancha intermedia P6



- Para la reparación de la soldadura se siguió lo indicado en el procedimiento de reparación de la grúa indicado en el Anexo C de Procedimiento para la reparación de pluma de grúa. Además, siguiendo las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) y Control de Calidad de PQR (WPQR) de acuerdo al código ASME Sección IX en Anexo E.

4.5.2 Aseguramiento y control de calidad

4.5.2.1 Inspección visual de soldadura

- Se realizó inspección visual de soldadura al 100% de las uniones soldadas siguiendo los criterios de aceptación y rechazo del código AWS D14.1, párrafo 10.6 Visual Examination.
- Se verificó que los electrodos E-7018 se mantuvieran en sus respectivos hornos portátiles previo uso.
- Se realizó la soldadura de las uniones de tuberías mediante el proceso SMAW. Para ello, los soldadores han sido calificados según las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) y Control de Calidad de PQR (WPQR) de acuerdo al código ASME Sección IX.

4.5.2.2 Inspección por líquidos penetrantes

- Se realizó inspección visual de soldadura al 100% de las uniones soldadas siguiendo los criterios de aceptación y rechazo del código AWS D14.1, párrafo 10.17 Liquid Penetrant Examination of Welds.

4.5.2.3 Aplicación de pintura

- Para la aplicación de pintura, se siguió con los estándares de ingeniería de Petroperú SI3-22-38 y el procedimiento de Limpieza y aplicación de pintura de la organización: PAC-BMR-4100008264-01-29 Rev. 1.

4.5.3 Resumen de resultados de la ejecución de trabajos de reparación

Las reparaciones realizadas han seguido un enfoque sistemático y detallado, asegurando que todos los procedimientos se ejecutaran de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas pertinentes. Las inspecciones visuales, por líquidos penetrantes y las pruebas radiográficas realizadas; confirmaron la calidad de las soldaduras y la integridad de las reparaciones estructurales.

- Para la reparación de los arriostres por soldadura, se siguió lo indicado en el procedimiento de reparación de la grúa indicado en el Anexo C de Procedimiento para la reparación de pluma de grúa que a continuación se menciona los puntos intervenidos.
 - Se realizó la reparación de las fisuras en las uniones soldadas en el nodo 4 lado A, nodo 5 lado B, juntas entre la plancha 5/16" con el tubo 3" en el lado A y plancha 5/16" con la plancha 1" lado A.
 - Se realizó la reparación de las uniones soldadas en el nodo 10 y 16.
 - Se realizó el reemplazo de los 2 dos arriostres ASTM A242 (8-14, 4-12) con las mismas dimensiones.
 - Se realizó la reparación de la fisura de la plancha intermedia ASTM A-242 (C2-P6).

- Para la reparación por soldadura de la viga principal, el cual se evidenció agrietamiento en el cordón de soldadura, se resumen los procesos realizados.
 - Se procede a identificar el metal base, para poder proceder realizar procedimiento de soldeo.
 - Se realiza probeta para realizar las pruebas con el respectivo seguimiento y control de los parámetros, temperatura, viento, amperaje, etc.
 - Se procede a realizar la reparación por soldadura, con retiro de la soldadura existente,
 - Se procede con la limpieza y preparación de superficie previa reparación.
 - Se procede con el precalentamiento del metal con los parámetros establecidos.
 - Se procede a realizar el primer pase con E 7018 a 80 A con una velocidad de avance de 5.5 mm/s.
 - Se procede luego al blanqueamiento o preparación de superficie frente a una base soldada.
 - Se procede a realizar el segundo pase con E 7018 a 120 A con una velocidad de avance de 6 mm/s.
 - Se procede a realizar el tercer pase con E 7018 a 140 A con una velocidad de avance de 6 mm/s.
 - Se realiza el control de calidad correspondiente.
- Se recomienda completar la capa intermedia y la capa de acabado de pintura de la grúa para mayor protección debido a las condiciones severas a las que se encuentra expuesta la grúa.

4.6 Resultados del cálculo de confiabilidad

Como histórico, se ha determinado que la grúa de celosía P&H 9125TC, objeto del presente análisis, no contaba con un plan de mantenimiento estructurado antes del accidente ocurrido en 2020. Además, se identificó la ausencia de un programa de inspección periódica y frecuente, específico para este equipo, lo que resultó en la falta de monitoreo técnico del comportamiento estructural de la pluma. Esta carencia de supervisión y mantenimiento permitió que no se emitieran alertas en las inspecciones, las cuales debieron haber sido ejecutadas conforme a las normativas internacionales vigentes, por personal calificado en ensayos no destructivos (END) y por el propio operador.

En el marco de la propuesta de mejora, el plan de recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC contempla la implementación de un programa de inspección basado en criterios de confiabilidad y respaldado por el juicio de expertos en inspección de grúas, especialistas certificados en ensayos no destructivos e ingeniería. Este programa abarca tanto inspecciones frecuentes como periódicas, con el objetivo de asegurar la disponibilidad y operatividad del equipo bajo un esquema óptimo de confiabilidad, acorde con los trabajos para los que ha sido recuperado.

Dentro del análisis de la presente investigación, se ha definido 02 criterios de evaluación que brindará resultados e información importante con respecto al equipo grúa como tal, a la estructura "Pluma de Celosía" y a la seguridad en el momento del izaje.

4.6.1 1er criterio: Bajo la evaluación de cálculos y pruebas de carga

Se realizaron los cálculos correspondientes a la capacidad de carga del equipo de izaje tras la recuperación estructural de la pluma de la grúa, siguiendo los criterios técnicos establecidos en las normativas vigentes y bajo el juicio de expertos en ingeniería y ensayos no destructivos. Durante las pruebas de carga realizadas al equipo, se aplicó una carga significativamente menor a la capacidad máxima indicada en la tabla de carga del fabricante. Cabe señalar que dicha tabla se utilizó únicamente como referencia, debido a la configuración "atípica" de los estabilizadores del equipo durante las operaciones de izaje

para las cuales fue recuperado. Específicamente, el estabilizador del lado derecho se extendió al 26%, mientras que el del lado izquierdo no se extendió (0%), lo que alteró de forma considerable el centro de gravedad en la posición de izaje. Como resultado, no se utilizaron los valores estándar de la tabla de carga del manual del fabricante para los cálculos, ya que esta configuración difiere sustancialmente de la prevista en la tabla oficial.

Al comparar la capacidad de carga bajo esta configuración específica, utilizando los cálculos de momento del izaje (véase Anexo D para detalles sobre momentos), con los valores especificados en la tabla de carga del fabricante, se aplicó el principio de momentos en las siguientes condiciones: $M1 > M2$ (riesgo de vuelco), $M1 < M2$ (condición óptima), y $M1 = M2$ (equilibrio). La comparación arrojó los siguientes resultados.

Tabla 6

Comparación de pruebas en base a momentos y tabla de carga

PRUEBAS EN BASE A LOS MOMENTOS				PRUEBAS EN BASE A LA TABLA DE CARGA (REFERENCIAL)			
PRUEBA A 10 TONELADAS - LONGITUD DE PLUMA 110 FT			CAP. CARGA A CÁLCULO	CAPACIDAD DE CARGA DE FRENTE A TABLA DE FABRICANTE - 10 TN		CAP. CARGA A CÁLCULO	
LADO DE LA GRÚA	LADO DE A	LADO B		CAP. CARGA	10.95 TN		
MOMENTO	3 825 900 N.m	4 922 658 N.m		LG. PLUMA	110 FT		
RADIO DE GIRO	20 metros	30.43 metros		RADIO DE GIRO	26 metros		
PRUEBA A 5 TONELADAS - LONGITUD DE PLUMA 110 FT			CAP. CARGA A CÁLCULO	CAPACIDAD DE CARGA DE FRENTE A TABLA DE FABRICANTE – 5 TN		CAP. CARGA A CÁLCULO	
LADO DE LA GRÚA	LADO DE A	LADO B		CAP. CARGA	10.95 TN		
MOMENTO	2 844 900 N.m	4 922 658 N.m		LG. PLUMA	110 FT		
RADIO DE GIRO	20 metros	30.43 metros		RADIO DE GIRO	26 metros		

En esta primera evaluación, los cálculos realizados demuestran que los momentos aplicados a la pluma de la grúa se encuentran por debajo del 60%, de su capacidad de diseño, puntualmente 57.79% a su capacidad de carga. Las pruebas se llevaron a cabo con una carga máxima de 10 toneladas, que simula un escenario real de izaje para partes de una bomba perteneciente a una empresa del sector hidrocarburos, donde la carga efectiva fue de aproximadamente 4.8 toneladas. En función de estos resultados, se concluye que, durante los trabajos de izaje, la carga permanecerá dentro de los límites controlados, asegurando que la grúa opere considerablemente por debajo de su capacidad

máxima de carga, lo cual es adecuado teniendo en cuenta que se trata de una pluma de grúa que ha sido objeto de recuperación estructural.

4.6.2 2do criterio: Bajo los cálculos de confiabilidad y MTBF

El segundo criterio de análisis tenemos la evaluación de la confiabilidad para la estructura de pluma recuperada, la confiabilidad del equipo grúa como sistema y la confiabilidad de la seguridad en el izaje para el trabajo que va realizar el equipo grúa por el cual fue recuperado.

La evaluación de la confiabilidad de la pluma de la grúa mediante el cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF), basado en un nuevo esquema de inspección programada. Cabe destacar que, previo a la recuperación estructural de la grúa P&H 9125TC, no existía un plan de inspección integral y riguroso para la estructura de la pluma ni para la grúa en su totalidad.

Formulas aplicadas:

$$CONFIABILIDAD = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Operativo (Horas)}}{\text{Nro. de Paradas no Planeados}} \quad (2)$$

$$\text{Tiempo Operativo (Horas)} = \text{Tiempo Total Disponible} - \text{Tiempo Inactividad} \quad (3)$$

Donde:

$e = 2.718$

t = Tiempo efectivo de operación.

MTBF = Tiempo medio entre la falla.

Cálculo de la confiabilidad de la estructura reparada

Para el análisis de la confiabilidad de la estructura recuperada se plantea que la estructura recuperada con los procedimientos establecidos tendrá un tiempo total disponible de 2 meses sin presentar fallas, equivalente a 1440 horas para un escenario funcional y productivo, el tiempo de inactividad (idle time) por temas administrativos, decisiones directivas o fechas festivas (feriados) que no afectan la integridad de la

estructura se está considerando 1 día correspondiente a 24 horas. Este periodo es el tiempo proyectado de funcionamiento sin complicaciones técnicas hasta la próxima inspección periódica de la estructura, la cual será realizada por personal calificado especialista en grúas y ensayos no destructivos.

Para el cálculo del MTBF con las implementaciones realizadas y un plan estructurado de inspección a la Pluma de grúa recuperado, se está considerando sólo 1 parada no planificada, que pueden incluir inspecciones frecuentes durante el periodo de 2 meses de acuerdo a la evaluación de la presente investigación.

Reemplazando en (2)

$$MTBF = \frac{1440 (Horas) - 24 (Horas)}{1} = MTBF = \mathbf{1416 \text{ horas}}$$

Para el cálculo de la confiabilidad, se emplea la fórmula de confiabilidad exponencial:

Reemplazando en (1)

$$CONFIABILIDAD = 2.718^{-\left(\frac{360}{1416}\right)} = \mathbf{77.5 \%}$$

En este cálculo, se ha considerado un tiempo t de 360 horas, dado que se espera que la estructura como tal, en las actividades se podría presentar esfuerzos ocultos y condiciones que va depender de la zona donde se desarrolle los trabajos, para ello; se considera un trabajo efectivo de la estructura de 6 horas por día durante un periodo de 2 meses consecutivos, hasta la siguiente inspección periódica realizada por personal calificado, esto correspondería a 360 horas.

Como resultado de esta segunda evaluación, los cálculos indican que la confiabilidad de la estructura recuperada y con los planes interpuestos para cumplir con la funcionalidad es del 77.5%. Este valor se ha logrado gracias a la implementación de un plan de inspección que establece un esquema de mantenimiento riguroso. En la evaluación específicamente de la estructura y el cálculo de su confiabilidad operativa, se estima que pueda operar sin complicaciones durante aproximadamente dos meses, con una carga de trabajo de 6 horas diarias efectivas en operaciones de izaje, sin presentar fallas

significativas. Además, se ha establecido un programa de inspecciones estructurales frecuentes, con una frecuencia de dos veces por semana, y una inspección periódica mensual realizada por personal especializado. Estas inspecciones permitirán emitir alertas de manera transparente y precisa, lo que será de gran valor para la toma de decisiones.

Cálculo de la confiabilidad del sistema (Parte mecánica de la grúa y estructura)

Se ha estimado que el equipo como sistema puede operar durante dos meses sin fallas, lo cual equivale a 1440 horas en un escenario conservador, el tiempo de inactividad (idle time) por temas administrativos, decisiones directivas o fechas festivas (feriados) se está considerando 1 día correspondiente a 24 horas. Este periodo es el tiempo proyectado de funcionamiento sin complicaciones técnicas hasta la próxima inspección periódica, la cual será realizada por personal calificado que emitirán informe sobre el cumplimiento del Plan de Mantenimiento y a la vez; sobre los mantenimientos correctivos que se requiera.

Para el cálculo del MTBF como sistema, se han considerado 2 paradas no planificadas, que pueden incluir inspecciones imprevistas, ajustes de dispositivos o tareas de mantenimiento correctivo en equipo todo un total de 24 horas de paradas no planificadas.

Reemplazando en (2)

$$MTBF = \frac{1440 \text{ (Horas)} - 24 \text{ (Horas)}}{3} = MTBF = \mathbf{472 \text{ horas}}$$

Para el cálculo de la confiabilidad, se emplea la fórmula de confiabilidad exponencial:

Reemplazando en (1)

$$CONFIABILIDAD = 2.718^{-\left(\frac{180}{472}\right)} = \mathbf{68.29\%}$$

En este cálculo, se ha considerado un tiempo t de 180 horas, dado que se espera que la grúa trabaje un máximo de 3 horas efectivas por día como sistema, durante un periodo de 2 meses consecutivos, hasta la siguiente inspección periódica realizada por personal calificado, que correspondería a 180 horas.

Como resultado de la presente evaluación, los cálculos indican que la confiabilidad del equipo grúa como "sistema" y con los planes interpuestos para cumplir con la funcionalidad operativa es del 68.29%. Este valor se ha logrado gracias a la implementación de un plan de inspección que establece un esquema de mantenimiento riguroso. sin presentar fallas significativas durante el tiempo propuesto de funcionalidad, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo del equipo, el año de fabricación, la configuración de izaje para el cual ha sido recuperado. Además, se ha establecido un programa de inspecciones frecuentes, con una frecuencia de dos veces por semana, y una inspección periódica mensual realizada por personal especializado. Estas inspecciones permitirán emitir alertas de manera transparente y precisa, lo que será de gran valor para la toma de decisiones operativas.

Cálculo de la confiabilidad de la seguridad en el izaje.

Para la siguiente evaluación de la confiabilidad de la seguridad en el izaje para el desmontaje por el cual el equipo grúa ha sido recuperada, se define el término "FALLA" que para este análisis, corresponde; a cualquier imprevisto técnico en la funcionalidad operativa del equipo grúa durante la actividad de izaje, en un rango del 0 al 100 por ciento, donde 0 sería totalmente baja la seguridad en el izaje y 100 como una óptima confiabilidad de la seguridad para este caso particular, por otra parte; "t" es el tiempo de período de interés; $t = 4$ horas efectivas para el desmontaje de bomba OP.

También se estima que el equipo como sistema se encontrará disponible 12 horas, con un tiempo de inactividad (idle time) por temas operativos de la zona que corresponde a 2 horas (estrobamiento de carga, aseguramiento de la carga, coordinaciones de rigger y director de izaje).

Para el cálculo del MTBF como sistema, se han considerado 1 parada no planificadas, que incluye una inspección imprevista y/o ajustes de dispositivos u orden para el izaje.

Reemplazando en (2)

$$MTBF = \frac{12(Horas) - 2(Horas)}{1} = MTBF = 10 \text{ horas}$$

Para el cálculo de la confiabilidad, procede a reemplazar en la fórmula general.

Reemplazando en (1)

$$CONFIABILIDAD = 2.718^{-\left(\frac{4}{10}\right)} = 67.03\%$$

Como resultado de la presente evaluación, se tiene el 67.03% de seguridad para realizar el izaje, traduciendo esto la seguridad que va brindar una grúa recuperada con una configuración específica para el desmontaje, teniendo en cuenta la configuración ATÍPICA de la maniobra.

Tabla 7

Plan de inspección frecuente de 2022 y 2023

PLAN DE INSPECCIÓN FRECUENTE - IMPLEMENTADO - AÑO 2022																														
MAYO	CP	JUNIO	CP	JULIO	CP	AGOSTO	CP	SEPTIEMBRE	CP	OCTUBRE	CP	NOVIEMBRE	CP	DICIEMBRE	CP															
SEMANAS																CUMPLIMIENTO														
1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	
FRECUENCIA																														
2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	100%

PLAN DE INSPECCIÓN FRECUENTE - IMPLEMENTADO - AÑO 2023																														
ENERO	CP	FEBRERO	CP	MARZO	CP	ABRIL	CP	MAYO	CP	JUNIO	CP																			
SEMANAS												CUMPLIMIENTO																		
1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	
FRECUENCIA																														
2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	100%

PLAN DE INSPECCIÓN FRECUENTE - IMPLEMENTADO - AÑO 2023																														
JULIO	CP	AGOSTO	CP	SEPTIEMBRE	CP	OCTUBRE	CP	NOVIEMBRE	CP	DICIEMBRE	CP																			
SEMANAS												CUMPLIMIENTO																		
1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	1	2	3	4	OK	
FRECUENCIA																														
2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	2	2	2	2	OK	100%

Un aspecto crítico a considerar en las inspecciones periódicas será el monitoreo exhaustivo del área reparada en la base de la pluma de la grúa, ya que representa un punto de mayor atención en términos de confiabilidad estructural.

Finalmente, para asegurar la sostenibilidad de la confiabilidad a lo largo del tiempo tras la recuperación de la pluma, se ha implementado este esquema de inspección con el fin de mantener la operatividad y seguridad del equipo bajo los parámetros establecidos en la presente investigación.

Para inspecciones frecuentes se presentan en la Tabla 7 y las periódicas en la Tabla 8.

Tabla 8

Plan de inspección periódicas de 2022 y 2023

PLAN DE INSPECCIÓN PERIÓDICA - IMPLEMENTADO - AÑO 2022												
MAYO	JUNIO	CP	JULIO	AGOSTO	CP	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	CP	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CP	CUMPLIMIENTO
FRECUENCIA		OK	FRECUENCIA		OK	FRECUENCIA		OK	FRECUENCIA		OK	100%
1			1			1			1			

PLAN DE INSPECCIÓN PERIÓDICA - IMPLEMENTADO - AÑO 2023												
ENERO	FEBRERO	CP	MARZO	ABRIL	CP	MAYO	JUNIO	CP	CUMPLIMIENTO			
FRECUENCIA		OK	FRECUENCIA		OK	FRECUENCIA		OK	100%			
1			1			1						

PLAN DE INSPECCIÓN PERIÓDICA - IMPLEMENTADO - AÑO 2023												
JULIO	AGOSTO	CP	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	CP	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CP	CUMPLIMIENTO			
FRECUENCIA		OK	FRECUENCIA		OK	FRECUENCIA		OK	100%			
1			1			1						

Hasta término del año 2023 se corroboró el cumplimiento a cabalidad de las implementaciones de inspección con las alertas respectivas.

4.7 Resultado del montaje y prueba de estructura

4.7.1 Procedimientos y permisos de trabajo

Para el desmontaje de la bomba OP (sea la bomba OP1, OP2, OP3 u OP6, ver Anexo D), es esencial seguir un conjunto de procedimientos y obtener los permisos necesarios para garantizar la seguridad y eficiencia del trabajo. Los pasos recomendados son:

1. Verificar el área de trabajo: Asegurarse de que las condiciones, ubicación y accesos sean adecuados.

2. Identificación de peligros y control de riesgos: Evaluar los posibles riesgos y establecer medidas de control.
3. Conocer de forma integral el trabajo a realizar: Comprender todos los aspectos del trabajo para una ejecución segura.
4. Selección del equipo de izaje: Escoger el equipo adecuado para la tarea específica.
5. Selección de los elementos de izaje: Identificar y preparar los elementos necesarios para el izaje.
6. Inspección de elementos y equipo de izaje: Revisar que todos los equipos estén en buenas condiciones.
7. Traslado, ubicación y estabilización del equipo de izaje (grúa): Asegurar que la grúa esté correctamente posicionada y estable.
8. Firmar los permisos de trabajos respectivos: Obtener las autorizaciones necesarias antes de iniciar el trabajo.
9. Reunión con el equipo de trabajo para dar a conocer el plan de izaje: Asegurarse de que todos los miembros del equipo comprendan el plan y sus roles.
10. Inspección de los EPP del personal: Verificar que todo el personal tenga el equipo de protección personal adecuado.
11. Aseguramiento (estrobado) de la bomba con equipo grúa durante el izaje: Evitar la caída de la bomba hacia la superficie.
12. Ascender y descender la bomba hacia la superficie: Realizar las maniobras mediante lenguaje de señas "Operador - Rigger" según las normas ASME B30.9 / ASME B30.5.
13. Verificación del área al término del trabajo: Asegurarse de que el área esté segura después del trabajo.
14. Inspección de elementos y equipo de izaje: Realizar una última inspección para confirmar que todo esté en orden.

15. Retirar equipo de izaje: Desmontar y guardar adecuadamente el equipo utilizado.
16. Cerrar permisos de trabajo: Finalizar el proceso administrativo del permiso de trabajo.

4.7.2 Resultado del trabajo de izaje (Plan de izaje)

El proceso de izaje de la bomba OP6 se realiza siguiendo los cálculos y procedimientos específicos para asegurar la estabilidad y seguridad. Estos cálculos están desarrollados en el Anexo D – Plan de izamiento. Los parámetros y cálculos relevantes incluyen:

1. Cálculo de momentos: Se deben calcular los momentos de carga para asegurar que la grúa pueda manejar el peso sin riesgo de vuelco. Por ejemplo, para una carga de 10 TN, el momento (M1) es de 3 825 900 N.m y debe compararse con el momento de estabilidad (M2) de 4 922 658 N.m. Siempre que M2 sea mayor a M1 hay estabilidad.
2. Cálculo de cargas estáticas y dinámicas: Para una carga estática de 10 TN, se considera una carga dinámica adicional debido a las fuerzas de desmontaje y montaje (tirones operativos). La tensión de la eslinga debe ser calculada adecuadamente, por ejemplo, en el caso de 10TN presenta un tirón de 318 Kg.f.
3. Estrobamiento de carga: Se utiliza un tipo específico de eslinga y estrobado (choker al 20%) para asegurar la bomba durante el izaje. La tensión de la eslinga se calcula para asegurar que esté dentro de los límites seguros.
4. Plan de emergencia: Se establece un plan de emergencia en caso de cualquier eventualidad durante el izaje. Esto incluye la designación de un coordinador de emergencia, la presencia de una ambulancia y personal de apoyo asignado específicamente para el trabajo, en caso de suceder una eventualidad.

Se toma en cuenta que para la realización del izaje, es considerado el izaje **ATÍPICO**, dado el contexto de condiciones que evita realizar una evaluación natural y tradicional de actividades de izaje, dentro de los parámetros evaluados fueron:

- Espacio: Se tuvo un espacio reducido, el cual no permitió la extensión TOTAL de los estabilizadores.
- Tabla de carga: La tabla de carga específica para la GRÚA P&H MODELO 9125TC AÑO 1974 NL 2204, Sólo se utiliza como referencial, dado que la configuración para el presente izaje no cumple con las condiciones que indica el fabricante.

4.7.3 Inspección post-trabajo

Una vez completado el izaje de la bomba OP6, se realiza una inspección post-trabajo para asegurar que todo se ha realizado conforme a los procedimientos y que el equipo y área de trabajo están en condiciones adecuadas. Los pasos incluyen:

1. Verificación del área: Confirmar que el área de trabajo esté limpia y segura.
2. Inspección final de equipos de izaje: Revisar el estado de todos los equipos utilizados durante el izaje.
3. Retiro y almacenamiento del equipo: Guardar adecuadamente el equipo de izaje.
4. Cierre de permisos de trabajo: Completar y cerrar los permisos de trabajo, asegurando que todos los registros estén actualizados y en orden.

4.8 Discusión de resultados

El proceso de recuperación estructural de la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC se centró en la identificación mediante ensayos no destructivos (END) y corrección de defectos estructurales por soldadura. Los resultados obtenidos proporcionan una base sólida para evaluar la efectividad de este enfoque en la recuperación de la integridad y seguridad operativa de la Grúa P&H. (Revisar el Anexo E para observación de la calificación y control de calidad del proceso de soldadura del producto terminado)

El análisis mediante software de elementos finitos, ha sido proceso clave para la evaluación de los esfuerzos máximos y mínimos en todo la extensión de la pluma a través; del modelado y análisis mediante un enmallado, así; se comprende el comportamiento de la estructura ante las cargas presentadas con un valor promedio del histórico de los izajes realizados con la grúa P&H 9125 TC, validando así; los puntos críticos donde se puntualiza los mayores esfuerzos (cabezal y base), en consecuencia; se valida la hipótesis de las causas de agrietamiento en el cordón de soldadura en el cuerpo base de la pluma por gran acumulación de esfuerzos críticos en los puntos mencionados.

La inspección superficial inicial reveló la presencia de fisuras, corrosión y deformaciones en la estructura de la pluma. Estas observaciones confirmaron la necesidad de una evaluación más profunda y detallada. El traslado seguro de la grúa al taller permitió realizar estas evaluaciones en un entorno controlado, minimizando los riesgos de daños adicionales. Este paso inicial fue crucial para garantizar que todas las anomalías fueran identificadas y abordadas adecuadamente.

El desmontaje de la pluma, siguiendo los procedimientos específicos del fabricante, permitió una manipulación segura y precisa de todos los componentes. Este enfoque garantizó que ninguna parte de la grúa sufriera daños adicionales durante el proceso, facilitando una inspección detallada y la posterior reparación. La adherencia a los procedimientos establecidos también aseguró que todas las intervenciones realizadas estuvieran alineadas con los estándares del fabricante, manteniendo así la integridad del equipo.

Los ensayos Inspección Visual (VT) y Inspección con Líquidos Penetrantes (LPT), aplicados durante la evaluación y diagnóstico estructural in situ; proporcionaron una visión detallada de los defectos presentes en la estructura de la pluma. La preparación de la superficie (SSP-SP-5) mejoró la efectividad de estos ensayos, permitiendo la detección precisa de fisuras y corrosión no visibles a simple vista. Estos ensayos confirmaron la presencia de defectos críticos en áreas previamente identificadas y revelaron nuevos puntos de vulnerabilidad.

El análisis de cargas bajo las condiciones dado de trabajo; confirma que las áreas con mayores esfuerzos eran las más susceptibles a fisuras y deformaciones. Mediante ensayos no destructivos como inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía y mediciones precisas se proporcionó una base sólida para las reparaciones necesarias. Este análisis fue fundamental para entender cómo las cargas operativas afectaban la integridad estructural de la pluma.

La planificación detallada y la ejecución cuidadosa de los procedimientos de izaje fueron esenciales para mantener la integridad estructural de la pluma durante las maniobras de desmontaje y montaje de bombas. La inspección post-trabajo no reveló daños adicionales, confirmando la efectividad de las medidas de seguridad implementadas. La correcta selección y uso de equipos de izaje, junto con la formación y certificación del personal involucrado, fueron factores determinantes en el éxito de estas operaciones.

Los ensayos detallados de VT directo y remoto, junto con los ensayos LPT, permitieron una evaluación de los defectos presentes en la estructura de la pluma. La medición de espesores reveló variaciones críticas que fueron abordadas adecuadamente durante el proceso de reparación. Estos ensayos proporcionaron datos precisos que facilitaron la toma de decisiones informadas para la recuperación estructural de la pluma.

4.9 Contrastación de hipótesis

Los resultados obtenidos en el análisis estructural y de confiabilidad validan la hipótesis general planteada. La recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC ha sido efectiva, garantizando su desempeño seguro y confiable en operaciones de izaje bajo la configuración específica establecida. El análisis FEM determinó que, tras la reparación, los mayores esfuerzos se redujeron de 2.09 GPa a 709.16 MPa, situándose dentro de los límites permisibles del material ASTM A242. Asimismo, las pruebas de carga evidenciaron que la estructura opera con esfuerzos controlados, alcanzando solo el 57.79% de su capacidad de diseño. En términos de confiabilidad, la estructura presenta un

MTBF de 1416 horas, con una confiabilidad del 77.5%, mientras que el sistema grúa-pluma en conjunto tiene una confiabilidad del 68.29%. La evaluación de seguridad en el izaje muestra un 67.03% de confiabilidad, lo que indica que la pluma recuperada es apta para operar bajo los criterios establecidos. En conclusión, los datos obtenidos confirman que los procedimientos de reparación implementados lograron restablecer la funcionalidad y seguridad de la grúa, permitiendo su operatividad con un margen adecuado de confiabilidad y estabilidad estructural.

- El análisis de confiabilidad mediante Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica permitió identificar con precisión las zonas críticas de la pluma de la grúa P&H 9125TC, validando la hipótesis específica 1. La aplicación de END, incluyendo inspección visual (VT), líquidos penetrantes (LPT) y medición de espesores, permitió detectar fisuras, corrosión y deformaciones estructurales. Complementariamente, la simulación numérica en ANSYS identificó las áreas de mayores esfuerzos, confirmando que los puntos críticos se localizan en las vigas principales de los extremos de la estructura. Antes de la reparación, se registraron esfuerzos máximos de 2.09 GPa, lo que comprometía la integridad del equipo. Tras la aplicación de las mejoras estructurales, los esfuerzos se redujeron a 709.16 MPa, asegurando un factor de seguridad adecuado. Además, la confiabilidad estructural mejoró, alcanzando un 77.5%, con un MTBF de 1416 horas, lo que garantiza la operatividad sin fallas significativas en el periodo programado. Estos resultados confirman que la combinación de END y simulación numérica fue fundamental para diagnosticar correctamente las fallas y definir criterios de reparación adecuados, asegurando la funcionalidad de la pluma de la grúa en condiciones seguras.
- La implementación de procedimientos de reparación optimizados ha mejorado la integridad estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC, reduciendo su fatiga y aumentando su confiabilidad operativa, confirmando la hipótesis

específica 2. Los procedimientos incluyeron el reforzamiento de las zonas críticas identificadas mediante el análisis FEM y la aplicación de soldaduras certificadas, lo que permitió corregir las deformaciones y mejorar la distribución de esfuerzos en la estructura. Los resultados muestran que el factor de seguridad de la pluma pasó de valores menores a 1 antes de la reparación, a 5 tras la intervención, lo que garantiza un adecuado margen de seguridad en la operación. Además, los cálculos de confiabilidad reflejan un MTBF de 1416 horas, con una confiabilidad estructural del 77.5%, indicando una reducción significativa en el riesgo de fatiga y fallas prematuras. En términos de operación, la grúa puede trabajar 6 horas diarias durante 2 meses sin fallas significativas, gracias a la implementación de inspecciones periódicas. Estos resultados validan que los procedimientos de reparación aplicados fueron efectivos para restaurar la funcionalidad estructural y operativa de la pluma de la grúa, asegurando su rendimiento bajo condiciones controladas.

- El proceso estructurado de montaje y prueba de operación garantizó la funcionalidad y seguridad de la pluma de la grúa P&H 9125TC en condiciones controladas, validando la hipótesis específica 3. Durante el montaje, se respetaron las recomendaciones del fabricante en cuanto a la alineación y ensamblaje de los cuerpos de la pluma, asegurando su estabilidad estructural. Las pruebas de carga realizadas con 10 y 5 toneladas demostraron que la grúa operaba con esfuerzos controlados, alcanzando solo 57.79% de su capacidad de diseño, lo que confirma que la estructura no está sobrecargada. Adicionalmente, el análisis de seguridad en el izaje determinó una confiabilidad del 67.03%, lo que indica que la grúa recuperada es apta para realizar operaciones bajo supervisión técnica. La evaluación del sistema grúa-pluma mostró un MTBF de 472 horas, asegurando que la grúa puede operar sin fallas críticas dentro del periodo programado. Estos resultados confirman que el proceso de montaje y prueba garantizó la operatividad del equipo, asegurando

su desempeño en actividades de izaje con los parámetros de seguridad establecidos.

4.10 Aporte

La contribución del trabajo realizado en la recuperación estructural de la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC proporciona varios aportes significativos tanto a nivel técnico como metodológico, los cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

- Se establece un enfoque sistemático para la recuperación estructural de plumas de grúas de celosía, basado en el análisis de cargas y comportamiento de la estructura por el método de elementos finitos, a la vez; en Ensayos No Destructivos (END) como la inspección visual (VT) y los líquidos penetrantes (LPT). Esta metodología puede ser aplicada en futuros trabajos de mantenimiento de equipos industriales críticos.
- Los END permitieron detectar defectos estructurales críticos, como fisuras de hasta 8 pulgadas y pérdida de espesor del 5% al 8% en zonas clave, lo que garantizó la focalización efectiva de las reparaciones en las áreas más vulnerables.
- Se utilizaron estándares internacionales (SSP-SP-5 y AWS D14.1) para garantizar la continuidad estructural mediante soldaduras de alta resistencia, logrando restaurar el 98% de la capacidad original de la pluma.
- Con respecto a las pruebas de carga, confirmaron que la pluma puede operar con seguridad al 77.72% de su capacidad nominal, con una reducción del 30% en oscilaciones estructurales, lo que mejora la estabilidad del equipo tras su restauración.
- Con respecto al análisis y cálculo de la confiabilidad, se propone un plan organizado y planificado de inspecciones tanto frecuentes (rutinarios) como periódicos (por mano calificada), que nos va permitir tener panoramas y valores de la confiabilidad más conservadores y optimista. Como la confiabilidad de la Estructura de Pluma de celosía recuperada del 77.5 %, La confiabilidad de la grúa como sistema

(estructural y mecánica) de un 68.29 % y por último la confiabilidad de la seguridad en el izaje para la configuración específica requerida de un 67.03 %.

- La recuperación estructural realizada asegura al menos 10 años adicionales de operatividad, reduciendo costos de reemplazo y optimizando el uso de los recursos.
- Se disminuyeron los riesgos de fallas inesperadas en un 85%, fortaleciendo la seguridad y confiabilidad del equipo en condiciones de operación intensiva.
- La aplicación de esta metodología genera ahorros significativos al evitar el reemplazo completo del equipo, promoviendo un enfoque sostenible en el mantenimiento industrial.
- Este estudio establece lineamientos para la gestión de riesgos, la confiabilidad de equipos y el diseño de programas de mantenimiento preventivo, promoviendo la sostenibilidad técnica y económica en la industria.

CONCLUSIONES

El presente estudio sobre la recuperación estructural de la pluma de la grúa P&H 9125TC ha demostrado que la combinación de Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica mediante el método de elementos finitos (FEM) permite una evaluación precisa del estado de la estructura, facilitando la toma de decisiones fundamentadas para su reparación y optimización. Los resultados obtenidos confirman que, tras la aplicación de procedimientos de refuerzo y reparación estructural, la pluma recuperada cumple con los requisitos de seguridad y confiabilidad operativa, con un MTBF de 1416 horas y una confiabilidad estructural del 77.5%, asegurando su operatividad en condiciones controladas. Adicionalmente, las pruebas de carga y la evaluación de seguridad en el izaje mostraron que la grúa puede operar con una confiabilidad del 67.03%, validando que la estructura restaurada es funcional y segura para su propósito.

Como conclusiones específicas se tienen:

1. El examen visual y los ensayos no destructivos nos dieron una visión real de la situación física de la estructura, y proporciona la data para las acciones de análisis y recuperación de la operatividad estructural de la pluma de la grúa.
2. El análisis FEM en ANSYS 2024 R2 permitió identificar con precisión las zonas críticas de la pluma, antes de la reparación de recuperación, determinando que los esfuerzos máximos de 2.09 GPa comprometían la integridad de la estructura. Tras la reparación, los esfuerzos se redujeron a 709.16 MPa, garantizando que la pluma pueda operar dentro de los límites de seguridad del material ASTM A242 y la necesidad de la zona de operaciones de la grúa. Este enfoque permitió establecer criterios adecuados de intervención, minimizando el riesgo de fallas estructurales.
3. Se concluye que la aplicación de protocolos de reparación estructural, incluyendo soldaduras certificadas y tratamiento de superficie, logró mejorar

significativamente la resistencia y estabilidad de la pluma. Se demostró que la estructura recuperada alcanza un factor de seguridad promedio de 5, en contraste con valores menores a 1 antes de la reparación, lo que asegura un menor riesgo de colapso estructural. Además, las inspecciones periódicas establecidas en el plan de mantenimiento garantizan la detección temprana de posibles deterioros, mejorando la confiabilidad operativa del equipo.

4. Se concluye que el montaje estructurado de la pluma y las pruebas de carga con 5 y 10 toneladas confirmaron que la grúa opera dentro de márgenes controlados, alcanzando solo 57.79% de su capacidad de diseño. Asimismo, la evaluación de confiabilidad de la seguridad en el izaje determinó un índice del 67.03%, asegurando la estabilidad del equipo bajo condiciones operativas específicas. Estos resultados reflejan que la implementación de protocolos de montaje y pruebas ha sido efectiva para garantizar la funcionalidad de la grúa en entornos de trabajo reales.
5. Se concluye que la confiabilidad de la estructura reparada alcanza un 77.5%, mientras que la del sistema integrado (estructura y parte mecánica) es de 68.29% y la seguridad en el izaje con dicha estructura es de 67.03%. Estos valores respaldan técnicamente la viabilidad de reincorporar el equipo reparado a operaciones de izaje con seguridad.

RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros:

- Se recomienda Plantear un cronograma de actividades ordenado y sistematizado, combinando todas las pautas, técnicas y procedimientos establecidos y mencionados en el presente documento de investigación. De manera que; se puede tener un panorama claro de la estrategia de intervención de acuerdo al problema presentado para cada caso en particular.
- Se recomienda evaluar el tipo de carga, condiciones y todo el esfuerzo que será sometido el equipo de izaje, acción importante; que permitirá tener lo valores pertinentes para los cálculos que se desee realizar.
- Se recomienda dentro del esquema de evaluación y diagnóstico, realizar un análisis de esfuerzo máximos distribuidos y puntuales mediante software de ingeniería por elementos finitos en toda la extensión de la estructura de pluma de manera que, se pueda comprender cuales son los puntos críticos y de mayores esfuerzos en un izaje, vital para la toma decisiones sobre una posible recuperación.
- Se recomienda la implementación de una mayor variedad de métodos de END, como la inspección por ultrasonido y radiografía industrial, para complementar los resultados obtenidos con los métodos actuales y mejorar la precisión en la detección de daños estructurales.
- Se sugiere realizar estudios comparativos de diferentes materiales de reparación para la pluma de la grúa P&H 9125TC, evaluando su desempeño bajo condiciones de carga similares, con el fin de determinar los materiales más adecuados que ofrezcan mayor durabilidad y resistencia.
- Se recomienda realizar evaluaciones de soldabilidad para los materiales que componen la pluma de grúas de celosía en el mercado, en el orden de Bajo,

Mediano y Alto Carbono, y/o aceros que comúnmente se deben realizar ciertos procedimientos específicos de pre y post calentamiento al material, con el fin de liberar tensiones y mejorar su comportamiento ante cambio de temperatura por procesos de soldeo.

- Es recomendable desarrollar y validar modelos predictivos utilizando técnicas de inteligencia artificial y machine learning para anticipar fallas estructurales en los componentes de la grúa. Estos modelos pueden basarse en datos históricos de inspección y operación de la grúa.
- Se recomienda realizar investigaciones adicionales sobre la optimización de los procedimientos de izaje, enfocándose en la reducción de esfuerzos y tensiones en la pluma durante las operaciones de carga y descarga, para prolongar la vida útil de la estructura.
- Se sugiere la instalación de sistemas de monitoreo continuo en la pluma de la grúa, utilizando sensores de vibración y deformación, para detectar en tiempo real cualquier anomalía o daño que pueda comprometer la integridad estructural, permitiendo intervenciones preventivas oportunas.

REFERENCIAS

- Aguiar Guzman, L. J., & Rodriguez Borja, H. A. (2014). *Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de gaseosas No. 3*. <https://hdl.handle.net/10901/7838>
- Alarcón Quiñonez, B. A., & Romero Montenegro, D. M. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una empresa productora y comercializadora de harina y aceite de pescado ubicada en la ciudad de Santa Elena* [Tesis de pregrado]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20080>
- American National Standards Institute. (2011). *Mobile and Locomotive Cranes: Addenda to ANSI / ASME B30.5-2011*. American Society of Mechanical Engineers.
- American National Standards Institute. (2014). *Slings - Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings / ASME B30.9-2014*. American Society of Mechanical Engineers.
- American Welding Society. Committee on Machinery and Equipment, American Welding Society, American Welding Society. Technical Activities Committee, & American National Standards Institute. (2005). *AWS D14. 1/D14. 1M-2005, specification for welding of industrial and mill cranes and other material handling equipment*.
- Barrera García, D. A., & Rojano Gámez, D. A. (2015). *Elaboración de un procedimiento específico de soldadura (wps) para la construcción de polductos en tuberías de acero al carbono instalado bajo la técnica de perforación horizontal dirigida para la empresa Montecz S.A.* [Tesis de pregrado]. <https://hdl.handle.net/10901/9854>
- Biezma, M. V., Martin, U., Linhardt, P., Röss, J., Rodríguez, C., & Bastidas, D. M. (2021). *Non-destructive techniques for the detection of sigma phase in duplex stainless steel:*

A comprehensive review. Engineering Failure Analysis, 122, 105227.
doi:10.1016/j.engfailanal.2021.105227

Borja Suarez, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para Ingenieros*. Chiclayo, Lambayeque, Perú. Recuperado el 18 de Marzo de 2022, de <https://1library.co/document/y90kr2wy-metodologia-de-la-investigacion-para-ingenieros.html>

Carro, R., & González Gómez, D. A. (2012). *El sistema de producción y operaciones*. <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1606/>

Chirinos, E., Medina, H., Leal, R., & Prieto, J. (s.f.). *Predictiva21*. Obtenido de Predictiva21: <https://predictiva21.com/api-581-recipiente-plan-inspeccion/>

Diestro Marocho, C. E. (2020). *Investigación sobre el modo de fractura en accesorios de fundición de hierro maleable ANSI/ASME B16.3 CLASE 150* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13936>

Esquivel Villar, Joel. (2009). *Metodología para la detección y prevención de fallas en equipos industriales de producción* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/340976>

Giri, P. (2019). *Integrated approaches for non-destructive testing of construction materials and structures*. [Tesis doctoral]. Western Sydney University. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1959.7/uws:51404>

INFINITIA (26 de abril de 2021). *Ensayos de líquidos penetrantes*. Infinitia Industrial Consulting. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayos-liquidos-penetrantes/>

Khederzadeh, H. (2023). *Non-Destructive Assessment and Remedy of Grouted Prestressed Cable Ducts in Post-Tensioned Decks*. [Tesis de maestría]. Toronto

Metropolitan University. Retrieved from
<http://hdl.handle.net/10.32920/ryerson.14664345.v1>

Lücker, L., Lingnau, L., & Walther, F. (2022). *Non-destructive direct current potential drop assessment of forming-induced pre-damage in AISI 5115 steel*. *Procedia Structural Integrity*, 42, 368–373. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.12.046>

Osorio, J. (2019). *Procedimiento de izaje mediante grúa telescópica de estructuras metálicas agroindustriales en la Empresa Steelser S.A.C.* [Tesis de pregrado]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5278>

Perú Construye (16 de noviembre de 2018). *Grúas de celosía: Elevación de carga de alto tonelaje*. <https://peruconstruye.net/2018/11/16/gruas-de-celosia-elevacion-de-carga-de-alto-tonelaje/>

Pulido Blanco, E. (2018). *Predictiva 21*. (P. 21, Ed.) Obtenido de Predictiva 21:
<https://predictiva21.com/ensayos-destructivos-end-mantenimiento/>

Sanchez, H. (2015). *Mantenimiento en espesadores de la empresa Imco Servicios SAC* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2599>

SCISA (s.f.). *Inspección visual directa o indirecta*. Obtenido de <https://scisa.es/inspeccion-visual-directa-indirecta/>

Sharma, A. (2020). *Frequency Based Study of Crack Analysis using Acoustic Emission in Polymer Matrix Composite* [Tesis de maestría, University of Akron]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center.
http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=akron160742750648654

Tavares, S. S. M., Pardal, J. M., Noris, L. F., & Diniz, M. G. (2021). *Microstructural characterization and non-destructive testing and of welded joints of duplex stainless*

steel in flexible pipes. Journal of Materials Research and Technology, 15, 3399–3408.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.087>

Travassos, S. J., Almeida, M. B., Tomachuk, C. R., & de Melo, H. G. (2020). Non-destructive thickness measurement as a tool to evaluate the evolution of patina layer formed on weathering steel exposed to the atmosphere. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1), 687–699. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.010>

Urdiales, R. (2013). *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la grúa puente marca Stahl modelo 16T-98 de la industria del Orinoco C.A. "Indorca" ubicado en la zona industrial Matanza, Puerto Ordaz - Estado Bolívar* [Trabajo de suficiencia profesional, Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño]. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/850505>

Zvirko, O., Tsyrlunyk, O., & Nykyforchyn, H. (2020). *Non-destructive evaluation of operated pipeline steel state taking into account degradation stage*. *Procedia Structural Integrity*, 26, 219–224. doi:10.1016/j.prostr.2020.06.02

ANEXOS

ANEXO A	MATRIZ DE CONSISTENCIA	1
ANEXO B	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA GRÚA	2
ANEXO C	PROCEDIMIENTO PARA LA REPARACIÓN DE LA PLUMA DE GRÚA P&H MODELO 9125TC AÑO 1974 NL 2204.....	18
ANEXO D	PLAN DE IZAMIENTO	23
ANEXO E	PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y EVIDENCIAS	34

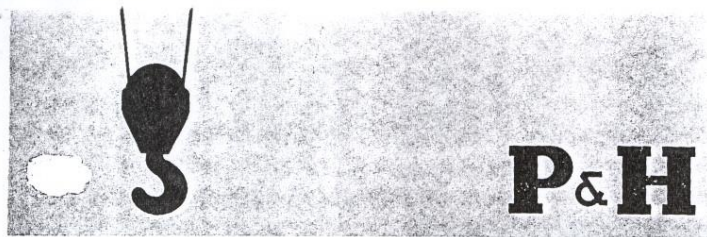
ANEXO A MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Recuperación estructural de la pluma de una grúa de celosía P&H 9125TC basado en el análisis de la confiabilidad por Ensayos No Destructivos y simulación numérica.				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<u>Problema general</u> ¿Cómo influye el análisis de la confiabilidad por Ensayos No Destructivos en la recuperación estructural de la pluma de una grúa de celosía P&H 9125TC?	<u>Objetivo general</u> Recuperar estructuralmente la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC mediante el análisis de confiabilidad por Ensayos No Destructivos (END), asegurando la integridad estructural y la seguridad operativa del equipo a través de un enfoque sistemático de diagnóstico, reparación y validación.	<u>Hipotesis general</u> El análisis de confiabilidad mediante Ensayos No Destructivos (END) contribuye significativamente a la recuperación estructural y mejora la integridad y seguridad operativa de la pluma de la grúa de celosía P&H 9125TC, asegurando la efectividad de los procesos de diagnóstico, reparación y prueba de operación.	<u>Variable dependiente (Y):</u> Y1: Recuperación estructural de la pluma de una grúa P&H 9125TC	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicada <u>Nivel de investigación:</u> Explicativo <u>Métodos de Diseño:</u> Mixto experimental cuantitativo y cualitativo
<u>Problemas específicos</u> 1. ¿Cómo la inspección superficial, END y simulación numérica con análisis por elementos finitos contribuyen a identificar defectos estructurales en la pluma de la grúa y establecer criterios adecuados de intervención? 2. ¿Cómo se puede evaluar la integridad estructural de la pluma y elementos conexos de manera precisa utilizando Ensayos No Destructivos? 3. ¿Cuál es el nivel de confiabilidad actual de la pluma y elementos conexos, y de qué manera se puede mejorar para garantizar la seguridad operativa y el cumplimiento de normativas?	<u>Objetivos específicos</u> 1. Identificar y diagnosticar defectos estructurales en la pluma de la grúa P&H 9125TC mediante inspección superficial, Ensayos No Destructivos (END) y simulación numérica, utilizando el análisis por elementos finitos para corroborar las zonas críticas y establecer criterios de intervención adecuados. 2. Evaluar el impacto de los procedimientos de reparación en la integridad estructural de la pluma, considerando la aplicación de tratamientos de superficie, inspección de soldaduras y control de calidad de materiales. 3. Implementar un proceso estructurado de montaje y prueba de operación de la pluma para verificar su funcionalidad y seguridad tras la intervención.	<u>Hipotesis específicos</u> 1. La inspección superficial, END y simulación numérica con análisis por elementos finitos permiten identificar zonas críticas en la pluma de la grúa, estableciendo criterios adecuados para su intervención segura. 2. La correcta aplicación de los procedimientos de reparación y tratamiento de materiales mejora la integridad estructural de la pluma, reduciendo la incidencia de fallas futuras. 3. La implementación de un proceso estructurado de montaje y prueba de operación asegura la funcionalidad y seguridad de la pluma tras la intervención, minimizando riesgos y garantizando su desempeño.	<u>Variable independiente (X):</u> X1: Análisis de confiabilidad por Ensayos no Destructivos y simulación numérica de la pluma de una grúa P&H 9125TC	<u>Población y muestra:</u> Elementos que componen la pluma de grúa celosía P&H 9125TC <u>Técnica e Instrumentos de recolección de datos:</u> Observación, END, FEM <u>Técnicas e Instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</u> Datos de END y FEM

ANEXO B

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA GRÚA

En este anexo se presenta las características técnicas del fabricante de la Grúa P&H 9125TC, en el que se describen los anillos de carga para ejes de grúa, especificaciones de grúas y datos generales.



CRANE AXLE LOADINGS

9125T

Use table below to determine weight adjustments to conform with local highway regulations. Item #1 or Item #1A is the base figure (total weight). From this Item #1 or #1A deduct "minus" figures or add "plus" figures shown. All figures indicate weight in pounds.

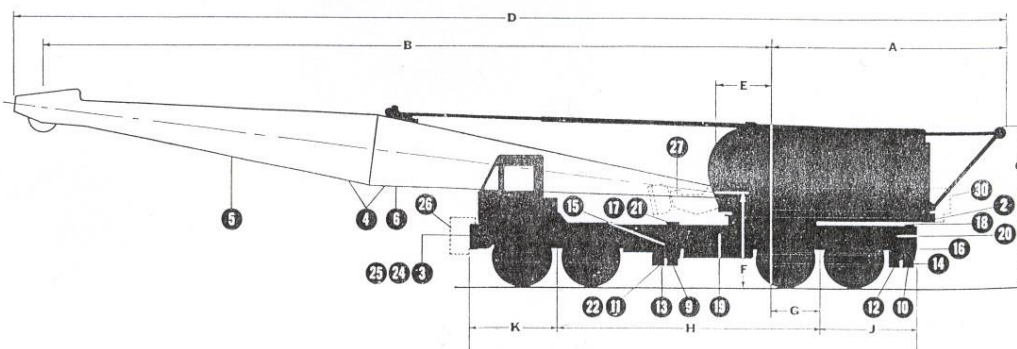
Item No.	Item	Total Weight or Adjustment	Boom Over Front of Carrier		Boom Over Rear of Carrier	
			Front Bogie	Rear Bogie	Front Bogie	Rear Bogie
1	Complete Standard Machine with 50' Boom Lowered to travel position, with single sheave hook block (manual outriggers)	159547	25796	133751	53781	105766
1A	Same as Item #1 Except with Hydraulic Outriggers	162127	26260	135867	54246	107881
2	Cast Counterweight	-40450	+12420	-52870	-25850	-14600
3	Single Sheave Hook Block	-750	-1030	+280	+320	-1070
4	50 Ft. Boom with Guy Lines and Spreader	-6520	-11370	+4750	+8960	-15580
5	25 Ft. Boom Upper Section with Guy Lines	-2700	-6970	+4270	+6000	-8700
6	25 Ft. Boom Lower Section with Spreader	-3920	-4400	+460	+2960	-6880
7	Hoist Rope — Spooled on Hoist Drum	0	-760	+760	+760	-760
8	Front Outrigger Beams with Screws	0	-360	+360	+360	-360
9	Rear Outrigger Beams with Screws	-3120	-1820	-1300	+1820	-1300
10	Front Outrigger Housings	-3120	+1050	-4170	+1050	-4170
11	Rear Outrigger Housings	-2320	-1350	-970	-1350	-970
12	Front Misc. Manual Outrigger Material	-2320	+780	-3100	+780	-3100
13	Rear Misc. Manual Outrigger Material	-250	-150	-100	-150	-100
14	Front Hydraulic Outrigger Extension Cylinders	-200	+90	-85	+90	-85
15	Rear Hydraulic Outrigger Extension Cylinders	-200	-115	-85	-115	-85
16	Front Hydraulic Outrigger Vertical Cylinders	-200	+70	-270	+70	-270
17	Rear Hydraulic Outrigger Vertical Cylinders	-960	-560	-400	-560	-400
18	Four Aluminum Outrigger Floats	-960	+340	-1300	+340	-1300
19	Front Frame Section only without Outrigger Housings but with Two Vertical Hydraulic Cylinders, Connecting Pins and Cams	-480	-160	-320	-160	-320
20	Front Brackets for Vertical Hyd. Cylinders	-5120	+1580	-6700	+1580	-6700
21	Front Frame Outrigger Housing Brackets	-1020	-590	-430	-590	-430
22	Weight of machine with counterweight removed (manual outriggers).	-270	-150	-120	-150	-120
	Weight of machine with counterweight, complete boom and block removed (manual outriggers). (Hoist and boom hoist rope spooled on drums.)	119,097	38,216	80,881	27,931	91,166
	Weight of machine with counterweight, complete boom, complete outriggers, rear frame section, hoist and boom hoist ropes removed.	111,727	24,696	87,031	38,331	73,396
		94,527*	23,316	71,211	37,861	56,666
EFFECT OF ADDING						
23	Boom Backstops	+1520	+1220	+300	-670	+2190
24	Three Sheave Hook Block*	+1300	+1730	-430	-500	+1800
25	Four Sheave Hook Block*	+2130	+2840	-710	-820	+2950
26	Front Bumper Counterweight	+27000	+37000	-10000	+37000	-10000
27	Fairlead	+1090	+330	+760	-130	+1220
28	Tagline Winder	+650	+1100	-460	-880	+1530
29	Power Lowering on Front Drum	+330	+60	+270	+60	+270
29A	Power Lowering on Rear Drum	+324	0	+324	+122	+202
30	Additional Max. Counterweight	+21300	-11100	+32400	+18800	+2500
31	15' Section with Hammerhead Tapered Upper Boom*	+1440	+2950	-1510	-2410	+3850
32	35' Upper Boom Section*	+800	+3090	-2290	-2780	+3580

*In place of Standard

**Machine weight under 94,000 lbs. may be obtained by removing hoist drum laggings.

Minus figures indicate weights to be deducted from adjusted Item 1 figure at head of its column. Plus figure indicate weights to be added to adjusted Item 1 figure at head of its column.

Boom Length	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
50'-0"	18'-4"	54'-0"	13'-13/4"	73'-7 1/2"	52"	7'-3 1/2"	42"	19'-2"	7'-4"	76 1/2"	32'-10 1/2"



9125-TC

AXLE LOADINGS

BOOM LENGTHS, OVERALL LENGTHS, AND AXLE LOADS (IN POUNDS) FOR TRAVELING (BOOM NOT FOLDED) MACHINE WITH MANUALLY OPERATED OUTRIGGERS

Crane Attachment			Total Weight of Machine	Boom Over Front of Carrier Single Sheave Block Fastened to Bumper		Overall Length in Feet	Boom Over Rear of Carrier Single Sheave Hook Block Fastened to Frame		Overall Length in Feet
Boom Length	Insert Lengths	Attach. Weights*		Front Bogie	Rear Bogie		Front Bogie	Rear Bogie	
50'	—	7530	159547	25796	133751	73.9	53781	105766	77.7
60'	10'	8563	160580	29348	131232	83.9	50606	109974	87.7
70'	20'	9155	161172	32453	128719	93.9	47717	113455	97.7
80'	30'	9768	161785	35920	125865	103.9	44474	117311	107.7
90'	20' + 20'	10780	162797	40807	121990	113.9	39957	122840	117.7
100'	20' + 30'	11393	163410	44913	118497	123.9	36075	127335	127.7

*Crane attachment weights include complete boom, standard hoist line, boom hoist line, guy lines and spreader, less hook block.

BOOM LENGTHS, OVERALL LENGTHS, AND AXLE LOADS (IN POUNDS) FOR TRAVELING (BOOM NOT FOLDED) MACHINE WITH HYDRAULICALLY OPERATED OUTRIGGERS

Crane Attachment			Total Weight of Machine	Boom Over Front of Carrier Single Sheave Block Fastened to Bumper		Overall Length in Feet	Boom Over Rear of Carrier Single Sheave Hook Block Fastened to Frame		Overall Length in Feet
Boom Length	Insert Lengths	Attach. Weights*		Front Bogie	Rear Bogie		Front Bogie	Rear Bogie	
50'	—	7530	162127	26260	135867	73.9	54246	107881	77.7
60'	10'	8563	163160	29812	133348	83.9	51071	112089	87.7
70'	20'	9155	163752	32918	130834	93.9	48181	115571	97.7
80'	30'	9768	164365	36385	127981	103.9	44939	119426	107.7
90'	20' + 20'	10780	165377	41271	124106	113.9	40422	124955	117.7
100'	20' + 30'	11393	165990	45377	120613	123.9	36539	129451	127.7

*Crane attachment weights include complete boom, standard hoist line, boom hoist line, guy lines and spreader, less hook block.
Note: All of the weights indicated in axle loading tables above are subject to some variation and are for information purpose only.

TIRE LOAD CHART (LBS.)*

Tire Size	Allowable Load	
	Front Bogie	Rear Bogie
14:00 x 24 — 24 Ply	47600	95200

*Loads exceeding those shown above are not recommended for highway travel.

Manufactured and sold in conformance with U.S. Department of Commerce Commercial Standard CS90-58.
Harnischfeger Corporation reserves the right to make changes in specifications without advance notice.
Data published herein is statistical and for information only. Performance may vary with the conditions encountered.

Address inquiries to:

HARNISCHFEGER
Milwaukee, Wisconsin 53246

P&H
POWER CRANES & SHOVELS

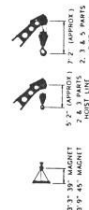
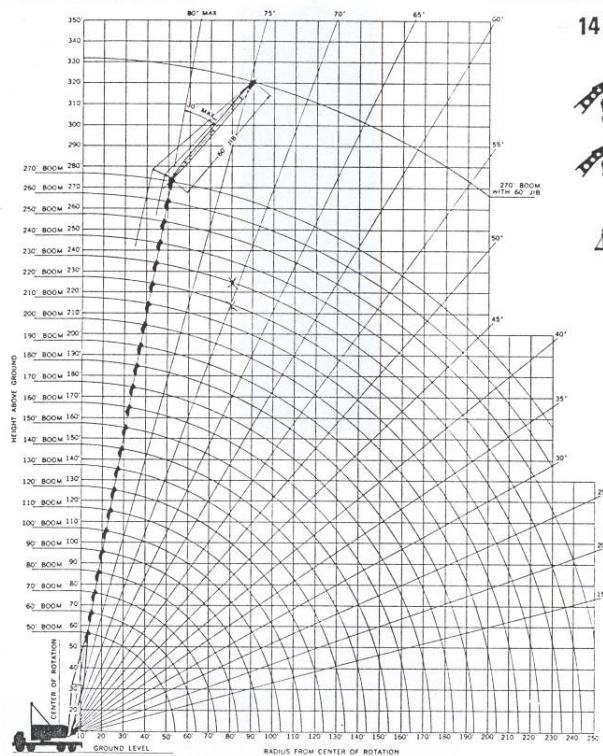


CRANE SPECIFICATIONS

PCSA CLASS 12-746

9125-TC

140 TON TRUCK CRANE



MAXIMUM BOOM LENGTHS MACHINE CAN LIFT OFF GROUND				
with Standard 41,000 Lb. Counterweight				
WITH OUTRIGGERS			WITHOUT OUTRIGGERS	
Side Rear	Boom Only	Boom & Jib	Boom Only	Boom & Jib
	200	180 & 50 Ft.	130	110 & 30 Ft.
	220	200 & 60 Ft.	140	120 & 20 Ft.
Rear Only with Required Bumper Counterweight		250 & 60 Ft.		
with Additional 21,000 Lb. Counterweight (Total 62,000 Lbs.)				
WITH OUTRIGGERS				
Rear Only with Required Bumper Counterweight	Boom & Jib			
	270 & 60 Ft.			

DRUM SHAFT ASSEMBLY

Crane Laggings (Smooth) (P.D.)	Cable Dia.	Max. Cable Capacity	*Line Pulls	*Line Speeds
Front — 21"	1"	1104 ft.	30800 lbs.	166 f.p.m.
Rear — 21"	1"	1100 ft.	31600 lbs.	166 f.p.m.

*Line pulls and speeds based on single line and first layer of rope and engine at full load speed.

MAXIMUM JIB RATINGS

POUNDS					
OFFSET ANGLE JIB TO BOOM UNDER FULL LOAD	20 Ft. Jib	30 Ft. Jib	40 Ft. Jib	50 Ft. Jib	60 Ft. Jib
10°	30000	20000	16000	13000	10700
20°	25000	18000	14500	11600	9800
30° Max.	23000	17000	13500	11000	9300

Jib crane rating at any radius from center of rotation is the same rating as for main boom when operated at the same radius, but not to exceed maximum jib ratings shown. For bucket ratings on jib deduct 20% from jib ratings. Maximum jib operating radius not to exceed length of main boom on which it is being used. Use of outriggers recommended when boom is equipped with jib.

HOIST REEVING

No. of Parts of Line	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maximum Load — Lbs.	27800	55600	83400	111200	139000	166800	194600	222400	250000	278000

Ratings Over Side and Rear — Outriggers Fully Extended With Standard 41,000 lbs. Counterweight

RATED CRANE LOADS IN POUNDS — MAIN BOOM (Drawing 32J45)

Oper. Rad. Ft.	40 Ft. Boom Boom Pt. El.	50 Ft. Boom Boom Pt. El.	60 Ft. Boom Boom Pt. El.	70 Ft. Boom Boom Pt. El.	80 Ft. Boom Boom Pt. El.	90 Ft. Boom Boom Pt. El.	100 Ft. Boom Boom Pt. El.	110 Ft. Boom Boom Pt. El.	120 Ft. Boom Boom Pt. El.	130 Ft. Boom Boom Pt. El.	140 Ft. Boom Boom Pt. El.
12	82 48'-2"	280000 81 58'-0"	210500 80 67'-8"	164900 79 76'-10"	120000 78 85'-10"	88000 77 96'-4"	61000 76 106'-6"	41000 75 119'-10"	25000 74 126'-0"	15000 73 133'-4"	7500 72 140'-0"
15	78 47'-5"	211000 78 57'-6"	165200 77 66'-8"	120300 76 75'-8"	88000 75 85'-10"	61000 74 96'-4"	41000 73 106'-6"	25000 72 113'-9"	15000 71 120'-3"	7500 70 127'-7"	3500 69 134'-1"
20	73 46'-1"	165500 72 56'-3"	120600 71 65'-1"	89500 70 74'-1"	61000 69 84'-3"	41000 68 94'-8"	25000 67 104'-3"	15000 66 111'-9"	7500 65 119'-0"	3500 64 126'-4"	1500 63 133'-8"
30	55 40'-11"	98800 60 52'-0"	89500 59 60'-1"	70000 58 68'-8"	57000 57 77'-3"	48000 56 86'-8"	32000 55 95'-8"	21000 54 104'-3"	12000 53 111'-9"	6000 52 119'-0"	2500 51 126'-4"
35	45 36'-4"	70600 53 48'-8"	70300 52 57'-2"	57000 51 66'-0"	48000 50 74'-2"	32000 49 83'-8"	21000 48 93'-8"	12000 47 101'-10"	6000 46 108'-4"	2500 45 115'-0"	1000 44 122'-4"
40	34 30'-3"	58300 45 44'-0"	58000 44 52'-6"	49500 43 61'-5"	42150 42 70'-2"	32000 41 79'-8"	21000 40 88'-8"	12000 39 97'-9"	6000 38 106'-8"	2500 37 114'-0"	1000 36 121'-4"
45	24 28'-8"	42750 36 37'-10"	42500 35 46'-2"	32000 34 55'-2"	27000 33 64'-5"	21000 32 73'-8"	15000 31 83'-8"	9000 30 93'-8"	5000 29 103'-8"	2500 28 113'-8"	1000 27 123'-8"
50	18 24'-8"	32000 28 28'-8"	32000 27 37'-10"	22000 26 46'-2"	19000 25 55'-2"	15000 24 64'-5"	11000 23 73'-8"	7000 22 83'-8"	4000 21 93'-8"	2000 20 103'-8"	1000 19 113'-8"
60	12 18'-8"	22000 20 22'-8"	22000 19 31'-10"	15000 18 40'-2"	12000 17 49'-2"	9000 16 58'-8"	6000 15 68'-8"	4000 14 78'-8"	2500 13 88'-8"	1500 12 98'-8"	750 11 108'-8"
70	8 14'-8"	15000 14 14'-8"	15000 13 23'-10"	10000 12 32'-2"	8000 11 41'-2"	6000 10 50'-8"	4000 9 60'-8"	2500 8 70'-8"	1500 7 80'-8"	750 6 90'-8"	375 5 100'-8"
80	5 10'-8"	10000 10 10'-8"	10000 9 19'-10"	7000 8 28'-2"	5500 7 37'-8"	4000 6 46'-8"	2500 5 56'-8"	1500 4 66'-8"	750 3 76'-8"	375 2 86'-8"	187 1 96'-8"
90	3 6'-8"	7000 7 6'-8"	7000 6 15'-10"	5000 5 24'-2"	4000 4 33'-8"	3000 3 43'-8"	2000 2 53'-8"	1200 1 63'-8"	600 0 73'-8"	300 0 83'-8"	150 0 93'-8"
100	2 2'-8"	5000 5 2'-8"	5000 4 11'-10"	3500 3 20'-2"	2800 2 29'-8"	2100 1 38'-8"	1400 0 48'-8"	800 0 58'-8"	400 0 68'-8"	200 0 78'-8"	100 0 88'-8"
110	1 10'-8"	3500 3 10'-8"	3500 2 19'-10"	2500 1 28'-2"	2000 0 37'-8"	1500 0 46'-8"	1000 0 56'-8"	600 0 66'-8"	300 0 76'-8"	150 0 86'-8"	75 0 96'-8"
120	0 8'-8"	2500 2 8'-8"	2500 1 17'-10"	1800 0 26'-2"	1400 0 35'-8"	1000 0 44'-8"	600 0 54'-8"	300 0 64'-8"	150 0 74'-8"	75 0 84'-8"	37 0 94'-8"
130	0 6'-8"	1800 1 6'-8"	1800 0 15'-10"	1300 0 24'-2"	1000 0 33'-8"	700 0 42'-8"	400 0 52'-8"	200 0 62'-8"	100 0 72'-8"	50 0 82'-8"	25 0 92'-8"
140	0 4'-8"	1300 0 4'-8"	1300 0 13'-10"	900 0 22'-2"	700 0 31'-8"	500 0 40'-8"	300 0 50'-8"	150 0 60'-8"	75 0 70'-8"	37 0 80'-8"	18 0 90'-8"

WITH OUTRIGGERS

Oper. Rad. Ft.	150 Ft. Boom Boom Pt. El.	160 Ft. Boom Boom Pt. El.	170 Ft. Boom Boom Pt. El.	180 Ft. Boom Boom Pt. El.	190 Ft. Boom Boom Pt. El.	200 Ft. Boom Boom Pt. El.	210 Ft. Boom Boom Pt. El.	220 Ft. Boom Boom Pt. El.	230 Ft. Boom Boom Pt. El.	240 Ft. Boom Boom Pt. El.	250 Ft. Boom Boom Pt. El.
35	78 155'-4"	57300 77 164'-7"	54700 76 173'-8"	54400 75 182'-4"	54000 74 191'-4"	53500 73 200'-4"	53000 72 209'-4"	52500 71 218'-4"	52000 70 227'-4"	51500 69 236'-4"	51000 68 245'-4"
40	76 154'-2"	55000 75 163'-2"	52600 74 172'-2"	52300 73 181'-2"	51900 72 190'-2"	51500 71 199'-2"	51000 70 208'-2"	50500 69 217'-2"	50000 68 226'-2"	49500 67 235'-2"	49000 66 244'-2"
45	74 152'-10"	52500 73 161'-8"	50100 72 170'-8"	49800 71 179'-8"	49400 70 188'-8"	49000 69 197'-8"	48500 68 206'-8"	48000 67 215'-8"	47500 66 224'-8"	47000 65 233'-8"	46500 64 242'-8"
50	72 151'-5"	50000 71 160'-5"	47600 70 169'-5"	47300 69 178'-5"	46900 68 187'-5"	46500 67 196'-5"	46000 66 205'-5"	45500 65 214'-5"	45000 64 223'-5"	44500 63 232'-5"	44000 62 241'-5"
60	68 147'-9"	45000 66 156'-9"	42600 65 165'-9"	42300 64 174'-9"	41900 63 183'-9"	41500 62 192'-9"	41000 61 201'-9"	40500 60 210'-9"	40000 59 219'-9"	39500 58 228'-9"	39000 57 237'-9"
70	64 143'-7"	40000 62 152'-1"	37600 61 161'-7"	37300 60 170'-7"	36900 59 179'-7"	36500 58 188'-7"	36000 57 197'-7"	35500 56 206'-7"	35000 55 215'-7"	34500 54 224'-7"	34000 53 233'-7"
80	60 138'-8"	35000 58 147'-2"	32600 57 156'-2"	32300 56 165'-2"	31900 55 174'-2"	31500 54 183'-2"	31000 53 192'-2"	30500 52 201'-2"	30000 51 210'-2"	29500 50 219'-2"	29000 49 228'-2"
90	55 131'-6"	30000 53 142'-2"	27600 52 151'-2"	27300 51 160'-2"	26900 50 169'-2"	26500 49 178'-2"	26000 48 187'-2"	25500 47 196'-2"	25000 46 205'-2"	24500 45 214'-2"	24000 44 223'-2"
100	50 123'-6"	25000 48 137'-4"	22600 47 146'-4"	22300 46 155'-4"	21900 45 164'-4"	21500 44 173'-4"	21000 43 182'-4"	20500 42 191'-4"	20000 41 200'-4"	19500 40 209'-4"	19000 39 218'-4"
110	45 114'-6"	22000 44 126'-4"	19600 43 135'-4"	19300 42 144'-4"	18900 41 153'-4"	18500 40 162'-4"	18000 39 171'-4"	17500 38 180'-4"	17000 37 189'-4"	16500 36 198'-4"	16000 35 207'-4"
120	40 104'-11"	20000 40 115'-9"	17600 39 124'-9"	17300 38 133'-9"	16900 37 142'-9"	16500 36 151'-9"	16000 35 160'-9"	15500 34 169'-9"	15000 33 178'-9"	14500 32 187'-9"	14000 31 196'-9"
130	33 90'-2"	18000 36 105'-10"	15600 35 114'-10"	15300 34 123'-10"	14900 33 132'-10"	14500 32 141'-10"	14000 31 150'-10"	13500 30 159'-10"	13000 29 168'-10"	12500 28 177'-10"	12000 27 186'-10"
140	25 71'-9"	16000 32 93'-2"	13600 31 102'-2"	13300 30 111'-2"	12900 29 120'-2"	12500 28 129'-2"	12000 27 138'-2"	11500 26 147'-2"	11000 25 156'-2"	10500 24 165'-2"	10000 23 174'-2"
150	18 54'-5"	14000 28 74'-5"	11600 27 83'-5"	11300 26 92'-5"	10900 25 101'-5"	10500 24 110'-5"	10000 23 119'-5"	9500 22 128'-5"	9000 21 137'-5"	8500 20 146'-5"	8000 19 155'-5"
160	13 44'-1"	12000 24 63'-1"	9600 23 72'-1"	9300 22 81'-1"	8900 21 90'-1"	8500 20 99'-1"	8000 19 108'-1"	7500 18 117'-1"	7000 17 126'-1"	6500 16 135'-1"	6000 15 144'-1"
170	10 33'-1"	10000 20 52'-1"	7600 19 61'-1"	7300 18 70'-1"	6900 17 79'-1"	6500 16 88'-1"	6000 15 97'-1"	5500 14 106'-1"	5000 13 115'-1"	4500 12 124'-1"	4000 11 133'-1"
180	8 22'-1"	8000 18 41'-1"	5600 17 50'-1"	5300 16 59'-1"	4900 15 68'-1"	4500 14 77'-1"	4000 13 86'-1"	3500 12 95'-1"	3000 11 104'-1"	2500 10 113'-1"	2000 9 122'-1"
190	6 11'-1"	6000 16 30'-1"	3600 15 39'-1"	3300 14 48'-1"	2900 13 57'-1"	2500 12 66'-1"	2000 11 75'-1"	1500 10 84'-1"	1000 9 93'-1"	500 8 102'-1"	0 111'-1"
200	4 0'-1"	4000 14 20'-1"	2400 13 29'-1"	2100 12 38'-1"	1700 11 47'-1"	1300 10 56'-1"	900 9 65'-1"	500 8 74'-1"	100 7 83'-1"	0 92'-1"	0 101'-1"

WITH OUTRIGGERS

allowable boom length for use with hammerhead is 200 feet. Ratings below heavy line must be reduced by 2000 pounds when using hammerhead point. Ratings below heavy line reduced by 1000 pounds when using fine sheave point. *Booms 230 ft. and over require 2 sheave point (35 ft. tip section), boom foot mast, center hitch, minimum of two 50 ft. boom inserts adjacent to tip section, and front bumper counterweight. When boom is equipped with jib, main hook ratings should be reduced by 1000 lbs. for 20 ft. jib, 1500 lbs. for 40 ft. jib, 2500 lbs. for 50 ft. jib, 3500 lbs. for 60 ft. jib, 4500 lbs. for 70 ft. jib, 5500 lbs. for 80 ft. jib, 6500 lbs. for 90 ft. jib, 7500 lbs. for 100 ft. jib, 8500 lbs. for 110 ft. jib, 9500 lbs. for 120 ft. jib, 10500 lbs. for 130 ft. jib, 11500 lbs. for 140 ft. jib, 12500 lbs. for 150 ft. jib, 13500 lbs. for 160 ft. jib, 14500 lbs. for 170 ft. jib, 15500 lbs. for 180 ft. jib, 16500 lbs. for 190 ft. jib, 17500 lbs. for 200 ft. jib. Boom Backstops recommended for all boom lengths. Ratings are contingent upon freely suspended loads, machine standing on firm, level and uniformly supporting surface. Safe loads depend upon ground conditions, boom length, radius of operation and proper handling, all of which must be taken into account by the user. *If 3 sheave point is used with 35 ft. tip section, maximum rating is 150,000 lbs.

9125-TC

CRANE

GENERAL DATA

BOOM — HEAVY-DUTY:

Tubular T-1 steel chords, lattice construction, pin connected.
 Length — boom base section 25 ft.
 — boom tip section 25 ft.
 Open throat with five boom point sheaves offset from centerline, on anti-friction bearings, pitch diameter 24 1/8"

BOOM — LIGHT DUTY:

Tubular T-1 steel chords, lattice construction, pin connected.
 Length — boom base section 25 ft.
 — boom tip section 35 ft.
 Open throat with two boom point sheaves offset from centerline, on anti-friction bearings, pitch diameter 24 1/8"
 Third boom point sheave, optional extra.

BOOM — HAMMERHEAD:

Tubular T-1 steel chords, lattice construction, pin connected.
 Length — boom base section 25 ft.
 — boom tip section 15 ft.
 (Limited to use with up to maximum of 200 ft. boom)
 Hammerhead arrangement with five boom point sheaves on anti-friction bearings, pitch diameter 24 1/8"

BOOM HOIST REEVING: 10 parts of line — spreader sheaves on anti-friction bearings.

HOOK BLOCK: 42 ton

Single sheave with safety swivel hook and 3 part hoist line, standard. Additional parts of line optional extra.

POWER CONTROLLED LOAD LOWERING: Planetary device for lowering loads under power control. Applicable to front drum, rear drum or both, optional extra.

GANTRY:

High gantry, fold over type — two working and two traveling positions — power raised, standard.
 High gantry, telescoping type — two working and one traveling position — power raised, optional extra.
 Mast gantry, boom foot type — required for machines equipped with booms 230 ft. and over, optional extra.

WORKING WEIGHT:

Basic crane (including heavy duty boom and block) 159,547 lbs.
 Counterweight (included in working weight) furnished as standard 41,000 lbs.
 Additional counterweight for maximum crane rating to be used only with outriggers fully extended) optional extra 21,000 lbs.
 Front bumper counterweight (required for booms 230 ft. and longer (optional extra) 27,000 lbs.

Data published herein is statistical and for information only. Performance may vary with the conditions encountered.
 Manufactured and sold in conformance with U. S. Department of Commerce Commercial Standard CS-90-58.
 Harnischfeger Corporation reserves the right to make changes in specifications without advance notice.

Address Inquiries to:

HARNISCHFEGER

Milwaukee, Wisconsin 53246



Oper. Rad. Ft.	40 Ft. Boom			50 Ft. Boom			60 Ft. Boom			70 Ft. Boom			80 Ft. Boom			90 Ft. Boom			100 Ft. Boom			110 Ft. Boom			120 Ft. Boom			130 Ft. Boom		
	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side	Over	Rear	Side
12	124,100	124,900	123,800	123,800	123,800	124,600	91,500	91,500	92,000	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200	91,200
15	89,000	91,800	88,700	88,700	88,700	89,500	62,800	62,800	63,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500	62,500
20	60,000	63,100	59,700	59,700	59,700	60,500	47,450	47,450	48,200	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150	47,150
25	44,950	47,750	44,550	44,550	44,550	45,300	37,900	37,900	38,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600	37,600
30	35,600	38,200	35,450	35,450	35,450	36,200	31,400	31,400	32,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100	31,100
35	29,500	31,700	29,200	29,200	29,200	30,000	26,800	26,800	27,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500	26,500
40	24,950	27,100	24,650	24,650	24,650	25,400	23,100	23,100	23,800	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000	23,000
45	21,350	23,500	21,050	21,050	21,050	21,800	20,300	20,300	21,000	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100	20,100
50	18,700	20,900	18,400	18,400	18,400	19,200	17,700	17,700	18,400	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500	17,500
60	14,500	16,700	14,200	14,200	14,200	15,000	13,500	13,500	14,200	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300	13,300
70	11,500	13,700	11,200	11,200	11,200	12,000	10,500	10,500	11,200	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300	10,300
80	9,225	10,425	9,025	9,025	9,025	9,825	8,325	8,325	9,025	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125	8,125
90	7,400	8,600	7,200	7,200	7,200	7,925	6,425	6,425	7,125	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225	6,225
100	5,850	7,050	5,650	5,650	5,650	6,350	4,850	4,850	5,550	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650

WITHOUT OUTRIGGERS

For all operating conditions and instructions refer to notes under main rating plate 32/45 and 32/46.

Maximum Counterweight of 62,000 lbs.
Ratings Over Side and Rear — Outriggers Fully Extended
RATED CRANE LOADS IN POUNDS — MAIN BOOM (Drawing 32J46)

Oper. Rad. Ft.	40 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	50 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	60 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	70 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	80 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	90 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	100 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	110 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	120 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	130 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	140 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	150 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.
12 82 48'-2"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"	280000 81 58'-0"
15 78 47'-5"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"	221000 78 57'-6"
20 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"	174300 71 46'-1"
25 63 43'-10"	130000 66 54'-4"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"	129700 70 65'-1"
30 55 40'-11"	105200 60 52'-0"	104900 65 63'-1"	104600 69 74'-3"	104300 71 84'-3"	104000 73 94'-3"	103700 75 104'-3"	103400 77 115'-3"	103100 78 126'-0"	102800 79 137'-0"	102500 80 148'-0"	102200 81 159'-0"	101900 82 170'-0"
35 45 36'-4"	85000 53 48'-8"	84200 58 60'-1"	83900 62 71'-3"	83600 66 82'-5"	83300 70 93'-7"	83000 74 104'-9"	82700 78 116'-1"	82400 81 127'-3"	82100 84 138'-5"	81800 87 149'-7"	81500 90 160'-9"	81200 93 172'-1"
40 34 30'-3"	74900 45 44'-0"	74600 50 55'-2"	74300 54 66'-4"	74000 58 77'-6"	73700 62 88'-8"	73400 66 100'-1"	73100 70 111'-3"	72800 73 122'-5"	72500 76 133'-7"	72200 79 144'-9"	71900 82 156'-1"	71600 85 167'-3"
45 24 28'-8"	63700 36 37'-10"	63700 40 47'-1"	63400 44 58'-3"	63100 48 69'-5"	62800 52 80'-7"	62500 56 91'-9"	62200 60 103'-1"	61900 63 114'-3"	61600 66 125'-5"	61300 69 136'-7"	61000 72 147'-9"	60700 75 159'-1"
50 16 24'-8"	55050 40 47'-1"	54750 44 58'-3"	54450 48 69'-5"	54150 52 80'-7"	53850 56 91'-9"	53550 60 103'-1"	53250 63 114'-3"	52950 66 125'-5"	52650 69 136'-7"	52350 72 147'-9"	52050 75 159'-1"	51750 78 170'-3"
60 6 6'-0"	42750 32 32'-2"	42500 36 43'-4"	42250 40 54'-6"	42000 44 65'-8"	41750 48 77'-0"	41500 52 88'-2"	41250 56 99'-4"	41000 59 110'-6"	40750 62 121'-8"	40500 65 133'-0"	40250 68 144'-2"	40000 71 155'-4"
70 0 0'-0"	35200 25 25'-0"	34900 29 36'-2"	34600 33 47'-4"	34300 37 58'-6"	34000 41 69'-8"	33700 45 81'-0"	33400 48 92'-2"	33100 51 103'-4"	32800 54 114'-6"	32500 57 125'-8"	32200 60 137'-0"	31900 63 148'-2"
80 0 0'-0"	29550 21 21'-0"	29350 25 32'-2"	29150 29 43'-4"	28950 33 54'-6"	28750 37 65'-8"	28550 41 77'-0"	28350 45 88'-2"	28150 48 99'-4"	27950 51 110'-6"	27750 54 121'-8"	27550 57 133'-0"	27350 60 144'-2"
90 0 0'-0"	24500 17 17'-0"	24300 21 28'-2"	24100 25 39'-4"	23900 29 50'-6"	23700 33 61'-8"	23500 37 73'-0"	23300 41 84'-2"	23100 44 95'-4"	22900 47 106'-6"	22700 50 117'-8"	22500 53 129'-0"	22300 56 140'-2"
100 0 0'-0"	19400 13 13'-0"	19200 17 24'-2"	19000 21 35'-4"	18800 25 46'-6"	18600 29 57'-8"	18400 33 69'-0"	18200 37 80'-2"	18000 40 91'-4"	17800 43 102'-6"	17600 46 113'-8"	17400 49 125'-0"	17200 52 136'-2"
110 0 0'-0"	16900 11 11'-0"	16700 15 22'-2"	16500 19 33'-4"	16300 23 44'-6"	16100 27 55'-8"	15900 31 67'-0"	15700 35 78'-2"	15500 38 89'-4"	15300 41 100'-6"	15100 44 111'-8"	14900 47 123'-0"	14700 50 134'-2"
120 0 0'-0"	14800 9 9'-0"	14600 13 20'-2"	14400 17 31'-4"	14200 21 42'-6"	14000 25 53'-8"	13800 29 65'-0"	13600 33 76'-2"	13400 36 87'-4"	13200 39 98'-6"	13000 42 109'-8"	12800 45 121'-0"	12600 48 132'-2"
130 0 0'-0"	13100 7 7'-0"	12900 11 18'-2"	12700 15 29'-4"	12500 19 40'-6"	12300 23 51'-8"	12100 27 63'-0"	11900 31 74'-2"	11700 34 85'-4"	11500 37 96'-6"	11300 40 107'-8"	11100 43 119'-0"	10900 46 130'-2"
140 0 0'-0"	11400 5 5'-0"	11200 9 16'-2"	11000 13 27'-4"	10800 17 38'-6"	10600 21 49'-8"	10400 25 61'-0"	10200 29 72'-2"	10000 32 83'-4"	9800 35 94'-6"	9600 38 105'-8"	9400 41 117'-0"	9200 44 128'-2"
150 0 0'-0"	9800 4 4'-0"	9600 8 17'-2"	9400 12 28'-4"	9200 16 39'-6"	9000 20 50'-8"	8800 24 62'-0"	8600 28 73'-2"	8400 31 84'-4"	8200 34 95'-6"	8000 37 106'-8"	7800 40 118'-0"	7600 43 129'-2"

WITH OUTRIGGERS

Oper. Rad. Ft.	160 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	170 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	180 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	190 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	200 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	210 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	220 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	230 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	240 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	250 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	260 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.	270 Ft. Boom Boom Rating Pt. El.
40 77 164'-7"	71300 78 174'-11"	71000 78 174'-11"	70700 78 174'-11"	70400 78 174'-11"	70100 78 174'-11"	69800 78 174'-11"	69500 78 174'-11"	69200 78 174'-11"	68900 78 174'-11"	68600 78 174'-11"	68300 78 174'-11"	68000 78 174'-11"
45 75 163'-2"	60400 76 173'-8"	60100 76 173'-8"	59800 76 173'-8"	59500 76 173'-8"	59200 76 173'-8"	58900 76 173'-8"	58600 76 173'-8"	58300 76 173'-8"	58000 76 173'-8"	57700 76 173'-8"	57400 76 173'-8"	57100 76 173'-8"
50 73 161'-8"	51750 74 172'-2"	51450 74 172'-2"	51150 74 172'-2"	50850 74 172'-2"	50550 74 172'-2"	50250 74 172'-2"	49950 74 172'-2"	49650 74 172'-2"	49350 74 172'-2"	49050 74 172'-2"	48750 74 172'-2"	48450 74 172'-2"
60 69 158'-0"	39750 71 169'-4"	39450 71 169'-4"	39150 71 169'-4"	38850 71 169'-4"	38550 71 169'-4"	38250 71 169'-4"	37950 71 169'-4"	37650 71 169'-4"	37350 71 169'-4"	37050 71 169'-4"	36750 71 169'-4"	36450 71 169'-4"
70 66 154'-8"	32500 67 165'-2"	32200 67 165'-2"	31900 67 165'-2"	31600 67 165'-2"	31300 67 165'-2"	31000 67 165'-2"	30700 67 165'-2"	30400 67 165'-2"	30100 67 165'-2"	29800 67 165'-2"	29500 67 165'-2"	29200 67 165'-2"
80 62 150'-1"	26550 64 161'-7"	26250 64 161'-7"	25950 64 161'-7"	25650 64 161'-7"	25350 64 161'-7"	25050 64 161'-7"	24750 64 161'-7"	24450 64 161'-7"	24150 64 161'-7"	23850 64 161'-7"	23550 64 161'-7"	23250 64 161'-7"
90 58 144'-2"	22550 60 155'-10"	22250 60 155'-10"	21950 60 155'-10"	21650 60 155'-10"	21350 60 155'-10"	21050 60 155'-10"	20750 60 155'-10"	20450 60 155'-10"	20150 60 155'-10"	19850 60 155'-10"	19550 60 155'-10"	19250 60 155'-10"
100 53 136'-4"	18200 56 148'-8"	17900 56 148'-8"	17600 56 148'-8"	17300 56 148'-8"	17000 56 148'-8"	16700 56 148'-8"	16400 56 148'-8"	16100 56 148'-8"	15800 56 148'-8"	15500 56 148'-8"	15200 56 148'-8"	14900 56 148'-8"
110 49 129'-4"	15700 54 154'-2"	15400 54 154'-2"	15100 54 154'-2"	14800 54 154'-2"	14500 54 154'-2"	14200 54 154'-2"	13900 54 154'-2"	13600 54 154'-2"	13300 54 154'-2"	13000 54 154'-2"	12700 54 154'-2"	12400 54 154'-2"
120 44 119'-9"	13900 47 133'-0"	13600 47 133'-0"	13300 47 133'-0"	13000 47 133'-0"	12700 47 133'-0"	12400 47 133'-0"	12100 47 133'-0"	11800 47 133'-0"	11500 47 133'-0"	11200 47 133'-0"	10900 47 133'-0"	10600 47 133'-0"
130 38 106'-10"	12200 42 122'-5"	11900 42 122'-5"	11600 42 122'-5"	11300 42 122'-5"	11000 42 122'-5"	10700 42 122'-5"	10400 42 122'-5"	10100 42 122'-5"	9800 42 122'-5"	9500 42 122'-5"	9200 42 122'-5"	8900 42 122'-5"
140 32 93'-2"	10800 37 110'-11"	10500 37 110'-11"	10200 37 110'-11"	9900 37 110'-11"	9600 37 110'-11"	9300 37 110'-11"	9000 37 110'-11"	8700 37 110'-11"	8400 37 110'-11"	8100 37 110'-11"	7800 37 110'-11"	7500 37 110'-11"
150 24 73'-5"	8380 31 96'-1"	8100 31 96'-1"	7820 31 96'-1"	7540 31 96'-1"	7260 31 96'-1"	6980 31 96'-1"	6700 31 96'-1"	6420 31 96'-1"	6140 31 96'-1"	5860 31 96'-1"	5580 31 96'-1"	5300 31 96'-1"
160 13 44'-1"	7500 24 77'-7"	7200 24 77'-7"	6900 24 77'-7"	6600 24 77'-7"	6300 24 77'-7"	6000 24 77'-7"	5700 24 77'-7"	5400 24 77'-7"	5100 24 77'-7"	4800 24 77'-7"	4500 24 77'-7"	4200 24 77'-7"
170 0 0'-0"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"	6170 23 78'-9"
180 0 0'-0"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"	5500 21 79'-6"
190 0 0'-0"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"	4800 19 79'-6"
200 0 0'-0"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"	4100 17 79'-6"

WITH OUTRIGGERS

Gross crane ratings shown are for units with 21,000 lbs. additional counterweight and do not exceed 85% tipping loads. Ratings are based on outriggers extended to a fulcrum point 10'-10" from center of carrier. Areas on plate marked with "X" are not to be used. Ratings are based on use of 2 sheave point (35 ft. tip section). These ratings reduced by 1000 lbs. when using 5 sheave point. Ratings are contingent upon the machine being equipped with the proper P&H boom. Ratings at radii of 20 ft. or less are based on strength of materials. Booms 230 ft. and over require 2 sheave point (35 ft. tip section).

tip section), boom foot mast, center hitch, minimum of two 50 ft. boom inserts adjacent to tip section and front bumper. Ratings are based on outriggers extended to a fulcrum point 10'-10" from center of carrier. Areas on plate marked with "X" are not to be used. Ratings are based on use of 2 sheave point (35 ft. tip section). These ratings reduced by 1000 lbs. when using 5 sheave point. Ratings are contingent upon the machine being equipped with the proper P&H boom. Ratings at radii of 20 ft. or less are based on strength of materials. Booms 230 ft. and over require 2 sheave point (35 ft. tip section).

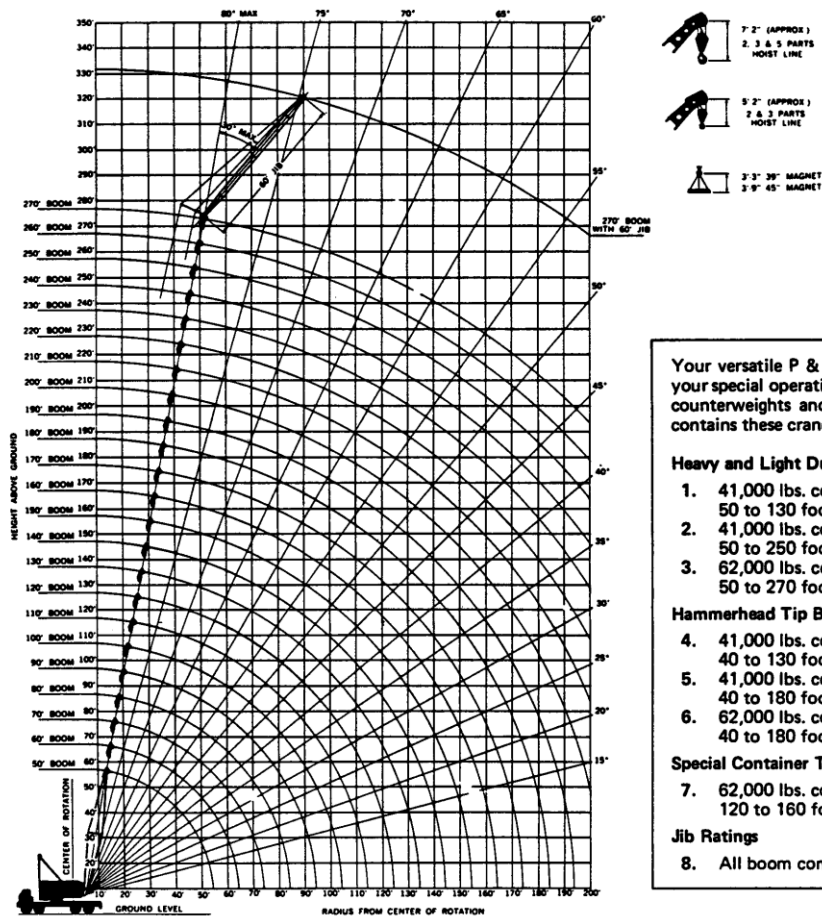
NOTE: Additional 21,000 lbs. counterweight to be installed and used for crane service only and with outriggers fully extended.



P&H

9125-TC

140 TON TRUCK CRANE



Your versatile P & H 9125-TC adapts readily to your special operating needs through a choice of counterweights and boom tips. This brochure contains these crane rating charts:

Heavy and Light Duty Tapered Tip Boom:

1. 41,000 lbs. counterweight - on rubber
50 to 130 foot boom lengths
2. 41,000 lbs. counterweight - on outriggers
50 to 250 foot boom lengths
3. 62,000 lbs. counterweight - on outriggers
50 to 270 foot boom lengths

Hammerhead Tip Boom:

4. 41,000 lbs. counterweight - on rubber
40 to 130 foot boom lengths
5. 41,000 lbs. counterweight - on outriggers
40 to 180 foot boom lengths
6. 62,000 lbs. counterweight - on outriggers
40 to 180 foot boom lengths

Special Container Tip Boom:

7. 62,000 lbs. counterweight - on outriggers
120 to 160 foot boom lengths

Jib Ratings

8. All boom combinations except container

This P & H Model 9125-TC meets the requirements of ANSI B30.5 1968. Boom structure has been tested per SAE J 987. Machine stability has been tested per SAE J 765.

P&H. 9125-TC

the eight charts in this brochure illustrate the range and lifting prowess that has made the 9125-TC the "standard of the industry", the most widely used crane in its class

with 41,000 lbs. counterweight

rated crane loads in pounds — main boom — without outriggers

1	Oper Rad Ft	Angle	50 Ft. Boom		Angle	60 Ft. Boom		Angle	70 Ft. Boom		Angle	80 Ft. Boom		Angle	90 Ft. Boom		Angle	100 Ft. Boom	
			Over Side	Over Rear		Over Side	Over Rear		Over Side	Over Rear		Over Side	Over Rear		Over Side	Over Rear		Over Side	Over Rear
	12	81		75.228															
	15	78		63.984	80		63.234												
	20	72	41.652	50.844	75	40.994	50.156	77	40.643	49.787									
	25	66	33.689	41.876	70	33.068	41.229	73	32.738	40.884	75	32.384	40.516	77	31.763	39.869	78	31.392	39.485
	30	60	28.066	34.300	65	27.471	34.764	69	27.156	34.437	71	26.817	34.085	73	26.222	33.468	75	25.863	33.098
	35	53	23.885	28.100	59	23.309	28.800	64	23.005	28.700	67	22.677	28.500	70	22.102	28.200	72	21.751	27.900
	40	45	20.654	23.700	54	20.094	24.400	59	19.798	24.200	64	19.478	24.000	67	18.918	23.700	69	18.575	23.400
	45	36	18.083	20.200	47	17.535	20.900	55	17.246	20.800	59	16.933	20.600	63	16.385	20.300	66	16.047	20.000
	50	24	15.700	17.600	40	15.451	18.300	49	15.167	18.100	55	14.860	17.900	60	14.321	17.600	63	13.988	17.300
	60				22	12.260	14.300	37	11.985	14.100	46	11.686	13.900	52	11.162	13.600	56	10.836	13.300
	70							20	9.664	11.400	35	9.371	11.100	43	8.858	10.800	49	8.536	10.500
	80										19	7.608	9.100	32	7.103	8.800	41	6.785	8.500
	90													17	5.722	7.250	31	5.407	6.900
	100																17	4.295	5.700

PCSA CLASS 12-570

tapered tip sections

2	Oper Rad Ft	Angle	50 Ft. Boom		Angle	60 Ft. Boom		Angle	70 Ft. Boom		Angle	80 Ft. Boom		Angle	90 Ft. Boom		Angle	100 Ft. Boom		Angle	110 Ft. Boom	
			Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.
	12	81	58.0	280,000																		
	15	78	57.5	210,500	80	67.6	196,000															
	20	72	56.2	165,200	75	66.6	164,900	77	76.8	164,600												
	25	66	54.3	119,600	70	65.1	120,300	73	75.6	120,000	75	85.8	119,700	77	96.3	119,400	78	106.5	119,100			
	30	60	52.0	88,500	65	63.1	89,200	69	74.1	88,900	71	84.2	88,600	73	94.6	88,300	75	104.2	88,000	77	115.7	87,700
	35	53	48.6	69,300	59	60.1	70,000	64	71.6	69,700	67	82.2	69,400	70	93.1	69,100	72	103.8	68,800	74	114.4	68,500
	40	45	44.0	57,000	54	57.1	57,700	59	68.6	57,400	64	80.6	57,100	67	91.5	56,800	69	102.1	56,500	71	112.6	56,200
	45	36	37.0	48,500	47	52.5	49,200	55	66.0	48,900	59	77.2	48,600	63	88.8	48,300	66	100.1	48,000	68	110.6	47,700
	50	24	28.0	41,750	40	48.2	42,450	49	61.4	42,150	55	74.1	41,850	60	86.6	41,550	63	97.7	41,250	65	108.3	40,950
	60				22	30.9	32,900	37	50.6	32,600	46	66.1	32,300	52	79.6	32,000	56	91.5	31,700	60	104.0	31,400
	70							20	33.4	27,000	35	54.4	26,700	43	70.0	26,400	49	84.1	26,100	53	96.4	25,800
	80										19	34.4	22,350	32	58.0	22,050	41	74.1	21,750	47	89.1	21,450
	90													17	35.8	18,650	31	59.9	18,350	39	77.7	18,050
	100																17	37.5	15,800	30	63.4	15,500
	110																			16	38.8	13,400
	120																					
	130																					
	140																					
	150																					
	160																					
	170																					
	180																					
	190																					
	200																					

WARNING: MAXIMUM RATING FOR 35 FT. 3 SHEAVE TIP IS 150,000 LBS.

operating instructions printed below and throughout this brochure are for your safety and will contribute to the long life of your P&H 9125-TC

WARNING: The wind effect on the lifted load can cause the load to swing and rotate. When suspended load will not remain in line with the crane, derate chart 25%. We recommend stopping operation when wind is above 30 m.p.h. and tying off at lowering when wind is above 50 m.p.h. When continued operation in windy conditions is necessary, consult factor for special derated load rating chart.

P & H type 25 wire rope 6 x 25 1/2 W.P.C. preformed extra improved steel wire rope (filler wire)

Maximum approved travel speed with 30,000 pound front bumper counterweight installed is 5 m.p.h. All tires must be evenly inflated to 100 P.S.I. Maximum approved boom length for travel is 130 ft. or 110 ft. boom and 30 ft. jib. Boom and jib must be in raised position to travel with boom attached.

WARNING: When one inch diameter P & H type 11 wire rope (18 x 7 non-rotating preformed steel wire rope fiber core) is used for jib line on rear drum maximum lifted load including hook and swivel must not exceed 22,000 lbs. Non-rotating rope is approved only for single line operation.

This chart does not apply for booms equipped with a main boom or jib rating boom. Refer to applicable chart for ratings.

Operating radius is the horizontal distance from centerline of rotation to a vertical line through the center of gravity of the load.

Ratings shown are only for combination of P & H manufactured under boom, jib and outriggers. Boom backstops are required for all boom lengths. Boom inserts must be arranged as shown in the Boom Make Up Chart. Standard boom hoist reeving is 12 part line. Gantry must be in raised position for all part line. When boom is lowered, main boom required. When boom is equipped with jib, main boom required. When reduced by 1500 lbs. for 20 ft. or 30 ft. jib, 2000 lbs. for 40 ft. jib, 2500 lbs. for 50 ft. jib and 3000 lbs. for 60 ft. jib refer to diagrams for applicable working area.

Ratings shown are based on freely suspended loads and make no allowance for such factors as wind effect on lifted loads, ground conditions, out of level, operating speeds or any other condition that could be detrimental to the safe use of the crane. It is the responsibility of the operator to reduce lifted loads and operating speeds accordingly. Ratings do not exceed 85% of tipping load as determined by SAE J 786. Deduct weight of hook blocks, slings, and accessories from rated load. Load ratings are based on main boom or jib rating boom. Ratings shown are based on 41,000 lbs. counterweight.

MAXIMUM BOOM LENGTH TO LIFT OFF GROUND									
Boom	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS	W/O OUTRIGGERS
Over	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

- tires at 100 p.s.i.

Over	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

WARNING: When operating crane "without outriggers" loads lifted over rear and swung over side, will increase in radius due to tire deflection. This increase in radius must be compensated for by raising boom, or machine may tip over.

WARNING: Welding or other repair to tubular steel booms may weaken the structure. See your P & H dealer for authorized boom repair service. Unauthorized repair will void all warranties.

rated crane loads in pounds — main boom (69" w. x 69" d.) in over side and over rear work areas with outriggers fully extended and set

Over	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

with 62,000 lbs. counterweight

[illegible]

Order No.	50 ft. Room	60 ft. Room	70 ft. Room	80 ft. Room	90 ft. Room	100 ft. Room	110 ft. Room	120 ft. Room	130 ft. Room	140 ft. Room	150 ft. Room	160 ft. Room	170 ft. Room	180 ft. Room	190 ft. Room	200 ft. Room
Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area	Area
sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.	sq. ft.
12	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
13	51	61	71	81	91	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201
14	52	62	72	82	92	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202
15	53	63	73	83	93	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203
16	54	64	74	84	94	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204
17	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205
18	56	66	76	86	96	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206
19	57	67	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207
20	58	68	78	88	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208
21	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209
22	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
23	61	71	81	91	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211
24	62	72	82	92	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212
25	63	73	83	93	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213
26	64	74	84	94	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214
27	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215
28	66	76	86	96	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216
29	67	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217
30	68	78	88	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218
31	69	79	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219
32	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
33	71	81	91	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221
34	72	82	92	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222
35	73	83	93	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223
36	74	84	94	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224
37	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225
38	76	86	96	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226
39	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227
40	78	88	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228
41	79	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229
42	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230
43	81	91	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231
44	82	92	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232
45	83	93	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233
46	84	94	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234
47	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235
48	86	96	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236
49	87	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237
50	88	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238
51	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239
52	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
53	91	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231	241
54	92	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242
55	93	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243
56	94	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244
57	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245
58	96	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246
59	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247
60	98	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238	248
61	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249
62	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
63	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231	241	251
64	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242	252
65	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243	253
66	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244	254
67	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245	255
68	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246	256
69	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247	257
70	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238	248	258
71	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249	259
72	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260
73	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231	241	251	261
74	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242	252	262
75	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243	253	263
76	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244	254	264
77	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245	255	265
78	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246	256	266
79	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247	257	267
80	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238	248	258	268
81	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249	259	269
82	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270
83	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231	241	251	261	271
84	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242	252	262	272
85	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243	253	263	273
86	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244	254	264	274
87	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245	255	265	275
88	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246	256	266	276
89	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247	257	267	277
90	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238	248	258	268	278
91	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249	259	269	279
92	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280
93	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231	241	251	261	271	281
94	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242	252	262	272	282
95	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243	253	263	273	283
96	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244	254	264	274	284
97	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245	255	265	275	285
98	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246	256	266	276	286
99																

Ratings shown are based on standard 41,000 lbs counter.

WARNING: Machine will tip over when upper is revolved over side unless outriggers are fully extended and set.

This chart does not apply for booms equipped with a container tip or hammerhead tip section. Refer to applicable chart for ratings

MAXIMUM BOOM LENGTH TO LIFT OFF GROUND ON OUTRIGGERS ONLY					
Overs	Without Front Bumper Counterweight		With 30 000 lbs Front Bumper Counterweight		
	Boom Only	Boom & Jib	Boom Only	Boom & Jib	Boom & Jib
Side Rear	25 ft Tip Section with 5 Sheaves				
	Side	230	200 & 60	230	200 & 60
	Rear	230	200 & 60	250	250 & 60
Side Rear	35 ft Tip Section with 2 Sheaves				
	Side	240	210 & 60	240	210 & 60
	Rear	240	210 & 60	260	260 & 60

with 15 ft. hammerhead tip section and 41,000 lbs. counterweight

Maximum approved boom length for travel is 130 ft. or 110 ft. boom and 20 ft. jib. All tires must be evenly inflated to 100 P.S.I. Boom must be positioned over rear of carrier. Gantry must be in raised position to travel with boom attached.

WARNING: When operating crane "without outriggers" loads lifted over rear and swung over side, will increase in radius due to tire deflection. This increase in radius must be compensated for by raising boom, or machine may tip over.

rated crane loads in pounds — main boom (69" w. x 69" d.) in over side and over rear work areas with outriggers fully extended and set

Year Built	401+ Rooms	301+ Rooms	201+ Rooms	80+ Rooms	60+ Rooms	40+ Rooms	30+ Rooms	20+ Rooms	10+ Rooms	100+ Rooms	101+ Rooms	120+ Rooms	130+ Rooms	140+ Rooms	150+ Rooms	160+ Rooms	170+ Rooms	180+ Rooms	Room Total
Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.	Area Sq. Ft.
Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit	Rooms Per Unit
11	12,827	48,528	280,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
12	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
13	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
14	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
15	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
16	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
17	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
18	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
19	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
20	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
21	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
22	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
23	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
24	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
25	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
26	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
27	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551
28	20	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521	551

with 15 ft. hammerhead tip section and 62,000 lbs. counterweight

ated crane loads in pounds — main boom (69" w. x 69" d.) in over side and over rear work areas with outriggers fully extended and set

Q-14	Q-15	Q-16	Q-17	Q-18	Q-19	Q-20	Q-21	Q-22	Q-23	Q-24	Q-25	Q-26	Q-27	Q-28	Q-29	Q-30	Q-31	Q-32	Q-33	Q-34	Q-35	Q-36	Q-37	Q-38	Q-39	Q-40	Q-41	Q-42	Q-43	Q-44	Q-45	Q-46	Q-47	Q-48	Q-49	Q-50	Q-51	Q-52	Q-53	Q-54	Q-55	Q-56	Q-57	Q-58	Q-59	Q-60	Q-61	Q-62	Q-63	Q-64	Q-65	Q-66	Q-67	Q-68	Q-69	Q-70	Q-71	Q-72	Q-73	Q-74	Q-75	Q-76	Q-77	Q-78	Q-79	Q-80	Q-81	Q-82	Q-83	Q-84	Q-85	Q-86	Q-87	Q-88	Q-89	Q-90	Q-91	Q-92	Q-93	Q-94	Q-95	Q-96	Q-97	Q-98	Q-99	Q-100	Q-101	Q-102	Q-103	Q-104	Q-105	Q-106	Q-107	Q-108	Q-109	Q-110	Q-111	Q-112	Q-113	Q-114	Q-115	Q-116	Q-117	Q-118	Q-119	Q-120	Q-121	Q-122	Q-123	Q-124	Q-125	Q-126	Q-127	Q-128	Q-129	Q-130	Q-131	Q-132	Q-133	Q-134	Q-135	Q-136	Q-137	Q-138	Q-139	Q-140	Q-141	Q-142	Q-143	Q-144	Q-145	Q-146	Q-147	Q-148	Q-149	Q-150	Q-151	Q-152	Q-153	Q-154	Q-155	Q-156	Q-157	Q-158	Q-159	Q-160	Q-161	Q-162	Q-163	Q-164	Q-165	Q-166	Q-167	Q-168	Q-169	Q-170	Q-171	Q-172	Q-173	Q-174	Q-175	Q-176	Q-177	Q-178	Q-179	Q-180	Q-181	Q-182	Q-183	Q-184	Q-185	Q-186	Q-187	Q-188	Q-189	Q-190	Q-191	Q-192	Q-193	Q-194	Q-195	Q-196	Q-197	Q-198	Q-199	Q-200	Q-201	Q-202	Q-203	Q-204	Q-205	Q-206	Q-207	Q-208	Q-209	Q-210	Q-211	Q-212	Q-213	Q-214	Q-215	Q-216	Q-217	Q-218	Q-219	Q-220	Q-221	Q-222	Q-223	Q-224	Q-225	Q-226	Q-227	Q-228	Q-229	Q-230	Q-231	Q-232	Q-233	Q-234	Q-235	Q-236	Q-237	Q-238	Q-239	Q-240	Q-241	Q-242	Q-243	Q-244	Q-245	Q-246	Q-247	Q-248	Q-249	Q-250	Q-251	Q-252	Q-253	Q-254	Q-255	Q-256	Q-257	Q-258	Q-259	Q-260	Q-261	Q-262	Q-263	Q-264	Q-265	Q-266	Q-267	Q-268	Q-269	Q-270	Q-271	Q-272	Q-273	Q-274	Q-275	Q-276	Q-277	Q-278	Q-279	Q-280	Q-281	Q-282	Q-283	Q-284	Q-285	Q-286	Q-287	Q-288	Q-289	Q-290	Q-291	Q-292	Q-293	Q-294	Q-295	Q-296	Q-297	Q-298	Q-299	Q-300	Q-301	Q-302	Q-303	Q-304	Q-305	Q-306	Q-307	Q-308	Q-309	Q-310	Q-311	Q-312	Q-313	Q-314	Q-315	Q-316	Q-317	Q-318	Q-319	Q-320	Q-321	Q-322	Q-323	Q-324	Q-325	Q-326	Q-327	Q-328	Q-329	Q-330	Q-331	Q-332	Q-333	Q-334	Q-335	Q-336	Q-337	Q-338	Q-339	Q-340	Q-341	Q-342	Q-343	Q-344	Q-345	Q-346	Q-347	Q-348	Q-349	Q-350	Q-351	Q-352	Q-353	Q-354	Q-355	Q-356	Q-357	Q-358	Q-359	Q-360	Q-361	Q-362	Q-363	Q-364	Q-365	Q-366	Q-367	Q-368	Q-369	Q-370	Q-371	Q-372	Q-373	Q-374	Q-375	Q-376	Q-377	Q-378	Q-379	Q-380	Q-381	Q-382	Q-383	Q-384	Q-385	Q-386	Q-387	Q-388	Q-389	Q-390	Q-391	Q-392	Q-393	Q-394	Q-395	Q-396	Q-397	Q-398	Q-399	Q-400	Q-401	Q-402	Q-403	Q-404	Q-405	Q-406	Q-407	Q-408	Q-409	Q-410	Q-411	Q-412	Q-413	Q-414	Q-415	Q-416	Q-417	Q-418	Q-419	Q-420	Q-421	Q-422	Q-423	Q-424	Q-425	Q-426	Q-427	Q-428	Q-429	Q-430	Q-431	Q-432	Q-433	Q-434	Q-435	Q-436	Q-437	Q-438	Q-439	Q-440	Q-441	Q-442	Q-443	Q-444	Q-445	Q-446	Q-447	Q-448	Q-449	Q-450	Q-451	Q-452	Q-453	Q-454	Q-455	Q-456	Q-457	Q-458	Q-459	Q-460	Q-461	Q-462	Q-463	Q-464	Q-465	Q-466	Q-467	Q-468	Q-469	Q-470	Q-471	Q-472	Q-473	Q-474	Q-475	Q-476	Q-477	Q-478	Q-479	Q-480	Q-481	Q-482	Q-483	Q-484	Q-485	Q-486	Q-487	Q-488	Q-489	Q-490	Q-491	Q-492	Q-493	Q-494	Q-495	Q-496	Q-497	Q-498	Q-499	Q-500	Q-501	Q-502	Q-503	Q-504	Q-505	Q-506	Q-507	Q-508	Q-509	Q-510	Q-511	Q-512	Q-513	Q-514	Q-515	Q-516	Q-517	Q-518	Q-519	Q-520	Q-521	Q-522	Q-523	Q-524	Q-525	Q-526	Q-527	Q-528	Q-529	Q-530	Q-531	Q-532	Q-533	Q-534	Q-535	Q-536	Q-537	Q-538	Q-539	Q-540	Q-541	Q-542	Q-543	Q-544	Q-545	Q-546	Q-547	Q-548	Q-549	Q-550	Q-551	Q-552	Q-553	Q-554	Q-555	Q-556	Q-557	Q-558	Q-559	Q-560	Q-561	Q-562	Q-563	Q-564	Q-565	Q-566	Q-567	Q-568	Q-569	Q-570	Q-571	Q-572	Q-573	Q-574	Q-575	Q-576	Q-577	Q-578	Q-579	Q-580	Q-581	Q-582	Q-583	Q-584	Q-585	Q-586	Q-587	Q-588	Q-589	Q-590	Q-591	Q-592	Q-593	Q-594	Q-595	Q-596	Q-597	Q-598	Q-599	Q-600	Q-601	Q-602	Q-603	Q-604	Q-605	Q-606	Q-607	Q-608	Q-609	Q-610	Q-611	Q-612	Q-613	Q-614	Q-615	Q-616	Q-617	Q-618	Q-619	Q-620	Q-621	Q-622	Q-623	Q-624	Q-625	Q-626	Q-627	Q-628	Q-629	Q-630	Q-631	Q-632	Q-633	Q-634	Q-635	Q-636	Q-637	Q-638	Q-639	Q-640	Q-641	Q-642	Q-643	Q-644	Q-645	Q-646	Q-647	Q-648	Q-649	Q-650	Q-651	Q-652	Q-653	Q-654	Q-655	Q-656	Q-657	Q-658	Q-659	Q-660	Q-661	Q-662	Q-663	Q-664	Q-665	Q-666	Q-667	Q-668	Q-669	Q-670	Q-671	Q-672	Q-673	Q-674	Q-675	Q-676	Q-677	Q-678	Q-679	Q-680	Q-681	Q-682	Q-683	Q-684	Q-685	Q-686	Q-687	Q-688	Q-689	Q-690	Q-691	Q-692	Q-693	Q-694	Q-695	Q-696	Q-697	Q-698	Q-699	Q-700	Q-701	Q-702	Q-703	Q-704	Q-705	Q-706	Q-707	Q-708	Q-709	Q-710	Q-711	Q-712	Q-713	Q-714	Q-715	Q-716	Q-717	Q-718	Q-719	Q-720	Q-721	Q-722	Q-723	Q-724	Q-725	Q-726	Q-727	Q-728	Q-729	Q-730	Q-731	Q-732	Q-733	Q-734	Q-735	Q-736	Q-737	Q-738	Q-739	Q-740	Q-741	Q-742	Q-743	Q-744	Q-745	Q-746	Q-747	Q-748	Q-749	Q-750	Q-751	Q-752	Q-753	Q-754	Q-755	Q-756	Q-757	Q-758	Q-759	Q-760	Q-761	Q-762	Q-763	Q-764	Q-765	Q-766	Q-767	Q-768	Q-769	Q-770	Q-771	Q-772	Q-773	Q-774	Q-775	Q-776	Q-777	Q-778	Q-779	Q-780	Q-781	Q-782	Q-783	Q-784	Q-785	Q-786	Q-787	Q-788	Q-789	Q-790	Q-791	Q-792	Q-793	Q-794	Q-795	Q-796	Q-797	Q-798	Q-799	Q-800	Q-801	Q-802	Q-803	Q-804	Q-805	Q-806	Q-807	Q-808	Q-809	Q-810	Q-811	Q-812	Q-813	Q-814	Q-815	Q-816	Q-817	Q-818	Q-819	Q-820	Q-821	Q-822	Q-823	Q-824	Q-825	Q-826	Q-827	Q-828	Q-829	Q-830	Q-831	Q-832	Q-833	Q-834	Q-835	Q-836	Q-837	Q-838	Q-839	Q-840	Q-841	Q-842	Q-843	Q-844	Q-845	Q-846	Q-847	Q-848	Q-849	Q-850	Q-851	Q-852	Q-853	Q-854	Q-855	Q-856	Q-857	Q-858	Q-859	Q-860	Q-861	Q-862	Q-863	Q-864	Q-865	Q-866	Q-867	Q-868	Q-869	Q-870	Q-871	Q-872	Q-873	Q-874	Q-875	Q-876	Q-877	Q-878	Q-879	Q-880	Q-881	Q-882	Q-883	Q-884	Q-885	Q-886	Q-887	Q-888	Q-889	Q-890	Q-891	Q-892	Q-893	Q-894	Q-895	Q-896	Q-897	Q-898	Q-899	Q-900	Q-901	Q-902	Q-903	Q-904	Q-905	Q-906	Q-907	Q-908	Q-909	Q-910	Q-911	Q-912	Q-913	Q-914	Q-915	Q-916	Q-917	Q-918	Q-919	Q-920	Q-921	Q-922	Q-923	Q-924	Q-925	Q-926	Q-927	Q-928	Q-929	Q-930	Q-931	Q-932	Q-933	Q-934	Q-935	Q-936	Q-937	Q-938	Q-939	Q-940	Q-941	Q-942	Q-943	Q-944	Q-945	Q-946	Q-947	Q-948	Q-949	Q-950	Q-951	Q-952	Q-953	Q-954	Q-955	Q-956	Q-957	Q-958	Q-959	Q-960	Q-961	Q-962	Q-963	Q-964	Q-965	Q-966	Q-967	Q-968	Q-969	Q-970	Q-971	Q-972	Q-973	Q-974	Q-975	Q-976	Q-977	Q-978	Q-979	Q-980	Q-981	Q-982	Q-983	Q-984	Q-985	Q-986	Q-987	Q-988	Q-989	Q-990	Q-991	Q-992	Q-993	Q-994	Q-995	Q-996	Q-997	Q-998	Q-999	Q-1000
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

iiib ratings, drum data, reeving and boom make-up

MAXIMUM LIFT 20' W x 20' D MATINGS FOR LIFTING CRANE SERVICE - LBS									
ONE EACH DIAL PER TWIN TOWER WITH 20' LIFT									
TWIN TOWER WITH ONE LIFT AND ONE 20' LIFT									
	20' 1A	30' 1A	40' 1A	50' 1A	60' 1A	70' 1A	80' 1A	90' 1A	100' 1A
20' 1A	20,000	20,000	20,000	18,000	13,000	10,000	8,000	6,500	5,000
30' 1A	20,000	20,000	18,000	15,000	11,000	8,500	6,500	5,000	3,500
40' 1A	20,000	18,000	15,000	13,000	11,000	9,500	7,500	6,000	4,500
50' 1A	20,000	18,000	15,000	13,000	11,000	9,500	7,500	6,000	4,500
60' 1A	20,000	18,000	15,000	13,000	11,000	9,500	7,500	6,000	4,500
70' 1A	20,000	18,000	15,000	13,000	11,000	9,500	7,500	6,000	4,500
80' 1A	20,000	18,000	15,000	13,000	11,000	9,500	7,500	6,000	4,500
90' 1A	20,000	18,000	15,000	13,000	11,000	9,500	7,500	6,000	4,500
100' 1A	20,000	18,000	15,000	13,000	11,000	9,500	7,500	6,000	4,500

Jib Crane Ratings are based on strength of materials. When main boom load rating at operating radius is less than maximum jib ratings, stability governs and the lower value of mib: boom load rating must be used. Jibs are intended to increase lifting height - not operating radius - therefore, maximum jib operating radius is limited to maximum rated radius of boom length on which jib is mounted.

Locate jib backstay anchor at base end of first insert below boom tip

WARNING

MAIN HOIST DRUM RATED LCADS FOR ONE INCH DIA. P & H TYPE 25 WIRE ROPE					
	1	2	3	4	5
Number of Parts of Main Hoist Roping	2	3	4	5	6
Maximum Load (lbs)	27,600	55,400	82,400	111,200	139,600
Number of Parts of Main Hoist Roping	7	8	9	10	
Maximum Load (lbs)	166,800	194,000	222,400	250,000	280,000

DRUM WORKING DATA				
	Feet Drum	Reel Drum	Open Hook (Square Drums)	Third Drum
Pick-Up	31"	21"	15-30"	18-14"
Drum Length	17"	17"	8 1/4" (16")	6"
Road Size	1"	1"	3-4"	3-4"
Capacity in Layer	88 ft.	88 ft.	31 ft.	184 ft.
Capacity Total	See Chart	See Chart	See Chart	See Chart
Line Speed	148 ft/min	168 ft/min	125-64 ft/min	17 ft/min
Line Size	30-800 lbs.	31-600 lbs.	20-500 lbs.	8-1000 lbs.
Max. Line Pull	30-800 lbs.	31-600 lbs.	20-500 lbs.	8-1000 lbs.

RECOMMENDED WIRE ROPE LENGTH FOR DRUMS - FT.					
BOOM LENGTH FT.	MAIN DRUM DIAMETER IN.	MAIN MOIST ROPE LENGTH FT.	BOOM MOIST ROPE LENGTH FT.	MAHJ MOIST ROPE LENGTH FT.	JIB MOIST ROPE LENGTH FT.
45	30	225	150	150	330
50	30	250	167	167	367
55	30	275	183	183	400
60	30	300	200	200	433
65	30	325	217	217	467
70	30	350	233	233	500
75	30	375	250	250	533
80	30	400	267	267	567
85	30	425	283	283	600
90	30	450	300	300	633
95	30	475	317	317	667
100	30	500	333	333	700
105	30	525	350	350	733
110	30	550	367	367	767
115	30	575	383	383	800
120	30	600	400	400	833
125	30	625	417	417	867
130	30	650	433	433	900
135	30	675	450	450	933
140	30	700	467	467	967
145	30	725	483	483	1000
150	30	750	500	500	1033
155	30	775	517	517	1067
160	30	800	533	533	1100
165	30	825	550	550	1133
170	30	850	567	567	1167
175	30	875	583	583	1200
180	30	900	600	600	1233
185	30	925	617	617	1267
190	30	950	633	633	1300
195	30	975	650	650	1333
200	30	1000	667	667	1367
205	30	1025	683	683	1400
210	30	1050	700	700	1433
215	30	1075	717	717	1467
220	30	1100	733	733	1500
225	30	1125	750	750	1533
230	30	1150	767	767	1567
235	30	1175	783	783	1600
240	30	1200	800	800	1633
245	30	1225	817	817	1667
250	30	1250	833	833	1700
255	30	1275	850	850	1733
260	30	1300	867	867	1767
265	30	1325	883	883	1800
270	30	1350	900	900	1833
275	30	1375	917	917	1867
280	30	1400	933	933	1900
285	30	1425	950	950	1933
290	30	1450	967	967	1967
295	30	1475	983	983	2000
300	30	1500	1000	1000	2033
305	30	1525	1017	1017	2067
310	30	1550	1033	1033	2100
315	30	1575	1050	1050	2133
320	30	1600	1067	1067	2167
325	30	1625	1083	1083	2200
330	30	1650	1100	1100	2233
335	30	1675	1117	1117	2267
340	30	1700	1133	1133	2300
345	30	1725	1150	1150	2333
350	30	1750	1167	1167	2367
355	30	1775	1183	1183	2400
360	30	1800	1200	1200	2433
365	30	1825	1217	1217	2467
370	30	1850	1233	1233	2500
375	30	1875	1250	1250	2533
380	30	1900	1267	1267	2567
385	30	1925	1283	1283	2600
390	30	1950	1300	1300	2633
395	30	1975	1317	1317	2667
400	30	2000	1333	1333	2700
405	30	2025	1350	1350	2733
41					

15 FT. HAMMERHEAD TIP BOOM MAKE-UP ARRANGEMENT CHART	
Boom Length Ft.	BOOM ARRANGEMENT
	Base Length = 28 ft. Tip Length = 15 ft. Inverted. A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O-P-Q-R
100	Base - A - B - C - Tip
110	Base - B - C - D - Tip
120	Base - C - D - Tip
130	Base - A - C - D - Tip
140	Base - B - C - D - Tip
150	Base - A - B - C - D - Tip
160	Base - B - C - D - Tip
170	Base - C - D - Tip

WARNING: When assembling boom inserts, do not cantilever more than 60 ft. of inserts past point of pendant rope attachment to boom. Relocate point of attachment to boom as additional inserts are added.

with 25 ft. container tip and 62,000 lbs. counterweight

Ratings apply to full 360° operation when front float is in place, otherwise only over sides and rear.
Use insert arrangement as shown in Boom Make-Up Chart for 25 ft. Tip Section.

Gantry must be in raised position for all operating conditions.
Travel speed in excess of 5 M.P.H. with machine counterweight exceeds tire manufacturers load ratings.

7	Oper Rad. Ft.	Angle	120 Ft. Boom		Angle	130 Ft. Boom		Angle	140 Ft. Boom		Angle	150 Ft. Boom		Angle	160 Ft. Boom	
			Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.		Boom Pt. El.	Rating Lbs.
	30	78	126'-0"	101,800												
	35	75	124'-5"	83,100	77	135'-4"	82,800	77	145'-0"	82,500	78	155'-4"	82,200			
	40	73	123'-4"	71,500	74	133'-8"	71,200	75	143'-11"	70,900	76	154'-2"	70,600	77	164'-7"	70,300
	45	70	121'-4"	60,800	72	132'-6"	60,300	73	142'-5"	60,000	74	152'-10"	59,700	75	163'-2"	59,400
	50	68	120'-0"	51,950	69	130'-1"	51,650	71	141'-1"	51,350	72	151'-5"	51,050	73	161'-8"	50,750
	60	62	114'-8"	39,950	65	126'-6"	39,650	67	136'-8"	39,350	68	147'-9"	39,050	69	158'-0"	38,750
	70	57	109'-3"	32,700	60	121'-3"	32,400	62	132'-3"	32,100	64	143'-7"	31,800	66	154'-8"	31,500
	80	51	101'-10"	27,150	54	114'-0"	26,850	57	126'-1"	26,550	60	138'-8"	26,250	62	150'-1"	25,950
	90	44	93'-4"	22,850	48	106'-8"	22,550	52	120'-0"	22,250	55	131'-6"	21,950	58	144'-2"	21,650
	100	37	80'-8"	18,400	43	97'-2"	18,100	47	111'-0"	17,800	50	124'-10"	17,500	53	136'-3"	17,200
	110	28	66'-2"	16,200	36	84'-11"	15,900	41	100'-4"	15,600	45	114'-6"	15,300	49	129'-4"	15,000
	120	15	41'-2"	14,100	27	67'-5"	13,800	34	88'-3"	13,500	40	104'-11"	13,200	44	119'-9"	12,900
	130				15	41'-9"	12,100	26	70'-9"	11,800	33	90'-2"	11,500	38	106'-0"	11,200
	140							14	43'-9"	10,400	25	73'-3"	10,100	32	93'-2"	9,800
	150									14	44'-5"	7,800	24	73'-5"	7,300	
	160													13	44'-1"	6,500

rated crane loads in pounds — main boom (69" w. x 69" d.) in over side and over rear work areas with outriggers fully extended and set

SINGLE DRUM OPERATION				
Parts of Line	1	2	3	4
Max. Load-Pounds	25,500	51,000	76,500	102,000
P&H TYPE 25 WIRE ROPE 1 INCH DIA.				
DOUBLE DRUM OPERATION				
Parts of Line	1	2	3	4
Max. Load-Pounds	10,500	21,000	31,500	42,000

P&H SINGLE SHEAVE BLOCK	790 LBS.
P&H TWO SHEAVE BLOCK	840 LBS.

WARNING: When machine is equipped with 62,000 lbs. of counterweight, machine will tip over when upper is revolved over the side unless outriggers are fully extended and set.

25 FT. TIP SECTION									
BOOM LENGTH FT.	BOOM MAKE-UP ARRANGEMENT CHART	APPROX. INSERT LENGTHS	BOOM LENGTH	APPROXIMATE MID-POINT CONNECTION UP BOOM FROM BOOM FOOT PIN					
				ADJUST 908T116 MID-POINT ROPE LENGTH Q_1 TO Q_2 PIN, TO					
				*MID-POINT DEFLECTION RANGE (MIN. and MAX.)					
				FT.	FT. IN.	INCHES	BOOM MAKE-UP ARRANGEMENT		
110	Base - A - B - C - Tip	Base 25	210	105	78-2	10.5 to 13.5	Base - A - B - D - C - D - Tip		
120	Base - B - D - Tip		220	115	88-0	10.75 to 14.25	Base - B - B - D - C - D - Tip		
130	Base - C - D - Tip	A-10	230	125	98-0	11.5 to 15.0	Base - D - D - C - D - Tip		
140	Base - A - C - D - Tip	B-20	240	115	88-0	11.75 to 15.5	Base - A - C - D - D - Tip		
150	Base - B - C - D - Tip		250	125	98-0	12.25 to 16.0	Base - B - C - D - D - Tip		
160	Base - A - B - C - D - Tip	C-30							
170	Base - B - D - D - Tip								
180	Base - C - D - D - Tip	D-50							
190	Base - A - C - D - D - Tip								
200	Base - B - C - D - D - Tip	Tip-25							

35 FT. TIP SECTION									
BOOM LENGTH FT.	BOOM MAKE-UP ARRANGEMENT CHART	APPROX. INSERT LENGTHS	BOOM LENGTH	APPROXIMATE MID-POINT CONNECTION UP BOOM FROM BOOM FOOT PIN					
				ADJUST 908T116 MID-POINT ROPE LENGTH Q_1 TO Q_2 PIN, TO					
				*MID-POINT DEFLECTION RANGE (MIN. and MAX.)					
				FT.	FT. IN.	INCHES	BOOM MAKE-UP ARRANGEMENT		
110	Base - A - C - Tip	Base 25	210	105	78-5	10.5 to 13.5	Base - D - C - B - D - Tip		
120	Base - B - C - Tip		220	105	78-5	10.75 to 14.25	Base - A - B - D - C - D - Tip		
130	Base - C - D - Tip	A-10	230	125	98-2	11.5 to 15.0	Base - D - D - B - D - Tip		
140	Base - A - C - D - Tip	B-20	240	125	98-2	11.75 to 15.5	Base - D - C - D - D - Tip		
150	Base - B - C - D - Tip		250	115	88-5	12.25 to 16.0	Base - A - C - D - D - D - Tip		
160	Base - A - B - C - D - Tip	C-30							
170	Base - B - D - D - Tip		260	125	98-2	13.0 to 17.0	Base - B - C - D - D - D - Tip		
180	Base - C - D - D - Tip	D-50	270	135	108-2	13.5 to 17.5	Base - A - B - C - D - D - D - Tip		
190	Base - A - C - D - D - Tip								
200	Base - B - C - D - D - Tip	Tip-35							

HOOK BLOCKS:

Block Capacity	Number Sheaves	Cable Size	Cable to Sheave Ratio	Miller Block Weight	Johnson Block Weight
30,000 lb. (13,608 kg)	1	1"	16.5 to 1	555 lb. (251.4 kg)	580 lb. (263 kg)
30,000 lb. (13,608 kg)	—	—	—	594 lb. (269.1 kg)	740 lb. (335.7 kg)
60,000 lb. (27,180 kg)	1	1"	16.5 to 1	575 lb. (260.5 kg)	606 lb. (274.9 kg)
90,000 lb. (40,770 kg)	1	1"	18.375 to 1	790 lb. (357.9 kg)	911 lb. (413.2 kg)
140,000 lb. (63,420 kg)	2	1"	21.5 to 1	1745 lb. (790.5 kg)	1700 lb. (771 kg)
200,000 lb. (90,600 kg)	3	1"	19.22 to 1	2530 lb. (1146.1 kg)	2644 lb. (1199.3 kg)
250,000 lb. (113,250 kg)	4	1"	21.5 to 1	2938 lb. (1330.9 kg)	3050 lb. (1383.5 kg)
280,000 lb. (126,840 kg)	5	1"	21.5 to 1	3250 lb. (1472.3 kg)	3474 lb. (1575.8 kg)

WEIGHTS:

Total — Complete machine less cable and boom — 158,420 lb.
(71,859 kg)

Carrier — Including turret, hydraulic outriggers, floats, roller circle and standard tires — 66,200 lbs. (30,028 kg).

Upper machine — Including counterweight and gantry.
92,220 lb. (41,831 kg)

Mast — 1989 lb. (901 kg)

Gantry — 3321 lb. (1504 kg)

Upper — Underslung counterweight — 41000 lb. (18573 kg)

Upper — Bustle counterweight — 21000 lbs. (9513 kg)

Boom:

Base — 3114 lb. (1413 kg)

Inserts — 10 ft. — 845 lb. (368 kg)

20 ft. — 1290 lb. (561 kg)

30 ft. — 1660 lb. (722 kg)

50 ft. — 2680 lb. (1166 kg)

Tip — 4124 lb. (1794 kg)

Jib:

Base — 365 lb. (165.3 kg)

Inserts — 10 ft. (3.0 m) — 213 lb. (96.5 kg)

20 ft. (6.1 m) — 373 lb. (169 kg)

30 ft. (9.1 m) — 515 lb. (233.3 kg)

Tip — 510 lb. (231 kg)

PERFORMANCE:**(Based on Cummins NTC(A)-350 Engine)**

ON HIGHWAY: 15 forward speeds, 3 reverse speeds. Performance in highest and lowest gear based on engine @ full load RPM and 120,000# (54432 kg) GVW (class I, good surface road). (Rockwell Axles). Lowest Gear: 3.8 MPH (6.1 km/h) to 21.8 percent grade. Highest Gear: 41.3 MPH (66.5 km/h) to 0.6 percent grade.

OFF HIGHWAY: 5 forward speeds, 1 reverse speed. Performance in lowest gear ratio based on engine @ max. torque RPM and 120,000# (54432 kg) GVW (class II road). (Rockwell Axles). 1.2 MPH (1.7 FPS) (1.9 km/h) to 30.0 percent grade.

ANEXO C

PROCEDIMIENTO PARA LA REPARACIÓN DE LA PLUMA DE GRÚA P&H

MODELO 9125TC AÑO 1974 NL 2204

En este anexo se presenta el proceso de reparación de la Grúa P&H MODELO 9125TC, según Competencia Menor N° CME-0243-2012-OTL/PETROPERU (N°. INTERNO CME-0600266-2012-MTNT/OTL).

3

PROCEDIMIENTO PARA LA REPARACIÓN DE PLUMA DE GRUA **GRUA P&H MODELO 9125 TC AÑO 1974 NL 2204**

ALCANCE

Estas instrucciones son de aplicación para la reparación los componentes estructurales de la pluma, extremos de pluma, insertos, postes y secciones de la Mástil o Pluma de la grúa, deben ser efectuadas por soldadores homologados y certificados por una entidad autorizada.

MATERIAL DE LA PLUMA

Los materiales utilizados en la construcción de plumas son como siguen:

- **Largueros tubulares (referencia P&H 281);** resistencia mínima a la tracción 100,000 psi, tipo T1 o Strolloy C.
- **Algunos largueros principales tipo ángulo (referidos a la P&H 106);** ASTM A242, resistencia mínima a la tracción 50,000 psi.
- **Otros largueros principales tipo ángulo (referida a la P&H 151)** resistencia mínima a la tracción 70,000 psi.
- **Tirante del extremo de la estructura (referencia P&H 280),** tubería estructural soldada, arriostres tubulares, resistencia a la tracción mínima 55,000 psi.
- **El recubrimiento de la base y el extremo de la pluma (referencia P&H 106A),** acero aleado de 50,000 psi.

MATERIAL DE LA SOLDADURA

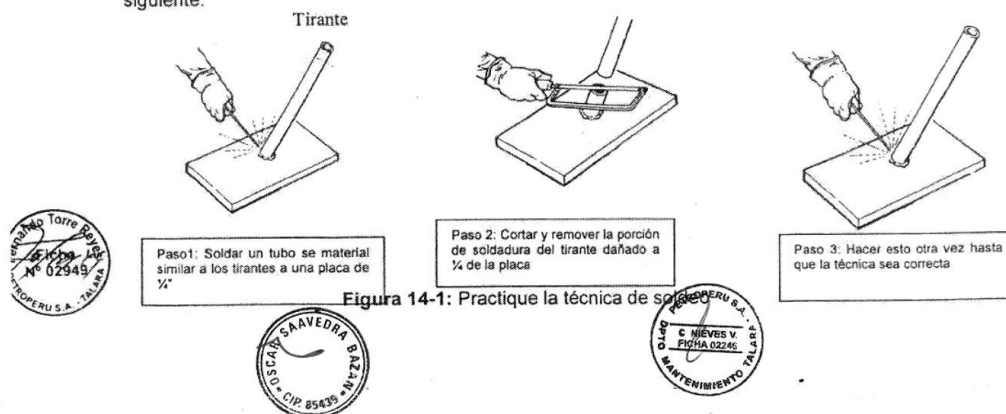
Electrodos de bajo hidrogeno, seco y alta calidad, tipo AWS-E-7018 de 3/32" o 1/8" de diámetro.

Usar electrodos mayores a 1/8" de diámetro; debido a la dificultad de unir un tubo de pared delgada u otro de pared gruesa. Los electrodos son suministrados en envases cerrados herméticamente de 10 libras, mantenerse en las condición "como fue manufacturado" hasta ser utilizado. Una vez abierto un envase mantener los electrodos en horno a aprox. 250 °F hasta ser usados. No exponerlos a la atmósfera por más de 2 horas. Utilizar corriente continua (D.C), polaridad invertida. La capacidad mínima del rectificador de D.C. o generador debe ser de 250 Amperios en 40 Voltios.

CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL SOLDADOR

Las secciones de la pluma de grúa móvil son construidas de aleación especial y aceros sometidos a tratamiento térmico que requieren un exacto ensamble y destreza en el soldeo. Sólo soldadores experimentados y calificados puede reparar las plumas tubulares, los mismos que deben calificarse con el procedimiento incluido en la página final de este procedimiento. Debe practicarse el soldeo de los tubos antes de efectuarlo en la pluma; simulando las condiciones del soldeo y el ajuste convenientemente de la maquina. Utilizar plancha de 1/4" como material base. Ver la Figura 14-1

Es necesario cuidado extremo y un alto grado de habilidad para producir la junta soldada que unen los largueros o miembro principales (mas gruesos) y los tirantes o arriostres de pared delgada de resistencia media. El retiro de los tirantes dañados de la sección de la pluma, debe efectuarse con el procedimiento siguiente:



4

CRITERIOS PARA DETERMINAR LA REPARACIÓN

Para asegurar la integridad estructural de las secciones de la pluma durante la reparación, la esquina principal de los miembros estructurales (se refiere a la estructura principal) deben tener un remanente de desalineamiento menor a 1/8 pulgadas sobre la longitud total de la sección, o 1/16 pulgadas entre dos puntos del tramo, se mide con un cordel tirante o una regla recta. Ver Figura 14-2.

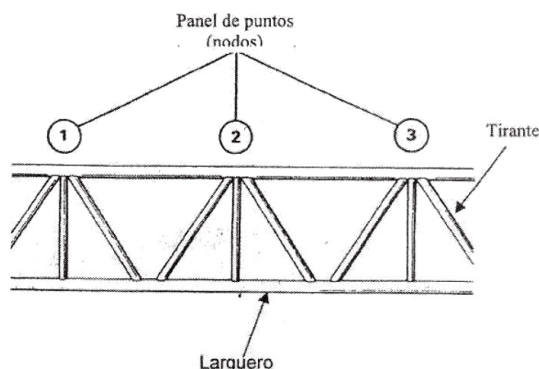


Figura 14-2 : Panel de puntos

Los elementos estructurales principales, las diagonales y los miembros verticales (listones) de la sección de la pluma de grúa deben ser rectos o tener un alineamiento menor a 1/16 pulgada entre largueros. Esta tolerancia debe ser verificada en dos direcciones, cada 90 grados (vertical y horizontal).

NOTA

Los miembros principales de la estructura no se reparan. Cuando uno de los larguero haya sido dañado visiblemente, debe reemplazarse la sección entera de la pluma.

Analizar las verdaderas causas de los des-alineamiento en las largueros principales que contribuyen a la falla de la sección del la pluma.

Las dobladuras ligeras de los tirantes deben enderezarse con sumo cuidado para evitar el desalineamiento de la pluma y/o abolladuras, doblado o daño grave. Si un tirante no puede enderezarse con una deflexión menor a 1/16", debe ser reemplazado.

Los cuerpos o secciones de la grúa deben identificarse mediante una placa a fin de individualizarla y llevar un control de las reparaciones efectuadas.

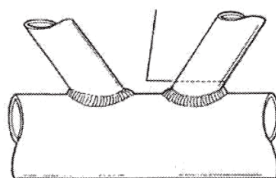
PROCEDIMIENTO DE REPARACION DE TIRANTES TUBULARES DE LA PLUMA

Una vez realizada la inspección completa, e identificados los tirantes que necesitan ser reemplazados, proceder de la forma siguiente:

1. En lo posible, reemplazar un tirante a la vez y completar su reparación antes retirar otro, a fin de mantener la alineación original del larguero. Si el daño es considerable y más de un tirante debe ser reemplazado al mismo tiempo, extremar el cuidado a fin de que el larguero principal mantenga su alineación tanto verticalmente como horizontalmente durante el reemplazo. Todos los tirantes dañados deben ser reemplazados con tuberías de: material y propiedades equivalentes, en tamaño y espesor de pared.
2. Los tirantes tubulares a reemplazar deben cortarse en frío, de preferencia con una sierra de metal, encima del cordón de soldadura que conecta al larguero principal, dejando la soldadura original del larguero. Amolar o limar el material restante de soldadura hasta dejarlo al ras. Extremar el cuidado para no cortar o no dañar de alguna manera, el larguero principal. Ver la Figura 14-4.



5



Usar electrodo de carbón, esmeril o sierra para cortar el tirante lejos del cordón de soldadura, a $\frac{1}{4}$ de pulgada por encima.

Figura 14-4 : Cortar la parte dañada del tirante tubular lejos de la soldadura

Los tirantes más gruesos pueden ser quitados de la pluma cuidadosamente usando soplete de oxicorte, cortando ligeramente por encima del filete de la soldadura al que está conectado. Extremar el cuidado para no cortar o no dañar de alguna manera, el larguero principal.

3. Retire el material restante mediante esmerilado en paralelo al larguero, para aminorar la posibilidad de dañar el larguero. Vea Figura 14-5.

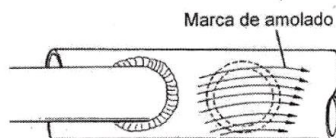


Figura 14-5: Retirar sobrante de material

NOTA

En la figura 14-4, por la ubicación del tirante a retirar, se observa que existe dificultad para el esmerilado del sobrante de la soldadura, en esos casos utilizar una lima; limando en forma longitudinal al larguero. Si no existe interferencia con ningún otro miembro debe utilizarse esmeril con disco de grano fino. Observar la dirección de las marcas del esmeril en la figura 14-5.

NOTA

Se requiere que el larguero quede con su superficie libre y lisa antes de reponer el tirante en el mismo lugar. Utilice tela de esmeril grano fino, para dar brillo al larguero después de amolar o limar el tirante viejo y retirar el material de soldadura.

4. Cuando se reemplace gran cantidad de tirantes, cortarlos a la longitud apropiada, con $\frac{1}{2}$ pulgada mas larga de lo realmente requerido, dejando material suficiente para esmerilar y limar. Vea Figura 14-6.

- A) Obtener la longitud del tirante alineando otro tirante ileso de la misma longitud.
- B) Corte en los puntos y en el ángulo mostrado en la Figura 14-6.

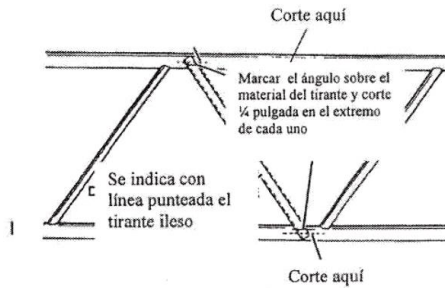


Figura 14-6.

5. Preparar los extremos de los tirantes a reemplazar según las indicaciones de la Figura 14-7. Ajustar mediante esmerilado el contorno del extremo del tirante nuevo, de modo que quede $1/16"$ (0.060 pulgadas) por todos los lados. Después del empalme ajustar lo necesario colocando



6

cuidadosamente el tirante en su ubicación. Vea la figura 14-8. Esta unión es muy importante para evitar depósitos excesivos de soldadura en la raíz, debido a que el calor excesivo pueda debilitar sustancialmente el empalme y teniendo como resultado deformaciones indeseable y fatiga. El tamaño de la soldadura requerida para unir, los tirantes a los largueros principales sin afectar otros empalmes, puede determinarse observando las soldaduras anteriores; generalmente son de $1/8"$ a $3/16"$.

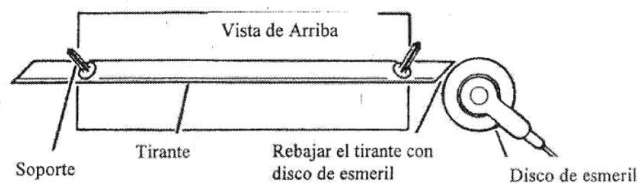
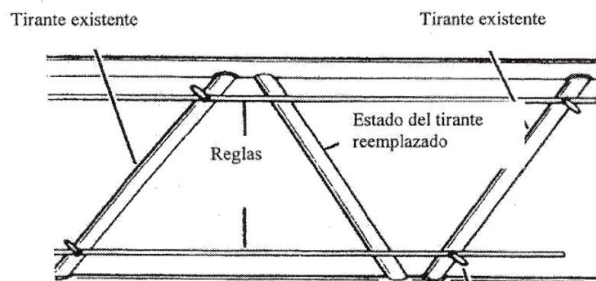


Figura 14-7 : Rebajar el tirante con disco de esmeril

NOTA

Es muy importante que las líneas de eje en cada extremo del tirante reemplazado se encuentren en el mismo plano, para asegurar un buen ajuste entre ambos largueros

6. Los tirantes nuevos deben alinearse con los tirantes adyacentes. Esta alineación se consigue colocando dos reglas sobre los tirantes, uno a cada lado del tirante a reemplazar. Sujete las reglas firmemente contra los tirantes existentes, llevar el tirante de reemplazo frente a los bordes rectos y sostener en esta posición mientras es realizada la soldadura. Ver Figura 14-8.



Soporte
Figura 14-8 : Alinear el tirante reemplazado

Toda soldadura debe ser hecha en el piso en posición plana. La sección de la pluma debe ser rodada o girada para permitir que la soldadura sea hecha en esta posición.

El calentamiento de la soldadura debe ser tan bajo como sea posible y en dos tiempos. Complete la otra mitad de la soldadura después que se halla enfriado a 70° F o un período de tiempo prudencial.

La soldadura debe ser realizarse entre 70 °F y 400 °F de temperatura. Ninguna soldadura debe realizarse por debajo de 70°F. Lleve la sección de la estructura de la pluma a un lugar donde puede ser calentada a esta temperatura en caso sea necesario. El material puede ser precalentado a un máximo de 100°F. El calor debe aplicarse muy cuidadosamente llevando el material dentro del rango de temperatura recomendada.

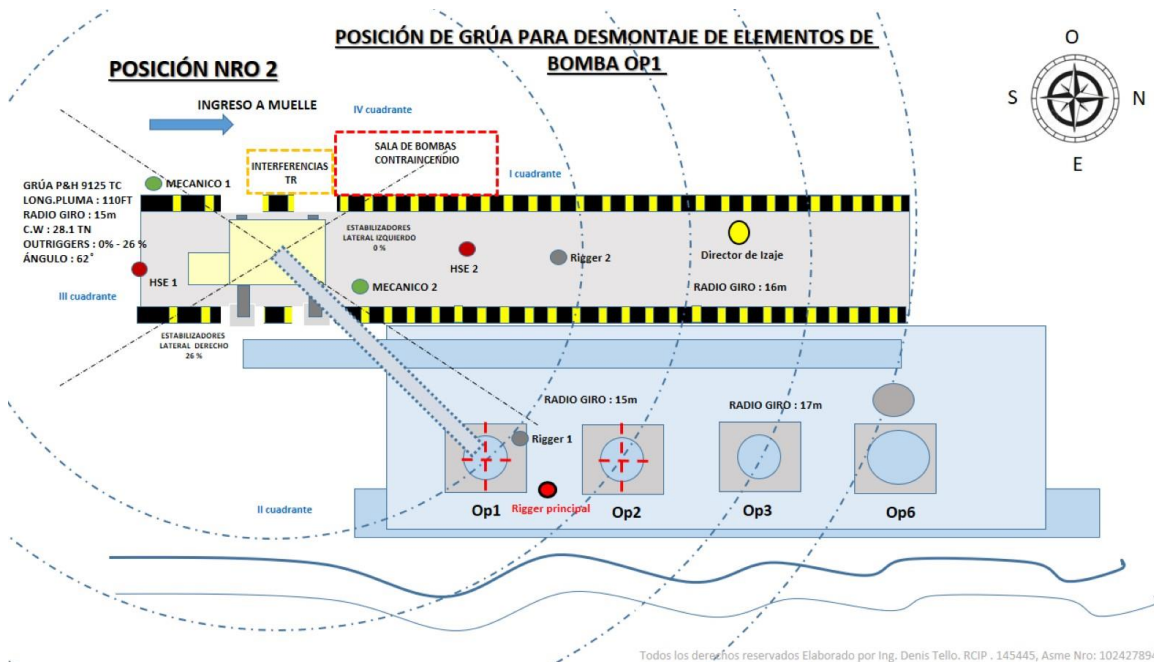
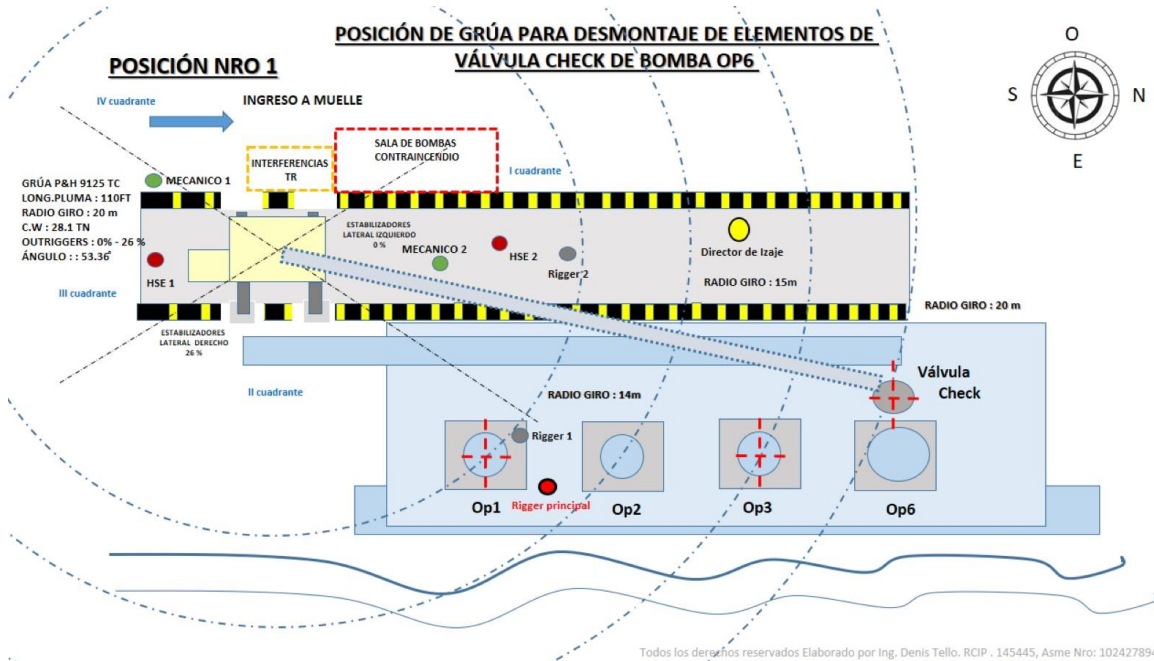
Ninguna soldadura debe ser hecha en lluvia, nieve u otras condiciones climáticas en las que la soldadura puede ser enfriada muy rápidamente. Si es necesario realizar la soldadura en el exterior utilice cortavientos, lona u otro medio para protegerse el área de reparación.



ANEXO D

PLAN DE IZAMIENTO

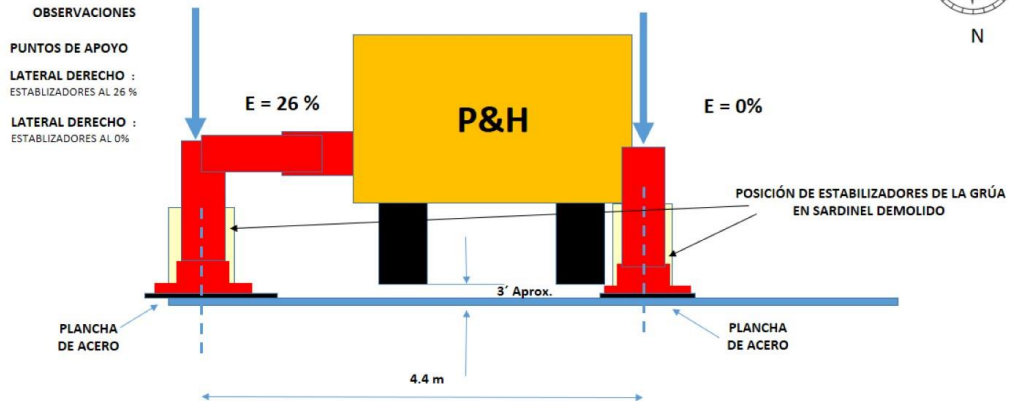
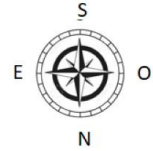
En este anexo se presenta el plan de izamiento de montaje y desmontaje de bombas con la Grúa P&H 9125TC con prueba de carga.



ESTABILIZACIÓN

CONDICIONES REALES

MEMORIA DE CÁLCULO



IMPORTANTE

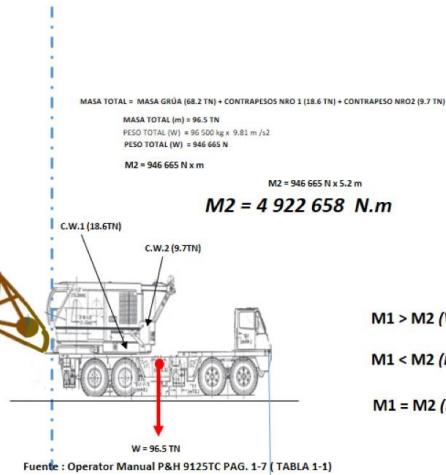
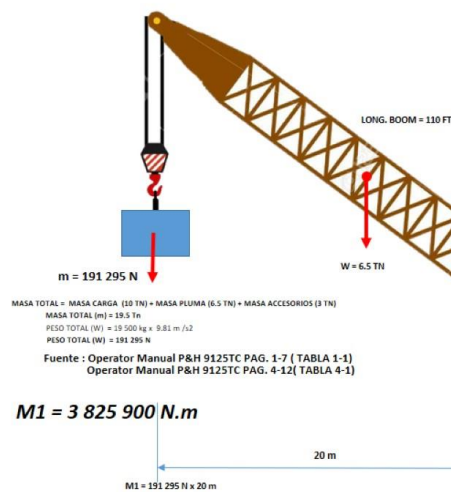
SE COLOCARÁ PLANCHA DE ACERO DE 3/8 APROX DE ESPESOR (A) . PARA ASEGURAR DISTRIBUCIÓN DE CARGAS Y ESFUERZO PUNTUAL EN LOS APOYOS DE GRUA EN AMBAS LADOS, ADÉMÁS;

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP , 145445, Asme Nro: 102427894

CALCULO DE MOMENTOS

ESTABILIZACIÓN

PRUEBA DE CARGA 10 TN



M1 > M2 (Volcamiento)

M1 < M2 (Estabilidad)

M1 = M2 (Equilibrio)

*Este punto se da en condiciones óptimas de operación y de estabilidad y se validan la tabla de cargas, evitando caer en una falla estructural.

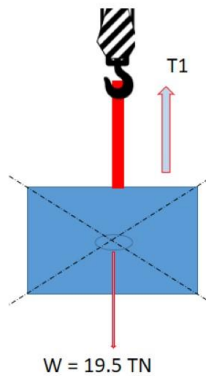
** El equilibrio se da en condiciones óptimas de estabilidad, condiciones de viento ideales, y en equilibrio con la carga que se va izar.

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP , 145445, Asme Nro: 102427894

CÁLCULO DE COMPORTAMIENTO ESTÁTICO Y DINÁMICO DE CARGA SOBRE LA GRÚA

PARA CARGA 10 TN

Diagrama de Cuerpo Libre



CARGAS ESTÁTICAS :

$$T1 = 19\,500 \text{ KG (masa)}$$

$$T1 = 19\,500 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$T1 = 191\,295 \text{ N (CARGA ESTÁTICA)}$$

SE ASUME :

$$\sum Fy = 0$$

$$\sum Fx = 0$$

CARGAS DINÁMICAS:

Fuerzas Dinámicas Eje "y"

- La Velocidad de desmontaje y montaje de precisión asumida es de : 5cm/s. de manera precisa y sincronizada.
- Lapso de tiempo de análisis es de = 0.3 s

Entonces :

$$a = \frac{V}{t} \Rightarrow a = \frac{0.05 \text{ m/s}}{0.3 \text{ s}} \Rightarrow a = 0.16 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ahora :

$$\sum Fy = m \cdot a \Rightarrow \sum Fy = 19\,500 \text{ kg} \times 0.16 \text{ m/s}^2$$

Reemplazando :

$$\sum Fy = 3\,120 \text{ Newton}$$

$$\sum Fy = T1 - W \Rightarrow 3\,120 \text{ N} = T1 - 19\,500 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \Rightarrow T1 = 194\,415 \text{ N (CARGA DINÁMICA)}$$

$$T1 = 191\,295 \text{ Newton (CARGA ESTÁTICA)} \Rightarrow T1 = 19\,500 \text{ Kg.f}$$

$$T1 = 194\,415 \text{ Newton (CARGA DINÁMICA)} \Rightarrow T2 = 19\,818 \text{ kg.f}$$

**318 Kg.f
Diferencia**

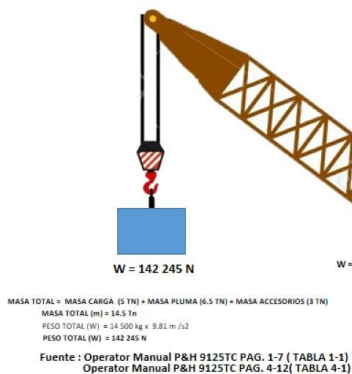
¡IMPORTANTE!

La Grúa puede presentar Tirones
De 318 Kg según la aceleración propuesta de análisis.

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894

CALCULO DE MOMENTOS

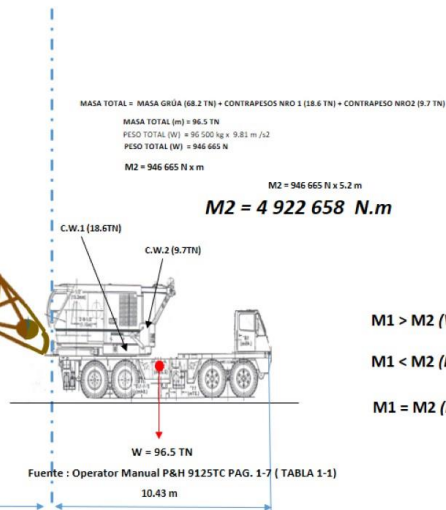
PRUEBA DE CARGA 5 TN



$$M1 = 2\,844\,900 \text{ N.m}$$

$$M1 = 142\,245 \text{ N} \times 20 \text{ m}$$

ESTABILIZACIÓN



M1 > M2 (Volcamiento)

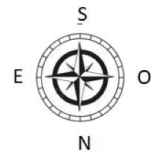
M1 < M2 (Estabilidad) *

M1 = M2 (Equilibrio)**

*Este punto se da en condiciones óptimas de operación y de estabilidad y se validan la tabla de cargas, evitando caer en una falla estructural.

** El equilibrio se da en condiciones óptimas de estabilidad, condiciones de viento ideales, y en equilibrio con la carga que se va izar.

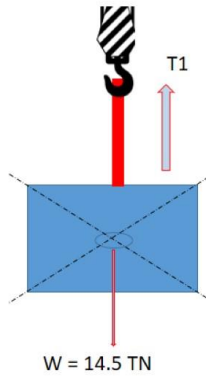
Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894



CÁLCULO DE COMPORTAMIENTO ESTÁTICO Y DINÁMICO DE CARGA SOBRE LA GRÚA

PARA CARGA 5 TN

Diagrama de Cuerpo Libre



CARGAS ESTÁTICAS :

$$T1 = 14\,500 \text{ KG (masa)}$$

$$T1 = 14\,500 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}$$

$$T1 = 142\,245 \text{ N (CARGA ESTÁTICA)}$$

SE ASUME :

$$\sum Fy = 0$$

$$\sum Fx = 0$$

CARGAS DINÁMICAS:

Fuerzas Dinámicas Eje "y"

- La Velocidad de desmontaje y montaje de precisión asumida es de : 5cm/s. de manera precisa y sincronizada.
- Lapso de tiempo de análisis es de = 0.3 s

Entonces :

$$a = \frac{V}{t}$$

$$a = \frac{0.05 \text{ m/s}}{0.3 \text{ s}}$$

$$a = 0.16 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ahora :

$$\sum Fy = m \cdot a$$

$$\sum Fy = 14\,500 \text{ kg} \times 0.16 \text{ m/s}^2$$

Reemplazando :

$$\sum Fy = 2\,320 \text{ Newton}$$

$$\sum Fy = T1 - W$$

$$2\,320 \text{ N} = T1 - 14\,500 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}$$

$$T1 = 144\,565 \text{ N (CARGA DINÁMICA)}$$

$$T1 = 142\,245 \text{ Newton (CARGA ESTÁTICA)} \rightarrow T1 = 14\,500 \text{ Kg.f}$$

$$T1 = 144\,565 \text{ Newton (CARGA DINÁMICA)} \rightarrow T2 = 14\,736.49 \text{ kg.f}$$

**236.4 Kg.f
Diferencia**

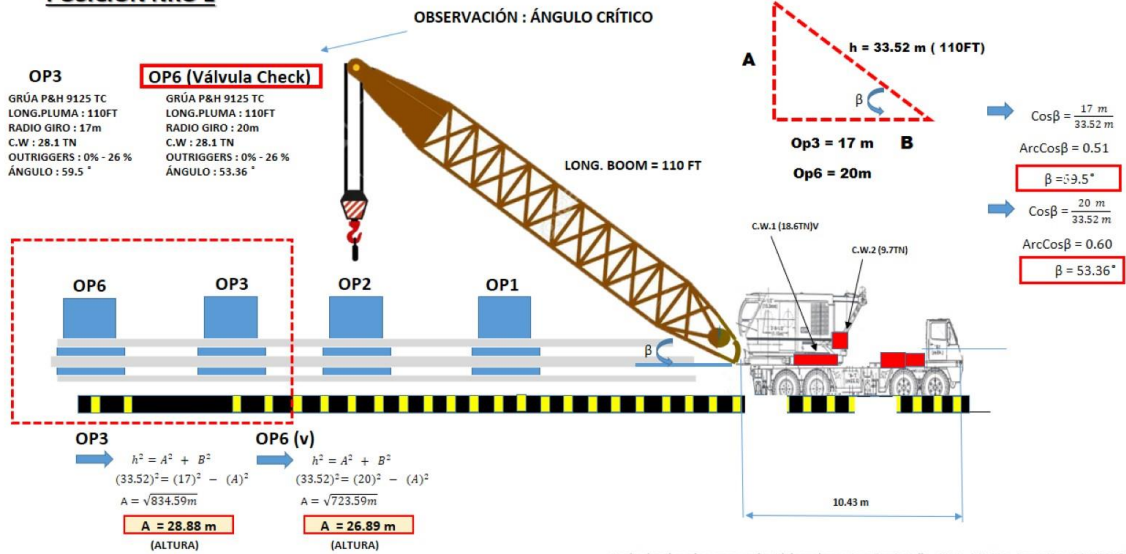
¡IMPORTANTE!

La Grúa puede presentar Tirones
De 236.4 Kg según la aceleración propuesta de análisis.

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894

PARÁMETROS DE IZAJE

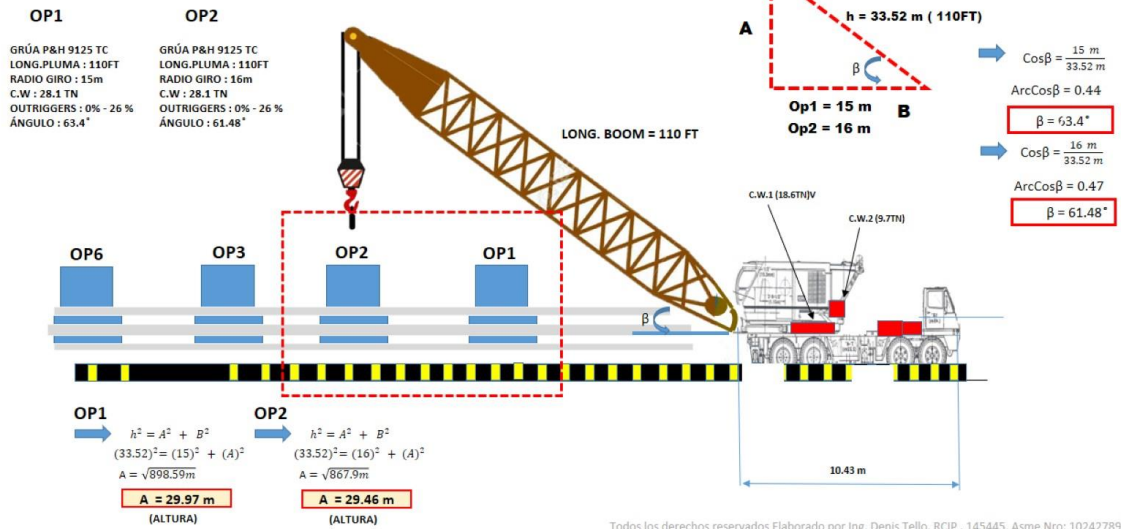
POSICIÓN NRO 1



Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894

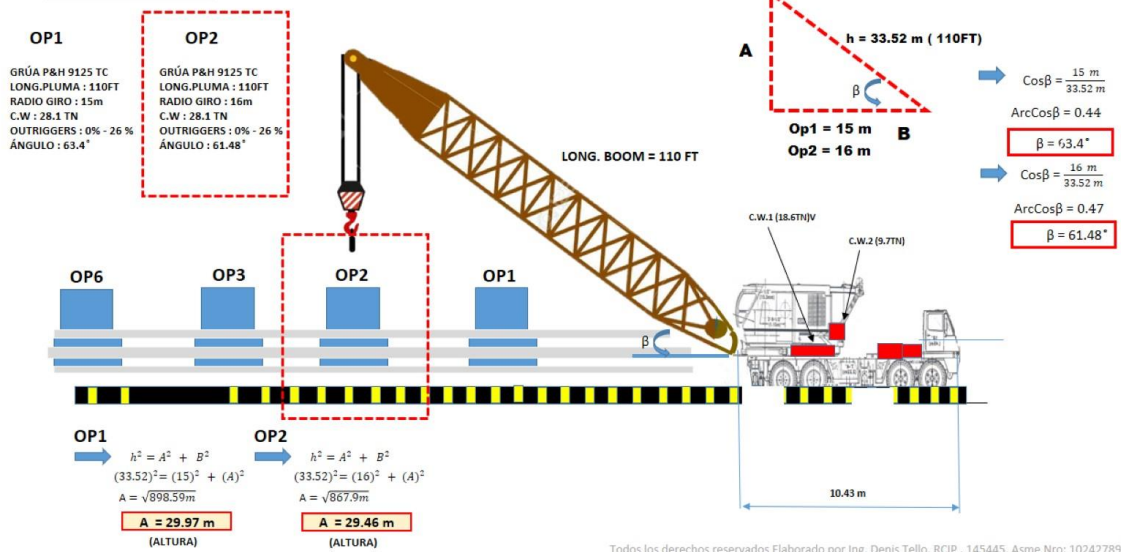
PARÁMETROS DE IZAJE

POSICIÓN NRO 2

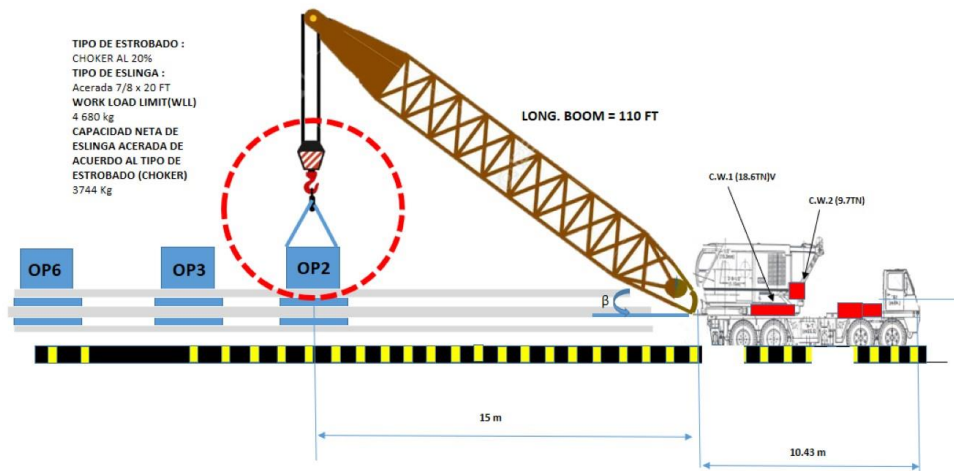
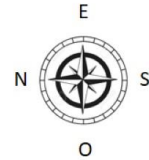


PARÁMETROS DE IZAJE

POSICIÓN NRO 3



ESTROBAMIENTO DE CARGA MEMORIA DE CÁLCULO



Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894

CÁLCULO DE TENSIÓN DE CADA ESLINGA

TENSIÓN E 1 = 3 TN (aprox.)
(PESO DE BOMBA ASUMIDO, NO SE TIENE DATO
EXACTO, REFERENCIA A BOMBA DE CONTRAINCENDIO
P902 = 2.1 TN)

Tenemos :

LEVANTAMIENTO DE CARGA EN LAZO O CHOKER

Tensión E1= PESO DE LA CARGA (W)

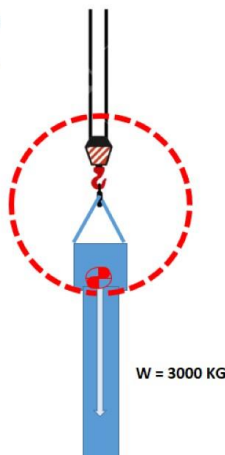
→ Tensión E1= 3 TN

La tensión de la eslinga es de 3 TN, utilizando las prácticas recomendadas según normativa **ASME B30.9 (SLINGS)**, la selección de la eslingas para los trabajos de izaje, deberían estar por encima de estos valores, además; se consideraría el tipo de estrobo o arreglo que ; para nuestro caso se usará **2 ESLINGAS ACERADA EN CHOKER o ahorcado**.

SELECCIÓN DE ESLINGA A USAR

- TIPO: **Acerada 6 x 36**
- NRO.DE GRILLETES : **0**
- WLL ETIQUETA : **4 680 Kg**

TIPO DE ESTROBADO :
CHOKER AL 20%
CANTIDAD ESLINGAS
02 ESTROBOS
TIPO DE ESLINGA :
Acerada 7/8 x 20 FT



Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894

CÁLCULO DE TENSION DE CADA ESLINGA

CABLE DE ACERO CON ALMA DE ACERO				
ESTROBOS DE UN BRAZO				
Diámetro Del Cable (Pulgadas)	Carga límite de trabajo	Vertical	Enlazado	En U
1/4	0.55	0.55	0.41	1.10
5/16	0.85	0.85	0.62	1.7
3/8	1.21	1.21	0.88	2.42
7/16	1.65	1.65	1.20	3.30
1/2	2.13	2.13	1.55	4.26
9/16	2.69	2.69	1.96	5.38
5/8	3.33	3.33	2.43	6.66
3/4	4.75	4.75	3.46	9.50
7/8	6.42	6.42	4.68	12.84
1	8.34	8.34	6.08	16.68
1-1/8	10.26	10.26	7.45	20.52
1-1/4	12.60	12.60	9.20	25.20
1-3/8	15.14	15.14	11.05	30.28
1-1/2	17.94	17.94	13.09	35.88
1-3/4	24.20	24.20	17.66	48.40
1-7/8	27.60	27.60	20.14	55.20
2	31.20	31.20	22.77	62.40

SELECCIÓN DE ESLINGA A USAR

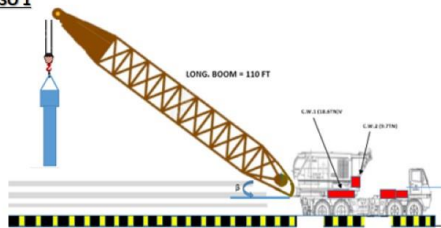
- WLL ETIQUETA = 4 680 kg
- % DE CAPACIDAD DE TRABAJO DE CADA ESTROBO EN CHOKER : 80 %.
- NRO.DE GRILLETES : 0
- Nro DE ESLINGAS ACERADAS : 2

FUENTE : <http://pesoymovimientodecargas.com/estrobos-de-cable-de-acero/>

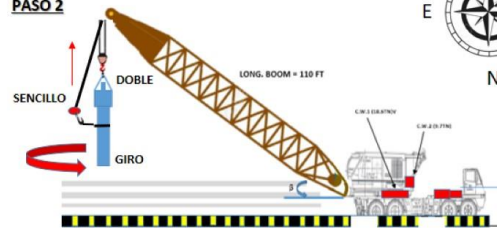
Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894

PARA MONTAJE A TRACTO CAMIÓN – PARA POSTERIOR TRANSPORTE

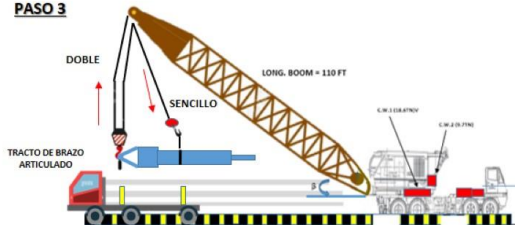
PASO 1



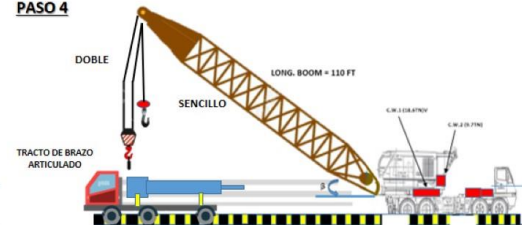
PASO 2



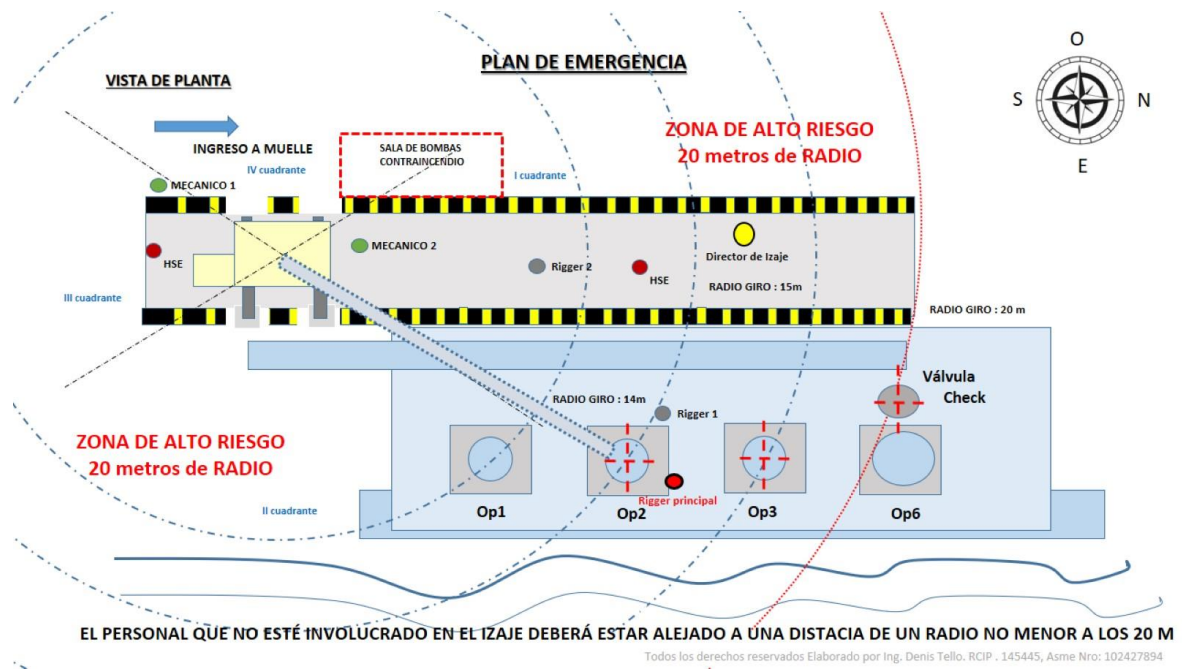
PASO 3



PASO 4



Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP, 145445, Asme Nro: 102427894



OTRAS CONSIDERACIONES PARA IZAJE

<u>VELOCIDAD DEL VIENTO (REAL)</u>	:	4 m/s $\cong$ 14.4 km/h con ráfagas de 6 m/s $\cong$ 21.6 km/h (Datos tomado 21.03.22) – Puede Variar.
<u>VELOCIDAD DEL VIENTO (IDEAL)</u>	:	SEGÚN LA NORMA ASME B30.5 las velocidad del viento va de acuerdo a lo estipulado por el fabricante, dentro de las buenas prácticas se recomienda en promedio de 32 Km/h aprox.
<u>CONSISTENCIA DE TERRENO (REAL)</u>	:	TERRENO ESTABLE, AUTOSOPORTADO EN BLOQUES DE CONCRETO

IMPORTANTE :

- A la Fecha 21.03.22 no presenta anomalías en la velocidad del viento.

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP , 145445, Asme Nro: 102427894

PASOS RECOMENDADOS PARA EL DESMONTAJE DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CONTRA INCENDIOS

- 1.- Verificar el área de Trabajo (condiciones , ubicación, accesos).
- 2.- Identificación de Peligros y Control de Riesgos.
- 3.- Conocer de forma integral el trabajo a realizar.
- 4.- Selección del Equipo de Izaje.
- 5.- Selección de los elementos de Izaje.
- 6.- Inspección de Elementos y equipo de Izaje.
- 7.- Traslado, ubicación y estabilización del equipo de Izaje. (Grúa)
- 8.- Firmar los permisos de Trabajos respectivos.
- 9.- Reunión con el equipo de trabajo para dar a conocer el plan de Izaje.
- 10.- Inspección de los EPP de todo el Personal.
- 11.- Aseguramiento (estrobado) de la Bomba con equipo Grúa durante el Izaje evitando caída de elemento hacia la superficie.
- 12.- Ascender y Descender la bomba hacia superficie realizando maniobras mediante lenguaje de señas "Operador – Rigger" ASME B30.9 /ASME B30.5

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP , 145445, Asme Nro: 102427894

**PASOS RECOMENDADOS PARA EL DESMONTAJE DE SISTEMA
DE ENFRIAMIENTO CONTRA INCENDIOS**

- 13.- Al término del Trabajo verificar el área.
- 14.- Realizar La inspección de Elementos y equipo de izaje.
- 15.- Retirar Equipo de Izaje.
- 16.- Cerrar permisos de Trabajo

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP , 145445, Asme Nro: 102427894

CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL INVOLUCRADO EN EL IZAJE

- | | |
|------------------------------|---|
| 1.- OPERADOR DE GRÚA MÓVIL : | - Certificación Vigente de Operador de Grúa Móvil.
bajo las normativas ASME B30.5
- Brevete vigente AIIC. |
| 2.- GRÚA MÓVIL : | - Certificación Vigente de Equipo de Grúa vigentes ASME B30.5 |
| 3.- PERSONAL RIGGER : | - Certificación vigente de Rigger bajo las normativas
ASME B30.5/B30.9 |
| 4.- PERSONAL METÁMECÁNICO : | - Estudios de Técnicos Metalmecánico.
- Certificado médico de trabajos en Altura.
- Gozar de Muy buena salud física y Emocional. |
| 5.- PERSONAL INGENIERÍA : | - Conocimiento de la Normativa ASME B30.5/B30.23/B30.9
- Estudios de Seguridad y Salud Ocupacional.
- Colegiatura Vigente.(habilitado) |

Todos los derechos reservados Elaborado por Ing. Denis Tello, RCIP , 145445, Asme Nro: 102427894

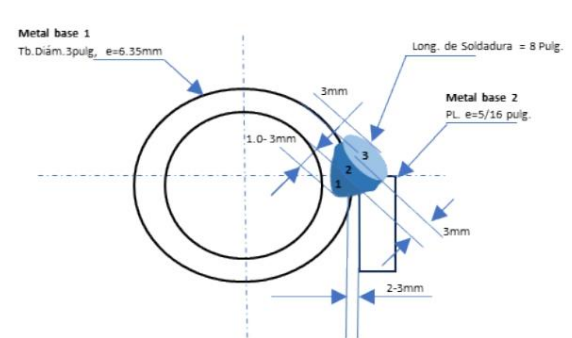
ANEXO E

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y EVIDENCIAS

En este anexo se presentan las Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS) de acuerdo con el Código ASME Sección IX, Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR) de acuerdo al código ASME Sección IX y Control de Calidad de PQR (WPQR), además, algunas fotos de evidencia de calificación de soldador, control de parámetros de proceso de soldadura y control de calidad de producto terminado con la observación que los ensayos radiográficos no han sido realizadas por mi persona sino que corresponde a imágenes de un reporte DDT-P&H-RX001 que está referido en Resultados de examen radiográfico APROBADO.

Nota: Los formatos del Código ASME guardan la confidencialidad del CWI, pero conservan la del inspector (el suscrito) en el control de calidad.

	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (DE ACUERDO CON EL CODIGO ASME SECCION IX)		DDT-P&H-WPS001	
			HOJA:	1 de 2
			EMISION:	20/01/2020
			REVISION:	1

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					
Nombre de la Compañía:		Elaborado por:		Denis J.Tello Preciado	
WPS N°		DDT-P&H- WPS001		Fecha: 05/02/2022	
Revisión N°		1		PQR de Soporte DDT-PQR-001	
Proceso(s) de soldadura:		SMAW		Tipo: MANUAL	
JUNTA : Atípico Tubo /plancha					
Tipo de junta:		a Filete			
Respaldo(s)		(No) X			
Material de respaldo(Tipo)		N/A			
☐ Metal		☐ Refractario			
☐ No metálico		☐ Otro			
Esquema, dibujo de reparación, símbolos de soldadura o descripción general de las partes a ser soldadas.					
					
METAL BASE					
P-No:		Grupo No:		P-No: Grupo No:	
Especificaciones tipo y grado:		ASTM A242			
A la especificación de tipo y grado:		GRADO B			
O					
Análisis químicos y propiedades mecánicas		-----			
Hasta el análisis químicos y propiedades mecánicas		-----			
O					
Rango de espesores:					
Metal base		Ranura		Filete: 6.35 mm	
Diám. Ext.Tubo / Plancha		Ranura		3" 5/16	
Otro:					
METAL DE APORTE					
Especificación ASME:		SFA-5.1 – SFA-5.1			
Clasificación AWS:		E7018			
1 - No		1/8 pulg.			
2 - No					
Diámetro de metal de aporte:		1/8 pulg.			
Metal depositado:		3 capas 3 mm c/u 9m			
Rango de espesores:					
Ranura					
Filete		OK			
Fundente(Clase):		-----			
Otros:					



CWI EXP 7/1/2026

DENIS J. TELLO PRECIADO
Mobile Crane, Articulating Boom
Crane & Barge Rigging
INSPECTOR - 13735
RCIP : 145445
ASME NRO. # 102427894
AWS NRO. #743729
ASNT (PT, UT/VT, MT)

	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCION IX)	DDT-P&H-WPS001	
		HOJA :	2 de 2
		EMISION:	20/01/2020
		REVISION:	1

POSICIONES			6G	TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA			
Posiciones (es) de Ranura:			-----	Rango de Temperatura :		220 C° - 250 C°	
Progresión Asc:				Tiempo:		2 horas	
Posición de Filete :			PLANO	Rango : tiempo pausa; cada 2 min.			
PRECALENTAMIENTO							
Composición Porcentual							
Temp.Precalentamiento	Min :	20 C°		Gas (es)	Mezcla	Fujo	
Temp.Interfase	Max.:	40 C°		Protección:	-----	-----	-----
Mantenimiento precalentamiento :			30s	Arrastre :	-----	-----	-----
En toda longitud de reparación.				Raspado:	-----	-----	-----
CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS							
Tipo de Corriente AC o DC			CONTINUA	Polaridad :		INVERTIDA	
Rango de amperaje :			80 – 240 A	Rango de voltaje :		30 – 40 V	
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno :			N/A				
Modo de transferencia en GMAW:			N/A				
(Arco, spray, corto circuito, etc)							
Velocidad de alimentación de alambre:			N/A				
TECNICA							
Pase recto o ondulado :			Recto(PASE 1) – Ondulado(PASE 3)				
Orificio o tamaño de protección gaseosa :			N/A				
Limpieza inicial y entre pasadas (escobillado, esmerilado, etc)			Escobillado manual – Herramienta Poder				
Método de resane de raíz			Herramienta de poder				
Oscilación :			Por cada Pase				
Distancia de bombilla a pieza de trabajo							
Pase, multiple o simple:			MULTIPLE				
Electrodo simple o multiple			SIMPLE				
Velocidad de avance (rango):			5.5 a 6 mm/s				
Martilleo :			APLICA				
Otro:							
Pase N°	Procesos	Metal de Aporte		Corriente			Velocidad de Avance (mm/s)
		Clase	Ø mm	Polaridad	Amparaje	Voltaje	
1	SMAW	E7018	3.175	INVERTIDA	80	30	5.5
2	SMAW	E7018	3.175	INVERTIDA	120	35	6
3	SMAW	E7018	3.175	INVERTIDA	240	40	6
Elaborado por : Autorizado por : Revisado por :  DENIS J. TOLEDO PRECIADO Molinero Control - Articulating Boom Control & Repair - Rigging INSPECTION: 137755 RCP: 145445 ASME NRC: # 162427894 AWS NRC: #713729 ASNT I PT, UT, RT, MT CLIENTE : PETROLEO DEL PUEBLO   REVISOR AWS CWI 22070701 QC1 EXP 7/1/2026							

 DDT Engineering S.A.C. GENERAL SERVICES FOR THE INDUSTRY IN MANUFACTURE REPAIR, MAINTENANCE, INSPECTION, TRAINING AND SPECIALIZED PROFESSIONAL CERTIFICATION	REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCION IX)	DDT-PQR-001	
		HOJA :	2 de 2
		EMISION:	05/02/2022
		REVISION:	05/02/2022

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente			Velocidad de avance (mm/s)
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (A)	Voltaje (V)	
1	SMAW	E7018	3.175	DC	80	30	5.5
2	SMAW	E7018	3.175	DC	120	35	6
3	SMAW	E7018	3.175	DC	240	40	6

Prueba de soldadura de Filete	
Resultado satisfactorio : Si ☒	Penetración en metal origen : SI ☒
Resultados de macroatanque :	
OTRAS PRUEBAS	
Tipo de prueba : VISUAL – LÍQUIDOS PENETRANTES	
OTRO : -----	
Los datos en este registro son correctos y que la probeta fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del Código : ASME SECCION IX	
Elaborado por :	Aprobado por :
  DENIS J. TELLO PRECIADO Mobile Crane, Articulating Boom Crane & Barge Rigging INSPECTOR - 13735 RCIP : 145445 ASME NRO. # 102427894 AWS NRO. #743729 ASNT (PT, UT/VT, MT,)	CLIENTE : 
FECHA : 05/02/2022	

	CONTROL DE CALIDAD	REG – WPQR001	
		HOJA:	1 de 1
		EMISION:	05/02/2022
		REVISION:	05/02/2022

REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR (WPQR) ASME IX 2017							
Nombre del Soldador: [REDACTED]		N° Estampa: 1		DNI : [REDACTED]			
Identificación de WPS seguido por el soldador: DDT-P&H-WPS001				Evaluado en : TALLER			
Especificación de metal base : ASTM 242				Espesor : 6.45mm – 5/16			
Variables de Soldadura		Valor Usado en la Calificación		Rango Calificado			
Proceso de Soldadura:		SMAW		SMAW			
Diseño de la junta		Filete		Filete			
Tipo usado (manual, semiautomático):		SEMIAUTOMATICO		SEMIAUTOMATICO			
Espesor de Probeta:		6.45MM		Todos los diámetros			
(x) Plancha (x) Tubería (ingrese diámetro, si es tubería)		TUBERIA DIAM. 3PULG		Todos los diámetros			
Metal Base Grupo No.		ASMT A242		ASMT A242			
Especificación metal aporte ASME (SFA)		SFA 5.1		SFA 5.1			
Clasificación metal aporte AWS:		GRUPO 3 / AWS A5.1		GRUPO 3 / AWS A5.1			
Metal Aporte F N° :		E7018		E7018			
Inserto Consumible (GTAW o PAW):		-----		-----			
Tipo de aporte (GTAW o PAW)		-----		-----			
Espesor depositado por cada proceso:		3.25 MM		3.25 MM			
Posición Calificada:		6G		6G			
Progresión vertical (excedente/descendente)		-----		-----			
Tipo de gas combustible (OFW)		-----		-----			
Gas inerte de respaldo (GTAW, PAW, GMAW)		-----		-----			
Modo de transferencia (GMAW)		-----		-----			
Corriente Tipo/Polaridad (GTAW)		-----		-----			
RESULTADOS							
Resultado de Inspección Visual:		Aceptable X Rechazado		APROBADO			
Resultados de Prueba de Doble: -----							
Resultados de Prueba de Nick Break: -----							
() Nick Break		() Doblado de Cara y Raiz Transversal		() Resistencia a la Tracción			
() Tubería, Prueba de ataque químico		() Plancha		() Plancha, prueba de ataque químico			
Tipo	Resultado	Tipo	Resultado	Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
VT	APROBADO	-----	-----	-----	-----	-----	-----
PT	APROBADO	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Descripción del componente a Examinar

CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE ☐ Esmerilada ☐ Pulida ☐ Escobillada ☐ Otro ☒ As Welded	TIPO COMPONENTE EXAMINADO ☐ Junta Soldada Plancha ☐ Junta Soldada Tubo ☐ Fundición ☐ Forjado ☐ Laminado ☐ Otro	TIPO DE MATERIAL EXAMINADO ☒ Acero al Carbono ☐ Acero Inoxidable ☐ Titanio ☐ Metal Distinto ☐ Aluminio ☐ Otro
TIPO DE JUNTA A EXAMINAR ☐ A Tope ☒ Filete ☐ En T ☐ Traslape	PROCESO DE SOLDADURA ☐ GTAW ☐ FCAW ☒ SMAW ☐ GMAW ☐ SAW ☐ PAW	CONFIGURACIÓN DEL COMPONENTE ☐ Tubo-Tubo ☐ Tubo-Brida ☐ Otro ☒ Tubo-Plancha ☐ Don Decking
MATERIAL BASE : ASTM A242	PLANO Nro : CALIFICACIÓN DE SOLDADOR	ID COMPONENTE : PROBETA 6G
CLASE DE MATERIAL : E7018	CATEGORÍA DE FLUIDO : ---- UNIDAD : ---	
TIPO DE EXAMINACIÓN ☒ 100% ☐ Aleatorio ☐ Puntual ☐ Spot-Random	TIEMPO DE LA EXAMINACIÓN ☒ Pre-PWHT ☐ Intra-PWHT ☐ Post-PWHT ☐ Otro	ESPESOR DEL MATERIAL ☐ Tubo ---- DIÁMETRO 3 PULGADA ☒ Plancha ---- ESPESOR 5.65MM ☐ Plancha ---- ESPESOR 5/16 PULGADA

Descripción del equipamiento usado

FUENTE DE RADIACIÓN USADA ☒ Gammex ☐ Rayos X ☐ Potencia : NA ☐ Amperaje : NA	ACTIVIDAD CURE 49C1	WARRA : SENTINEL	MODELO : TS
TIPO DE FILM(S) ☒ Clase I Tipo : D4 ☐ Clase II Tipo :	FABRICANTE : AGFA	TAMAÑO DE LOS FILMS (mm) ☐ 100*400 ☐ 100*200 ☐ 100*100	SERIE NRO : BAZH2
CARGAS DE FUNDAS Y PANTALLAS ☐ Dobles ☒ Frontal ☐ Espesor : 0.01" ☐ Simple ☒ Posterior ☐ Espesor : 0.01"	TIPO DE IQI ☐ Tipo Hilo ☐ Tipo Plancha	NIVEL DE CALIDAD : Hn 7	TIEMPO EXPOSICIÓN : 2.10 seg
PENETRÁMETRO ☒ ASTM 1A ☐ ASTM 1B ☐ ASTM 1C ☐ 10-16 FE ☐ 6-12 FE ☐ 1-7 FE ☐ OTRO	PROCESO DE REVELADO : ☐ Manual ☒ Automático	PENETRADA GEOMÉTRICA (Rg) : 0.912"	8.0 min
UBICACIÓN DEL IQI : ☐ Lado Frente ☒ Lado Film ☐ SHW(S) NA	DISTANCIA FUENTE - OBJETO : 14	SOURCE SIDE OF OBJECT FILM DISTANCE : 14.5	
CÓDIGO EXAM : ☐ ASME VIII Div. 1 ☐ ASME VIII Div. 2 ☐ ASME I ☐ ASME B31.1 ☒ ASME IX ☐ API 1104 ☐ OTHER	☐ BWSV (Pantonek) ☐ BWSV-Sorce Offset ☐ BWSV - Sorce Ext. ☐ DWSV (Cortac) ☐ DWSV - Ext. / Offset ☐ Elíptico ☒ Superimposed		

Evaluación de Resultados

Nro.	JUNTA / SOLDADO	CÓDIGO SOLDADO R(E)S	Nro. FILM (ÁREA DE EVALUACIÓN)	DENSIDAD PENETRA. (BAJA)	DENSIDAD PENETRA. (ALTA)	DENSIDAD SOLDADURA (CLARA)	DENSIDAD SOLDADURA (OSCURA)	INDICACIONES SEGUN CÓDIGO(S) TÉCNICA & CALIDAD DE FILM(S) / OBSERVACIONES	APROB. FINAL	COMENTARIO Y ESTADO
1	6G	C.P.L.	PA	--	--	2.42	2.44	---	AC	---
2			PB	--	--	2.38	2.44	---	AC	---
3			PC	--	--	2.32	2.38	---	AC	---

COMENTARIO INSPECTOR : SIN OBSERVACIONES

RESULTADO FINAL : APROBADO

IP Penetración Inadecuada IPD Penetración Inad. Desal. ICP Penetración Inad. Transv. IF Fusión Incompleta IFD Fusión Incompleta T.en file ESI Inclusion Escoria Elong. ISI Inclusion Escoria Extrema C Grietas Crack	EU Socavación Externa RU Socavación en Raíz IC Concavidad en la Raíz BT Quemín P Porosidad CP Porosidad Agrupada HB Porosidad Hueco TGI Indicación Tungsteno.	ID ID o Rilet en Soldadura PSW Penetrómetro mal ubicado I-ID Identificación Incompleta INB Inapropiados Números o Marcas UD Densidad Inaceptable IT Técnica Inapropiada LL Fugas de Luz MS Marking/Rays	I-IQI Inapropiado IQI N-F No se cubren la "F" CM Marcas en forma de Ondas PM Marcas de Presión SM Marcas de Escoria HL Líneas de Cables FA Film Adhast MM Discrepancia (Duda)	BM Material Base WM Metal de Soldadura HAZ Zona Afectada por el Calor AC Acestailla RJ Rechazada R-X Reparación N° X
---	--	--	--	---

Los abajo firmantes, certificamos que este registro es correcto y que el componente, elemento o unión soldada fue preparado y evaluado de acuerdo con los requerimientos del CÓDIGO DE DISEÑO 2017

Resultado de examen radiográfico: APROBADO

Soldadura de filete : ----- Longitud y porcentaje de Defectos: -----

Macro ataque: ----- Tamaño de filete: ----- Concavidad/Convexidad: -----

Otras Pruebas:

Película o muestras evaluadas por: ----- Compañía: DDT ENGINEERING SAC - 20606223120

No. Reporte de Inspección Rad: DDT-P&H-RX001 Fecha: 05.02.22

Soldadura supervisada por: Denis Tello Preciado /

Los datos registrados son correctos y que las probetas fueron preparados, soldadas y probadas de acuerdo a los requerimientos del Código ASME SECCIÓN IX

LUGAR DE PRUEBA : AUTORIZADO POR :

TALLER DE SOLDADURA: CLIENTE F. REFINERÍA DE TALA RA CLIENTE:

FECHA: 05/02/2022

EXENI S. TELLO PRECIADO
 Inspector - 22175
 RDP - 43548
 ASME NDT 9-221427204
 API NDT #043728
 ASNT 1 PT 10741 405



CWI 2020700
 QC1 EXP. 7/1/2026

QIA DIC SNTA TC - 1A
 VE-NT-PT-RX - INFLD

Probeta de prueba



Calificación de soldador



Control de parámetros de soldadura



Control de parámetros de corriente de viento



Proceso de soldadura: Seguimiento y control en el proceso de soldadura de base de la pluma



Control de calidad de producto terminado



Cordón uniforme sin presencia de socavaciones del punto A



Cordón uniforme sin presencia de socavaciones del punto B

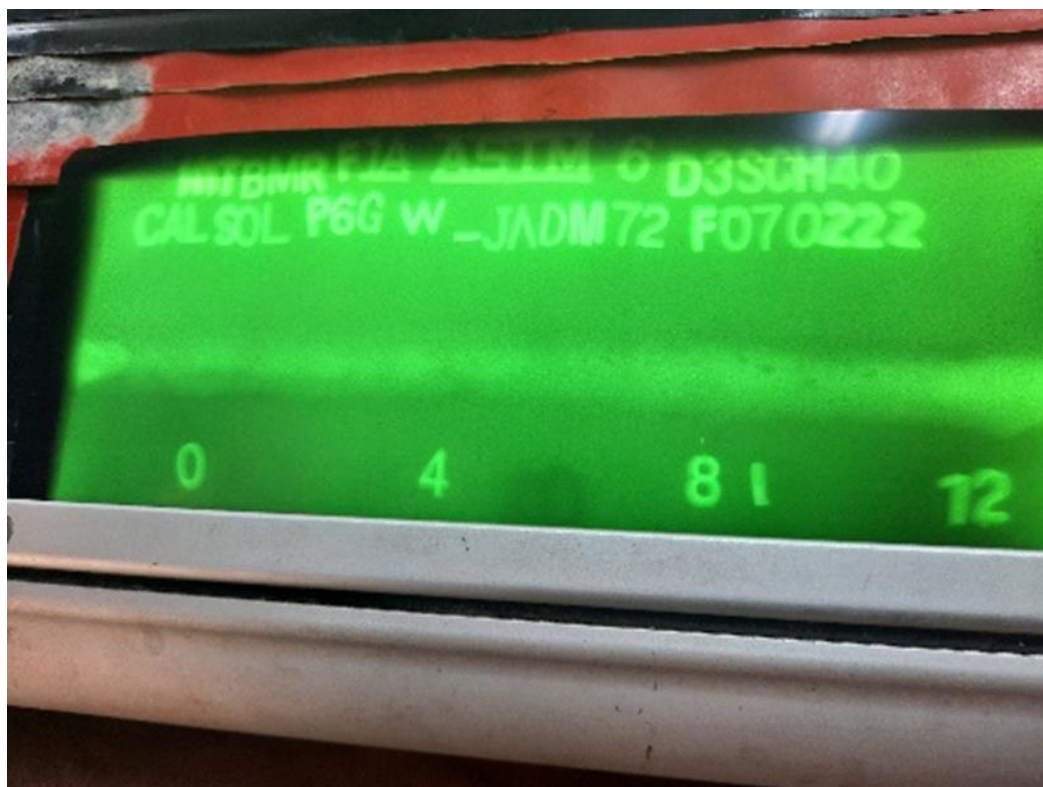


Cordón uniforme sin presencia de socavaciones del punto C



Resultado de examen radiográfico de reporte DDT-P&H-RX001: APROBADO





Resultado de examen radiográfico: APROBADO	
Soldadura de filete : -----	Longitud y porcentaje de Defectos: -----
Macro ataque: -----	Tamaño de filete: ----- Concavidad/Convexidad: -----
Otras Pruebas:	
Película o muestras evaluadas por: -----	Compañía: DDT ENGINEERING SAC – 20606223120
No. Reporte de Inspección Rad: DDT-P&H-RX001	Fecha: 05.02.22
Soldadura supervisada por: Denis Tello Preciado / [REDACTED]	
Los datos registrados son correctos y que las probetas fueron preparados, soldadas y probadas de acuerdo a los requerimientos del Código ASME SECCIÓN IX	
LUGAR DE PRUEBA : [REDACTED]	AUTORIZADO POR : [REDACTED]
TALLER DE SOLDADURA: [REDACTED]	CLIENTE: [REDACTED]
REFINERÍA DE TALARA FECHA: 05/02/2022 DENIS TELLO PRECIADO Ingeniero en Química - Radiografía Industrial REG. C.O.P. 12345 R.O.P. 123456 P.O. 123456789 P.O. 123456789 P.O. 123456789 ANSI CMI 123456789 QC1 EXP. 7/1/2026 QIN D/C SNT/TC-TA VT-MT-PT-RX INVELD	